



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta strojní  
Ústav energetiky**

**Využití geotermální energie v Evropě a ČR**

**Geothermal Energy Use in Europe and Czech Republic**

Bakalářská práce

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství  
Studijní obor:

Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Kolovratník, CSc.

**Šimon Stibůrek**

---

**Praha 2016**

## Zadání bakalářské práce



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní, Ústav energetiky

Technická 4, 166 07 Praha 6

Akademický rok: 2015/2016

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**pro:** Šimon STIBŮREK

**program:** Teoretický základ strojního inženýrství

**obor:**

**Název tématu:** Využití geotermální energie v Evropě a ČR

**Title:** Geothermal Energy Use in Europe and Czech Republic

### *Zásady pro vypracování:*

Cílem práce je zpracování rešerše nasazení geotermální energie (GTE) v Evropě a v České Republice.

Práce bude obsahovat:

1. Podíl GTE v energetickém mixu Evropy/EU 29/ČR - aktuální stav/projekty/výhled
2. Rešerši stávajících technologií používaných v Evropě pro energetické využití GTE,
3. Přehled dostupných geotermálních technologií pro krytí energetických potřeb domácností
4. Formy podpory uživatelů GTE
5. Zhodnocení výhod a nevýhod úžití GTE

*Rozsah grafických prací:*

*Rozsah průvodní zprávy:*

*Seznam odborné literatury:*

**Vedoucí bakalářské práce:** doc. Ing. Michal Kolovratník, CSc.

**Konzultant/i:**

**Datum zadání bakalářské práce:** 29. 4. 2016

**Datum odevzdání bakalářské práce:** 10. 6. 2016

Neodevzdá-li student/ka bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodní a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student/ka řádně neomluvil/a nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student/ka zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

*Posluchač/ka bere na vědomí, že je povinen/povinna vypracovat bakalářskou nebo diplomovou práci samostatně bez cizí pomoci s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské nebo diplomové práci.*

Zadání bakalářské práce převzal dne: 25. 4. 2016

*Stiburek*

student/ka

*Michal Kolovratník*

doc. Ing. Michal Kolovratník, CSc.  
vedoucí Ú 12115



*Michael Valášek*

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
děkan fakulty

V Praze dne 29. 4. 2016

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a že jsem uvedl všechny použité prameny a literaturu.

V Praze, dne 10. 6. 2016

.....

Šimon Stibůrek

## Anotační list

---

<b>Jméno autora</b>	Šimon Stibůrek
<b>Název BP/DP</b>	Využití geotermální energie v Evropě a ČR
<b>Anglický název:</b>	Geothermal Energy Use in Europe and Czech Republic
<b>Akademický rok:</b>	2015/2016
<b>Ústav/Odbor:</b>	Ústav energetiky/Energetika
<b>Vedoucí BP/DP:</b>	doc. Ing. Michal Kolovratník, CSc.
<b>Konzultant:</b>	
<b>Bibliografické údaje:</b>	Počet stran: 41 Počet obrázků: 10 Počet tabulek: 3 Počet příloh: 0
<b>Klíčová slova:</b>	Geotermální energie, geotermální elektrárny, obnovitelné zdroje energie, EGS, geotermální systémy, EGEC
<b>Keywords:</b>	Geothermal energy, geothermal power plants, renewable sources of energy, EGS, geothermal resources, EGEC
<b>Anotace:</b>	Bakalářská práce se zabývá geotermální energetikou. Na úvod stručně popisuje základní parametry geotermální energie a způsoby jejího získávání a využívání, shrnuje její výhody a nevýhody. V druhé polovině se věnuje současnému stavu geotermální energetiky v Evropě a České republice.
<b>Abstract:</b>	The bachelor thesis deals with topic of geothermal energetics. At the beginning it briefly describes the basic parameters of geothermal energy and ways of its obtaining and use, summarizes the advantages and disadvantages. In the second half it discusses the current state of geothermal energetics in Europe and the Czech Republic.

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu doc. Ing. Michalovi Kolovratníkovi, CSc. za jeho odborné rady a vedení při vypracovávání bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své sestře Nikole Stibůrkové a celé rodině za podporu.

## Obsah

<b>Zadání bakalářské práce</b> .....	<b>2</b>
<b>Čestné prohlášení</b> .....	<b>4</b>
<b>Anotační list</b> .....	<b>5</b>
<b>Poděkování</b> .....	<b>6</b>
<b>Seznam obrázků</b> .....	<b>9</b>
<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>9</b>
<b>Seznam zkratk</b> .....	<b>9</b>
<b>Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Parametry geotermální energie</b> .....	<b>12</b>
1.1 Teplota .....	12
1.2 Teplotní gradient.....	12
1.3 Tepelný tok .....	12
1.4 Tepelná vodivost hornin .....	12
<b>2. Geotermální systémy</b> .....	<b>13</b>
2.1 Hydrotermální systém.....	13
2.2. HDR (Hot Dry Rock).....	15
2.3 HFR (Hot Fractured Rock) .....	16
2.4 Geotlak.....	17
2.5 Magmatický systém .....	18
<b>3. Stávající technologie používané v Evropě k energetickému využití geotermální energie</b> .....	<b>19</b>
3.1 Vytápění, technologie pro krytí energetických potřeb domácností .....	19
3.1.1 Tepelná čerpadla .....	19
3.1.1.1 Systém voda - voda.....	20
3.1.1.2 Systém země - voda svislý výměník.....	21

3.1.1.3	Systém země - voda vodorovný výměník.....	21
3.2	Přeměna na elektrickou energii.....	22
3.2.1	Single flash cyklus .....	22
3.2.2	Double flash cyklus .....	23
3.2.3	Dry steam.....	23
3.2.4	Binární cyklus .....	24
3.2.5	Organický Rankinův cyklus (ORC).....	24
3.2.6	Kalinův cyklus .....	25
<b>4.</b>	<b>Současnost, vize a podpora geotermální energetiky v Evropě.....</b>	<b>27</b>
4.1	Podíl geotermální energie v evropských státech.....	27
4.2	Vize geotermální Evropy .....	29
4.3	Podpora využívání geotermální energie v Evropě .....	31
<b>5.</b>	<b>Současnost, vize a podpora geotermální energetiky v České republice.....</b>	<b>33</b>
5.1	Geotermální potenciál České republiky.....	33
5.1.1	Projekt Litoměřice .....	35
5.2	Podpora využívání geotermální energie v ČR .....	36
<b>6.</b>	<b>Výhody a nevýhody užití geotermální energie .....</b>	<b>37</b>
<b>7.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>38</b>
	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>39</b>



## **Seznam obrázků**

Obrázek 1: Schéma hydrotermálního systému [4]

Obrázek 2: Schéma ideálního provedení HDR [4]

Obrázek 3: Schéma geotlakého zásobníku [4]

Obrázek 4: Schémata systémů využívajících tepelná čerpadla. Nalevo systém voda – voda, uprostřed systém země – voda svislý výměník a napravo systém země – voda vodorovný výměník. [5]

Obrázek 5: Schéma Kalinova cyklu [7]

Obrázek 6: Graf srovnání výroby elektřiny pomocí obnovitelných zdrojů v GWh [10]

Obrázek 7: Graf instalované kapacity elektrického výkonu v jednotlivých zemích (MWe) [11]

Obrázek 8: Počet stávajících a plánovaných geotermálních elektráren v Evropě [11]

Obrázek 9: Schéma fází realizace geotermálního projektu [12]

Obrázek 10: Vhodné oblasti k využití geotermální energie v ČR [14]

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1: Shrnutí plánu NREAP [12]

Tabulka 2: Vize a aktuální instalovaná kapacita elektrického výkonu (MWe) [11]

Tabulka 3: Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro výrobu elektřiny využitím geotermální energie [16]

## **Seznam zkratk**

EGS - Enhanced Geothermal System

HDR - Hot Dry Rock

HFR - Hot Fractured Rock

ORC - Organický Rankinův cyklus

NREAP - National Renewable Energy Action Plans

EGEC - European Geothermal Energy Council

FP6, FP7 - Framework Programme 6 (7)

EEPR - European Energy Programme for Recovery

KVET - Kombinovaná výroba elektřiny a tepla

## Úvod

Snaha o využívání různých forem energie provází lidstvo už od nepaměti. Lidé si brzy uvědomili, že si touto cestou mohou značně usnadnit práci, a ovládnutí energie bylo bezesporu důležitým aspektem v rozvoji civilizace. S možnostmi jejího využití ovšem rostl i nárok na její množství, a bylo třeba hledat stále nové energetické zdroje a způsoby získávání energie pro rostoucí spotřebu.

Tento stav platí i dnes, kdy se tradiční zdroje energie, jako jsou uhlí, ropa a zemní plyn, postupně vyčerpávají a lidstvo je pomalu ale jistě nuceno hledat zdroje nové, a nejlépe takové, které jsou v podstatě nevyčerpatelné. Takovými zdroji jsou jediné zdroje obnovitelné.

Geotermální energie je jedním z alternativních obnovitelných zdrojů energie. Jedná se o teplo získané ze zemského jádra. Tento zdroj energie se sice vyskytuje všude na světě, je však nerovnoměrně rozmístěn - nalézá se především v místech zlomů litosférických desek. Tyto oblasti jsou známé svou tektonickou a vulkanickou aktivitou, která se na povrch projevuje zemětřeseními, sopečnou činností nebo gejzíry. V těchto místech je nejvhodnější geotermální energii získávat. Druhy geotermálních systémů a možnosti jejich využití jsou podrobně popsány v kapitole Geotermální systémy.

Za počátek využívání geotermální energie k výrobě elektřiny se dá považovat, rok 1904, kdy se v Itálii začalo experimentovat s její výrobou z geotermální páry.

K vytápění bylo však teplo Země využíváno už mnohem dříve - používali jej staří Římané k vytápění vody v lázních. [1]

Dnes teplo Země využíváme několika způsoby. Prvním z nich je získání tepla pomocí tepelného čerpadla v geotermální teplárně. Druhým způsobem využití je převedení tepla Země na elektrickou energii v geotermálních elektrárnách. Způsoby získávání a využití geotermální energie se podrobně zabývá kapitola Stávající technologie používané v Evropě k energetickému využití geotermální energie.

Investiční náklady na získávání geotermální energie jsou vysoké především kvůli používání vyspělých technologií, například při hlubinném vrtání. Existují však různé finanční podpory, které pomáhají k návratnosti investičních nákladů, a tím pádem i k realizaci geotermálních projektů. O této problematice se zmiňují kapitoly Současnost, vize a podpora geotermální energetiky v Evropě a Současnost, vize a podpora geotermální energetiky v České republice.

## **1. Parametry geotermální energie**

Parametry, které ukazují možnosti využití tepelné energie v určité oblasti, jsou teplota, teplotní gradient, tepelný tok a tepelná vodivost hornin. [2]

### **1.1 Teplota**

Teplota Země se se vzdáleností od povrchu zvyšuje. Její nárůst ovlivňuje tepelná vodivost horniny, tektonická nebo vulkanická aktivita, nebo např. proudění vody v podzemí. [2]

### **1.2 Teplotní gradient**

Značí přírůstek teploty na jednotku hloubky. Průměrná hodnota v běžných oblastech se pohybuje kolem 30 °C/km. V oblastech s vulkanickou aktivitou nebo na hranicích litosférických desek může být hodnota teplotního gradientu vyšší, a to v rozmezí 50 - 70°C/km. Naopak v oblastech, kde je sopečná činnost nulová a v oblastech tzv. pevninských štítů se pohybuje okolo 10 - 15 °C/km. [2]

### **1.3 Tepelný tok**

Popisuje množství tepla, které projde jednotkou plochy za jednotku času. [2]

### **1.4 Tepelná vodivost hornin**

Schopnost horniny vést teplo. Tepelná vodivost je závislá na struktuře, textuře a pórovitosti horniny, dále pak na jejím minerálním složení. [3]

## **2. Geotermální systémy**

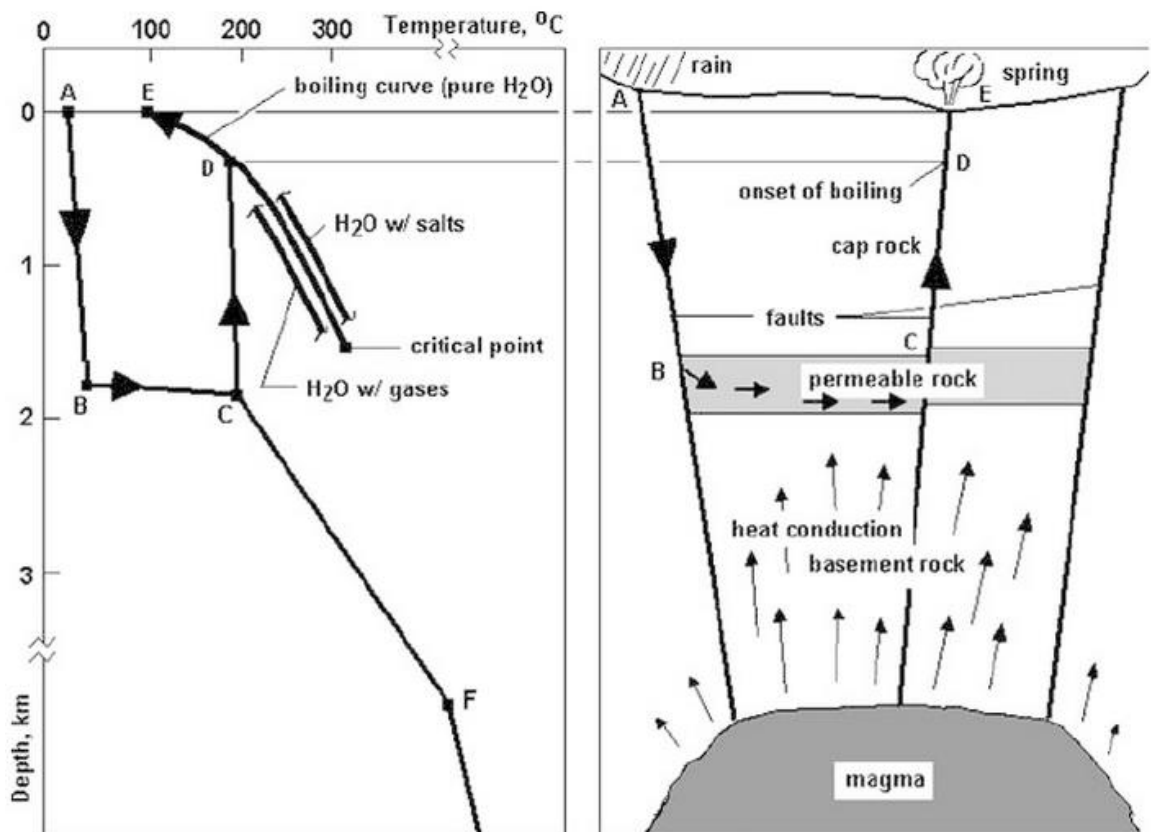
Jako geotermální systémy jsou označovány zdroje, ze kterých je geotermální energie využitelná. Ke každé takové oblasti (systému) se zároveň váže způsob, jakým z něj lze získat primární energii. Jsou známy zpravidla čtyři geotermální systémy: hydrotermální, EGS (Enhanced Geothermal System), geotlaké a magmatické. [1] Přičemž pod systémem EGS patří metody Hot Dry Rock (HDR) a Hot Fractured Rock (HFR). [2]

### **2.1 Hydrotermální systém**

Existuje pět vlastností/kritérií důležitých z pohledu komerční využitelnosti hydrogeotermálního zdroje. Jsou to:

1. dostatečná velikost zdroje tepla
2. propustnost zásobníku
3. dostatečná zásoba vody
4. svrchní vrstva nepropustné horniny
5. spolehlivý dobíjecí mechanismus

Cílem rozvoje geotermální energetiky je lokalizovat hydrotermální systémy splňující výše uvedená kritéria a využívat je pomocí vhodně řešených vrtů. Pokud systém nesplňuje některý z těchto základních požadavků, oblast nebude moci být efektivně využita, přičemž klíčové jsou především požadavky 1. a 4. [4]



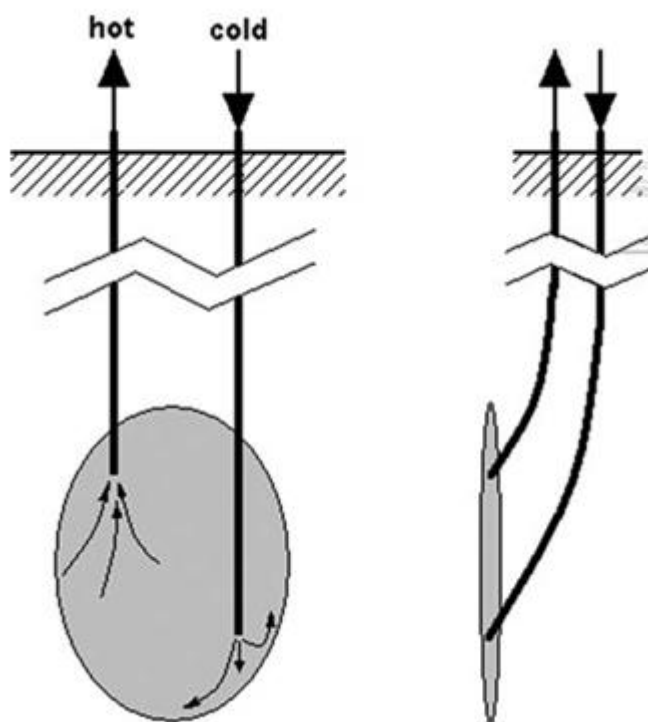
Obrázek 1: Schéma hydrotermálního systému [4]

Obrázek 1 znázorňuje hydrotermální systém. Studená voda přicházející ve formě deště (bod A) a prosakující skrze zlomy a praskliny hluboko do podzemí, se zde setkává s ohřátou horninou. Propustná vrstva podzemí nabízí cestu menšího odporu (bod B). Čím více se voda ohřívá, tím se zmenšuje její hustota a má tendenci v rámci podzemí stoupat. Pokud narazí na hlavní zlom (bod C), začne stoupat směrem k zemskému povrchu, ztrácí tlak a nadále stoupá, dokud nedosáhne bodu varu (bod D). Vzniklá pára se na povrchu projeví jako doutnání, bahnitě jezírko, horký pramen, nebo termální bazén (bod E). Ve schématu je křivka varu oblastí nasycení teplot kapalin při jejich hydrostatickém tlaku. [4]

## 2.2. HDR (Hot Dry Rock)

Tento systém využívá tepla Země v oblastech, kde není geotermální rezervoár, který by obsahoval vodu v kapalně nebo plynné podobě. Stačí mu takový rezervoár, který je složen ze suché nepropustné horniny. [1] V těchto horninách se musí uměle vytvořit praskliny, nebo se musí rozdrtit, aby v nich vznikl prostor pro tepelný výměník. Také se tím hornina stane propustnou. Následně se do prasklin zavede tekutina, která je pro čerpání tepla ze Země nejvhodnější. [1] Kvůli vysokému tlaku zůstane kapalina v kapalném stavu i při teplotách přes 100 °C. Její tepelná energie se odebírá přímo ve výměníku, nebo je tekutina na povrchu přeměněna na páru. [2]

Ideálně se systém provádí pomocí dvou vrtů, které jsou od sebe vzdáleny alespoň 1000 metrů a jsou spojeny jednou puklinou, jak je naznačeno na Obrázku 2. Další možností je vytvoření více než dvou vrtů vzdálených od sebe cca 300 metrů a spojit je navzájem více puklinami. Tyto pukliny se vytváří vhnáním tekutiny do vrtů pod vysokým tlakem. [2]



Obrázek 2: Schéma ideálního provedení HDR [4]

System HDR pracuje na principu uzavřené cirkulace, to znamená, že se po vyčerpání tepelné energie z tekutiny a jejím ochlazení kapalina vrací zpět do vrtů.

Potenciál metody spočívá v její využitelnosti. Umožňuje totiž využívat geotermální energii k výrobě energie elektrické i v oblastech, ve kterých se nevyskytuje hydrotermální zdroj, který je nejvyužívanějším zdrojem pro její výrobu. Další její výhodou je nízká produkce emisí. Výroba elektřiny není závislá na podnebných podmínkách, jako je tomu u jiných způsobů výroby energie z obnovitelných zdrojů. Nemá problémy se skleníkovými plyny ani oxidem dusnatým (NO), či dalšími plyny, které znečišťují ovzduší. [2]

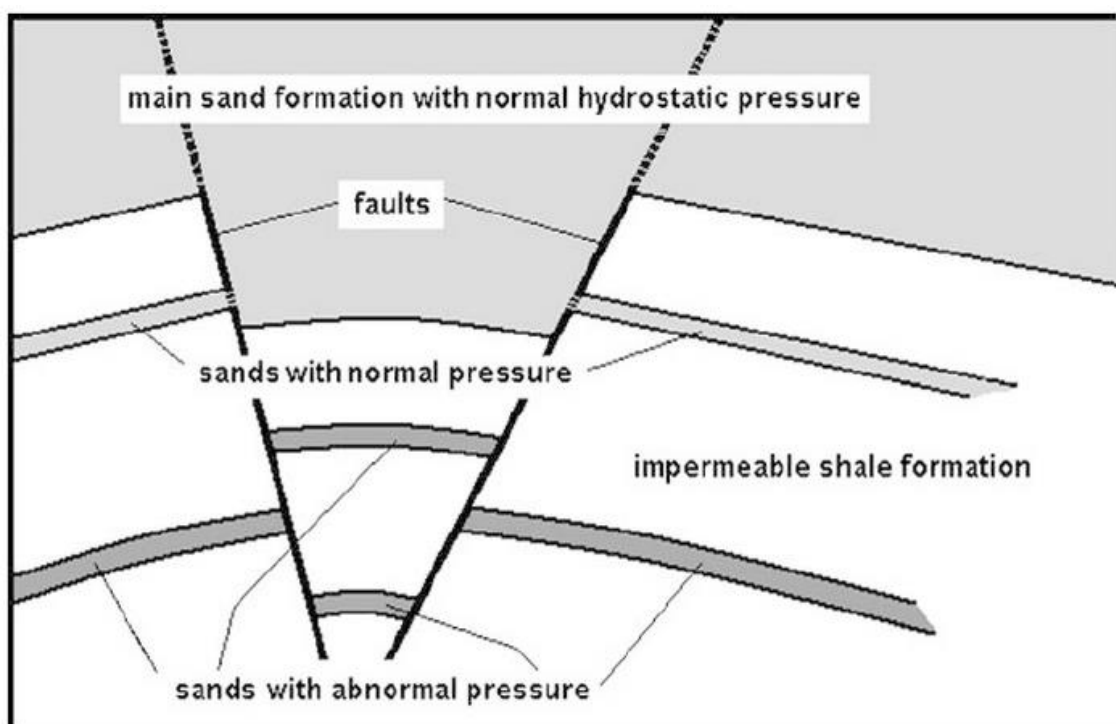
### **2.3 HFR (Hot Fractured Rock)**

Metoda Hot Fractured Rock je využívána v lokalitách, kde se přirozeně vyskytuje rozpraskaný typ hornin. Ve většině případů se jedná o oblasti vulkanicky aktivní. Ovšem ani tento typ horniny se neobejde bez úpravy. Ta se provádí hydraulickým štěpením. Úpravě horniny však musí předcházet podrobný průzkum struktury podloží, který je velmi důležitý hlavně z důvodu možného výskytu cirkulujících podzemních vod, a tím způsobené špatné ovlivnitelnosti ztrát vpouštěné vody. [2]



## 2.4 Geotlak

Poprvé byl tento silný zdroj energie objeven na severním a západním pobřeží Mexického zálivu, kde se při vytváření vrtů pro těžbu ropy a zemního plynu narazilo na kapalinu s vyšším tlakem, než je tlak hydrostatický a blízcím se tlaku litostatickému. Hydrostatický tlak se zvyšuje s hloubkou v poměru s hmotností vody. Tyto geotlaké zásobníky byly vytvořeny podél pobřeží zálivu skrze rovnoměrně uložené sedimenty, které vytvořily vysoké zatížení na vrstvy ležící pod nimi. [4]



Obrázek 3: Schéma geotlakého zásobníku [4]

Obrázek 3 ukazuje periodické usedání sedimentů, způsobující zhutnění skalních vrstev. Toto usedání má za následek strmý sklon zlomu, který dokáže oddělit elementy utváření. S tímto vysokým zatížením a bez možnosti jeho uvolnění se tlak zvyšuje až mimo hydrostatické hodnoty. V geotlakých rezervoárech byl tlak natolik vysoký, že zabránil vytvoření vrtů pro těžbu ropy a zemního plynu. S následným získáním hlubších poznatků a zlepšením technologie vrtání se dnes mohou zásobníky bezpečně navrtat. [4]

Geotlaké rezervoáry jsou charakterizovány třemi důležitými vlastnostmi, které je dělají atraktivními z hlediska geotermálního využití.

Jsou to:

1. velmi vysoký tlak
2. vysoká teplota
3. rozpuštěný metan

První vlastnost umožňuje použití hydraulické turbíny k čerpání mechanické energie uložené ve formě vysokého tlaku. Druhá nám umožňuje užití určitého tepelného motoru k získání tepelné energie. A poslední vlastnost umožňuje spalování plynu k získání energie přímo na místě, nebo prodej plynu k získání financí například na rozšíření geotermálního projektu. Nicméně je nutné splnit šest kritérií, než může být projekt uskutečněn. Teplota kapaliny musí být vyšší než 230 °C, v kapalině musí být dostatečné množství rozpuštěného metanu. Vysokotlaký písek musí být dostatečně propustný a jeho vrstva dostatečně silná, písčiny útvar musí být omezen zlomem, ale zároveň nesmí být moc rozpraskaný. A nakonec musí být zaručeno, že nedojde k propadání země. Pokud má být geotlaký projekt ekonomicky životaschopný, musí být splněna všechna tato kritéria. [4]

## **2.5 Magmatický systém**

Posledním geotermálním zdrojem energie je ten, který čerpá přímo z centra zdroje tepla, tedy z magmatu, které se nachází relativně blízko povrchu Země. Koncept spočívá ve vrtání vrtu k magmatu a zavedení injektážní trubky, pomocí které se bude do vrtu pod velkým tlakem vhnět voda. Studená voda ochladí rozžhavené magma tak, že ztuhne do křehké podoby, která bude moci popraskat pod tepelným napětím, které na ni bude působit. Cílem je, aby se mohla zavedená voda vrátit zpět na zemský povrch právě skrze vzniklé praskliny na extrémně horkém povrchu ztuhlého magmatu. Na povrch se dostane voda dostatečně ohřátá na použití v geotermální elektrárně využívající Rankinova cyklu. [4]

### **3. Stávající technologie používané v Evropě k energetickému využití geotermální energie**

Geotermální energie se využívá buď k vytápění, v tomto případě jde o využívání primárních zdrojů, které mají nižší teplotu, nebo k výrobě elektrické energie v geotermálních elektrárnách. V obou případech jde o nasazení určitých technologií k energetickému využití geotermálních systémů. Toto využití závisí na lokalitě a vlastnostech geotermálního zdroje. [2]

#### **3.1 Vytápění, technologie pro krytí energetických potřeb domácností**

Vytápění pomocí geotermální energie je většinou zprostředkováno tepelným čerpadlem nebo geotermální teplárnou. Tepelné čerpadlo umožňuje přeměnu nízkopotenciálního tepla na teplo, které se využívá k vytápění nebo k ohřívání vody. Teplo je odebíráno ze země nebo z geotermální vody, a to z umělých vrtů nebo z přírodních vývěrů. [2]

Další možností je vytápění pomocí geotermálních tepláren. Ve většině případů jde o využití geotermální výtopny spojené s geotermální elektrárnou. Využívá se tak zbylé teplo, které vzniká při výrobě elektrické energie k vytápění objektů a k ohřívání vody. [2]

##### **3.1.1 Tepelná čerpadla**

Tepelné čerpadlo slouží k získání tepelné energie pocházející z primárního obnovitelného zdroje tepla. Tepelné čerpadlo je charakterizováno několika základními vlastnostmi. První z nich je celkový topný výkon, což je součet energie získané a energie dodané (příkon). Druhou vlastností je takzvaný topný faktor, který se dá vyjádřit jako podíl topného výkonu a příkonu. Topný faktor je velice důležitý při posuzování výhodnosti tepelného zdroje. Protože čím vyšší je jeho teplota, tím je vyšší topný faktor a z toho vyplývající tepelný zisk. Čím vyšší je tepelný zisk, tím je levnější provoz vytápění. [5]

Princip fungování tepelného čerpadla není nijak složitý.

*„Primární zdroj předává teplo ve výměníku v uzavřeném okruhu nemrznoucí směsi, která se tím zplyní, plyn se v kompresoru stlačí, a tím zvýší teplotu. Tato vyšší teplota se pak v dalším výměníku předá vodnímu oběhovému systému vytápění.“ [5]*

U využívání nízkoteplotních geotermálních zdrojů pomocí čerpadel platí následující výhody:

- jsou využitelné téměř ve všech lokalitách
- jejich využívání je šetrné k přírodě
- zabírají málo prostoru
- hmotnost čerpadla je nízká
- provoz je bezpečný a jednoduchý
- vstupní náklady a náklady na provoz jsou minimální

Využívají se tři typy tepelných čerpadel, které se od sebe liší druhem využívaného primárního zdroje:

1. voda - voda (vzduch)
2. země - voda (vzduch)
3. vzduch - voda (vzduch)

### **3.1.1.1 Systém voda - voda**

Systém voda - voda lze uplatňovat v lokalitách, ve kterých se vyskytuje teplejší podzemní voda, nebo zvědeň.

Voda se čerpá ze studny nebo jiného jímacího vrtu, a následně je z ní tepelným čerpadlem odebíráno teplo. Když je teplo z vody odebráno, je voda vrácena zpět do země vsakovacím vrtem nebo pomocí drenáže.

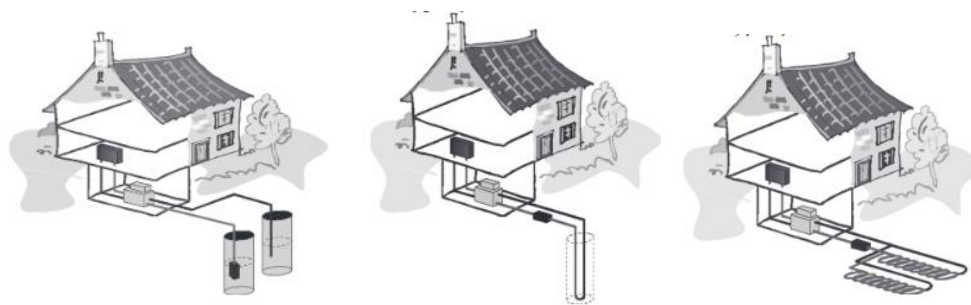
K využitelnosti systému je třeba mít stálý zdroj podzemní vody o stálé teplotě. Je potřeba, aby voda nebyla znečištěná a neobsahovala zvýšené množství určitých látek, jako například železa, manganu nebo uhličitánů. Zároveň by zdroj vody neměl být příliš vzdálený od objektu určenému k vytápění. [5]

### **3.1.1.2 Systém země - voda svislý výměník**

Lze jej uplatnit ve všech oblastech, není limitován výskytem vodního zdroje, protože jak už název napovídá, teplo se odebírá přímo ze země, nikoli z podzemní vody, jako je tomu u systému voda - voda. Získávání tepla probíhá pomocí cirkulace nemrznoucí kapaliny ve svislém vrtném výměníku. Svislé uspořádání je výhodné z hlediska šetření prostoru, je ovšem podmíněno geotermickým posudkem, kvůli zjištění potřebné hloubky vrtu, která je závislá na tepelném toku, a kvůli zjištění dostatečné vzdálenosti mezi jednotlivými vrty. [5]

### **3.1.1.3 Systém země - voda vodorovný výměník**

Liší se od předchozího systému pouze polohou výměníku. Toto uspořádání je totiž výhodnější z hlediska nižších nároků na technické provedení, a také z hlediska nízké spotřeby elektřiny, potřebné k oběhu nemrznoucí kapaliny. Naopak jeho nevýhodou je potřeba většího podzemního prostoru. [5] Schémata jednotlivých systémů využití tepelných čerpadel jsou vyobrazena na Obrázku 4.



**Obrázek 4: Schémata systémů využívajících tepelná čerpadla. Nalevo systém voda – voda, uprostřed systém země – voda svislý výměník a napravo systém země – voda vodorovný výměník. [5]**

## 3.2 Přeměna na elektrickou energii

K přeměně energie Země na elektrickou energii slouží geotermální elektrárny. Ty se ale nemohou vystavět na libovolných místech. Podmínkou pro jejich výstavbu je v první řadě vhodná lokalita s vyšším teplotním gradientem, nebo oblast se zvýšenou geotermální aktivitou. V druhé řadě musí být v této oblasti vhodná podzemní struktura, aby bylo možné vytvořit vrt hluboký několik kilometrů. V současnosti existují tři až čtyři typy geotermálních systémů, které elektrárny využívají k výrobě elektřiny. Jsou jimi Single flash cyklus, Double flash cyklus, Dry steam a Binární cyklus. [2] [4]

### 3.2.1 Single flash cyklus

Elektrárny pracující na systému Flash jsou nejvíce rozšířené geotermální elektrárny. Jejich technologie využívá vodu o teplotě nad 160 °C. Voda je pomocí změny tlaku přivedena k varu, čímž se přemění na mokrou páru. Ta se poté přemístí do separátoru, kde je rozdělena na „čistou“ sytou páru a sytou vodu obsahující obvykle řadu příměsí. Pára je následně využívána k pohánění turbíny a výrobě elektrické energie. [2]

V květnu roku 2007 bylo v 18 zemích 159 jednotek užívajících Flash systém. Představovalo to 32 % všech geotermálních elektráren, resp. 42 % celkového instalovaného výkonu geotermálních elektráren na světě. Výkony jednotek se pohybují v rozmezí od 3 do 90 MW s průměrem 25,3 MW na jednotku. [4]

Pro příklad klasická elektrárna s výkonem 30 MW potřebuje 5 – 6 produkčních vrtů a 2 – 3 vrty injekční. Vrty by měly být rovnoměrně rozmístěny nad zásobníkem nebo vrtány z jednoho místa různými směry. [4]

### 3.2.2 Double flash cyklus

Jedná se o vylepšení Single flash systému, díky kterému můžeme produkovat o 15 – 25 % více výkonu. Zásadní odlišností od Single flash cyklu je použití druhého flash procesu, který umožňuje generovat dodatečnou, sekundární páru ze syté vody za první separací, tím se lépe využívá tepelný obsah geotermální vody. Sekundární pára má ovšem nižší tlak než pára vzniklá při prvním flash procesu. Elektrárna je komplexnější, nákladnější a vyžaduje větší údržbu, ale kvůli vyššímu získanému výkonu se vyplatí do ní investovat. [4]

V polovině roku 2007 existovalo 69 elektráren využívajících tohoto systému, což představovalo 14 % všech elektráren. Instalovaný výkon se pohybuje v rozmezí od 4,7 do 110 MW a průměrný výkon je 32 MW. [4]

### 3.2.3 Dry steam

Systém Dry steam využívá geotermální páru přímo získanou z vrtu k pohonu turbíny. Takový systém se může používat pouze v lokalitách s tektonickou aktivitou, jelikož vyžaduje geotermální zdroj o velmi vysoké teplotě. V Evropě se tedy elektrárny používající tento systém vyskytují pouze na Islandu a v Itálii. [2]

Geotermální elektrárny využívající principu Dry steam byly první, které se začaly komerčně využívat. Jejich historie sahá více než 100 let nazpět do roku 1904, kdy Prince Piero Ginori postavil a provozoval malý parní motor, který využíval páru přirozeně vycházející ze země v Larderellu v italském Toskánsku. Princův motor dokázal produkovat dostatek elektrického výkonu, aby rozsvítil 5 žárovek v jeho továrně. To je považováno za první impuls pro rozvoj geotermální energie.

Dry steam elektrárny bývají jednodušší a levnější než elektrárny Flash, což je jejich výhodou. Nicméně tento systém dá plně využívat pouze ve dvou hlavních oblastech na světě. Jsou jimi Larderello a The Geysers v Kalifornii. [4]

V květnu roku 2007 zde bylo instalováno 61 jednotek tohoto typu, což je zhruba 12 % všech geotermálních elektráren, s výkonem 2,471 MW (přibližně 26 % z celkového světového geotermálního výkonu). Průměrně připadá na jednotku 40 MW. [4]

### 3.2.4 Binární cyklus

Binární elektrárny se využívají v oblastech, ve kterých se vyskytují geotermální zdroje o středních a nízkých teplotách. [2] Elektrárny využívající binární cyklus se z termodynamického hlediska nejvíce blíží klasickým fosilním nebo nukleárním elektrárnám tím, že pracovní kapalina prochází skutečným uzavřeným cyklem a vrací se tedy zpět do rezervoáru. [4] Využívají pracovní kapalinu, která má nízký bod varu. Takovým organickým médiem je například propan, isobutan nebo freon. Zvolené médium je ohříváno ve výměníku. Následně se vypařuje a vzniklé páry pohánějí turbínu. [2]

První elektrárna tohoto typu byla uvedena do provozu v Paratence na ruské Kamčatce v roce 1967. Dosahovala výkonu 670 kW a dokázala tak vyrábět elektřinu pro malou vesnici. Na počátku komerčního využití geotermální energie v italském Larderellu byl takzvaný nepřímý cyklus použitý pro 250 kW stanici. [4]

Dnes jsou binární stanice nejrozšířenějším typem geotermálních elektráren se 162 jednotkami. V květnu roku 2007 vykazovaly výkon 373 MW v 17 zemích, což činí 32% ze všech geotermálních jednotek, ale pouze 4 % veškerého výkonu. [4]

### 3.2.5 Organický Rankinův cyklus (ORC)

Jedná se o uzavřený termodynamický cyklus. Jako pracovní látka se používá taková, která má výrazně nižší teplotu varu než voda, například Isopentan PF<sub>5050</sub>. [6] Ta se odpaří ve výparníku poté, co přijme geotermální teplo vody z vrtu. Pára následně pohání parní turbínu, která je spojená s generátorem. Nakonec pára zkondenzuje v kondenzátoru, který je chlazen vodou nebo ve vzduchovém chladiči, a kapalina se pomocí čerpadla dostává zpět do oběhu. Tento cyklus má účinnost lehce nad 10%. [1]

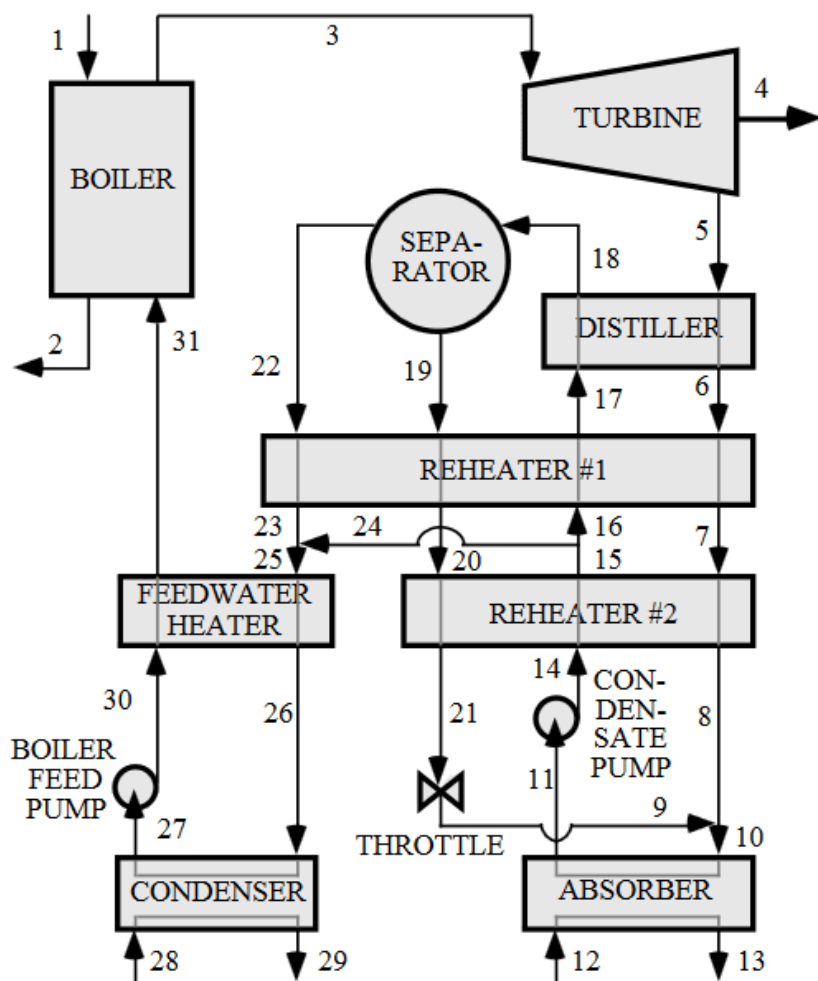


### 3.2.6 Kalinův cyklus

Jedná se o cyklus principiálně podobný Rankinovu cyklu. Jako pracovní látka je používána směs vody a čpavku. [1] Při použití této směsi může v oblasti nízkých teplot geotermálního zdroje dosahovat Kalinův cyklus o 10 – 20% vyšší účinnosti než ORC. Konkrétní účinnost je vždy závislá na středních teplotách přívodu a odvodu tepla v cyklu. Směs čpavku a vody se na rozdíl od čisté vody vaří při proměnné teplotě.

To dovoluje pracovní látce setrvat na teplotě blízké teplotě horké geotermální vody v ohřívači. Cirkulace směsi, která má různé složení v rozdílných fázích cyklu, probíhá při lehce vyšším tlaku, než je tlak atmosférický. [7]

U cyklu lze využívat klasické parní turbíny, protože molekulární hmotnost čpavku je přibližně stejná jako vody. U turbíny je však třeba použít ucpávky proti úniku čpavku, nebo se musí hermeticky uzavřít. Oproti organickému cyklu, u něhož se používají směsi uhlovodíků, je u směsi čpavku a vody užívané v Kalinově cyklu měrná tepelná kapacita více než dvakrát větší. To má za následek menší teplosměnné plochy použitých výměníků. [1]



Obrázek 5: Schéma Kalinova cyklu [7]

Obrázek 5 představuje schéma jednoho z možných zapojení Kalinova cyklu. Do ohřivače je přiváděna horká voda z geotermálního zdroje, která je zdrojem tepla (1, 2). Přehřátá pára směsi čpavku a vody (3) expanduje v turbíně a vykonává práci (4). Výfukové plyny z turbíny (5) se ochladí (6, 7, 8) zředí se kapalinou s nízkou koncentrací čpavku (9, 10) a zkondenzuje (11) v absorběru (12, 13). Nasycená kapalina, která vychází z absorběru je stlačena (14) na střední tlak a ohřata (15, 16, 17, 18). Nasycená směs je separována na kapalinu s nízkou koncentrací čpavku (19), která je opět ochlazena (20, 21) a odtlakována ve ventilu. Pára s vysokou koncentrací čpavku (22) je ochlazena (23) a je přidáno malé množství původní směsi vody a čpavku (24), aby se dosáhlo přibližně 70% koncentrace čpavku v pracovní látce (25). Celá směs je následně ochlazena (26), zkondenzována (27) chladicí kapalinou (28, 29), stlačena (30) a vrácena do nazpět do ohřivače skrze regenerátor (31). [7]

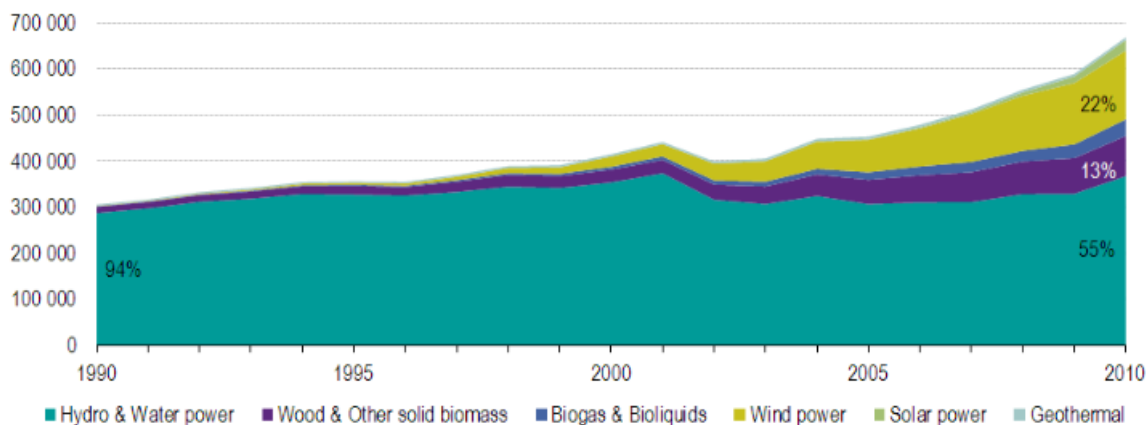
## 4. Současnost, vize a podpora geotermální energetiky v Evropě

Evropská unie je největším světovým dovozcem energie - tato energie pokrývá více než polovinu veškerých jejích energetických potřeb. S rostoucí poptávkou, která ročně roste o 1 - 2 %, se ovšem v nadcházejících 20 - 30 letech podíl dovážené energie vyšplhá až na 70 %. I když tento nárůst není tak rychlý jako ve zbytku světa, musíme se pomalu začínat poohlížet po nových zdrojích. Obnovitelné zdroje jsou na pořadu dne také díky měnícímu se klimatu. Evropská unie se podpisem Kjótského protokolu zavázala k tomu, že sníží emise skleníkových plynů o 8 % na úroveň roku 1990. Je také vypracován plán na úsporu energie, který má za cíl 20% snížení spotřeby energie do roku 2020, čímž se sníží také emise CO<sub>2</sub>. Proto Evropská unie nejvíce investuje do obnovitelných zdrojů, především do větrné a solární energie, ale také do biopaliv. [8]

### 4.1 Podíl geotermální energie v evropských státech

Geotermální energie má jisté výhody vůči ostatním obnovitelným zdrojům. Především není ovlivnitelná počasím, pochází ze stabilního zdroje a má vysokou tepelnou účinnost. Co se týče instalovaného výkonu, je na tom podstatně hůře než solární nebo větrná energie. Pro srovnání, elektřina pocházející z fotovoltaických elektráren v Číně, vyrobená za posledních pět let, je přibližně rovna množství elektřiny z geotermálních elektráren za posledních sto let. [9]

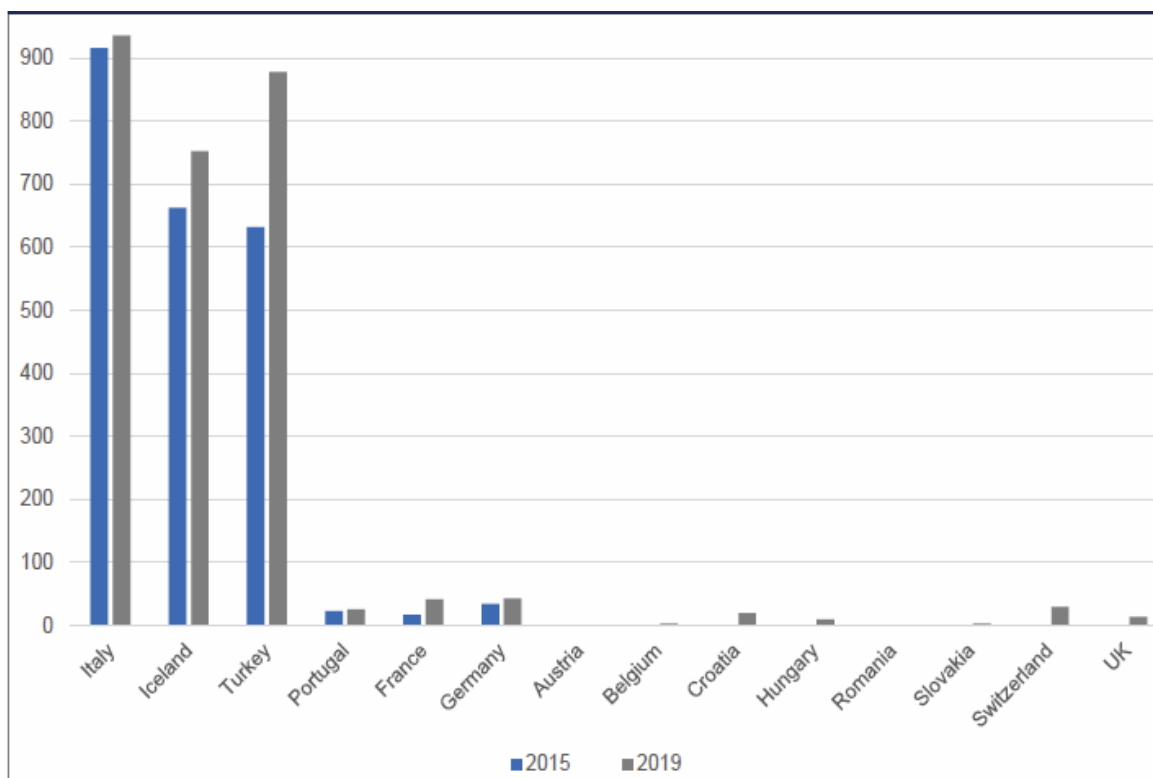
Srovnání výroby elektřiny pomocí obnovitelných zdrojů ukazuje Obrázek 6.



Obrázek 6: Graf srovnání výroby elektřiny pomocí obnovitelných zdrojů v GWh [10]

Geotermální energie se již v některých evropských regionech podstatně podílí na produkci elektřiny. Pomocí dostupných technologií se využívají rezervoáry páry a horké vody. Platí to především pro Itálii a Azorské ostrovy, ale také další ostrovy vulkanického původu včetně toho asi nejdůležitějšího, Islandu. Právě na Islandu bude geotermální energie tvořit jeden ze dvou hlavních pilířů, na kterých bude využití obnovitelných zdrojů energie postaveno. [8]

Současnou instalovanou kapacitu elektrického výkonu v jednotlivých evropských zemích můžeme vidět na Obrázku 7.



Obrázek 7: Graf instalované kapacity elektrického výkonu v jednotlivých zemích (MWe) [11]

V Evropě je v současnosti v provozu 88 geotermálních elektráren s instalovanou kapacitou 2285 MWe, z toho 52 elektráren s instalovanou kapacitou 991 MWe je v zemích Evropské unie. [11]

## 4.2 Vize geotermální Evropy

Dne 10. ledna 2007 vydala Evropská komise takzvaný energetický balíček, který mimo jiné obsahoval také plány na využití obnovitelných zdrojů energie. [8] Roku 2009 představila "National Renewable Energy Action Plans" (NREAP), které osvětlily, jak by měly členské státy dosáhnout cíle 20% energie vyrobené z obnovitelných zdrojů z celkové spotřeby energie v roce 2020. NREAP počítají také s využitím geotermálních zdrojů k výrobě energie, vytápění a chlazení. Podle rozhodnutí komise by mělo devatenáct evropských států začlenit právě využití geotermálních zdrojů do svých plánů. [12]

Tabulka 1 shrnuje plány NREAP a srovnává je s vykázanými hodnotami výkonů z roku 2012. [12]

**Tabulka 1: Shrnutí plánu NREAP [12]**

Type		Reported values <sup>1</sup> 2012	NREAP target 2012	NREAP target 2020
Shallow geothermal (mainly GSHP)	GWh <sub>th</sub>	27080	18946	49340
Deep geothermal resources (direct heat)	GWh <sub>th</sub>	9404	10440	30589
Geothermal power capacity	MW <sub>e</sub>	876	787	1612

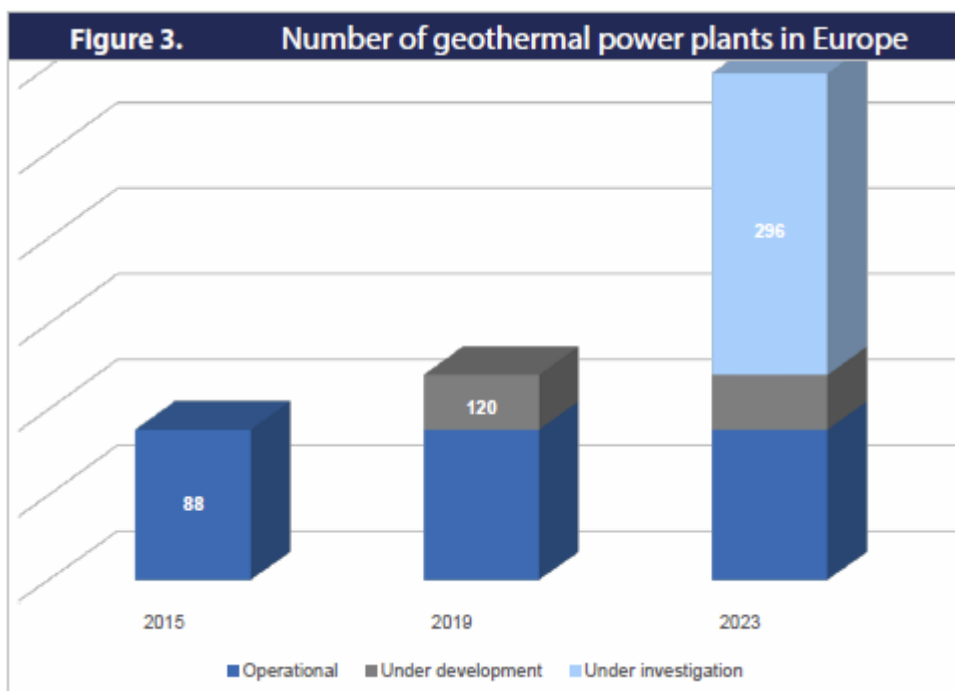
Z Tabulky 1 vyplývá, že vykázané hodnoty z roku 2012, dosáhly dokonce vyšších hodnot, než bylo plánováno, což znamená, že předpoklady nebyly nikterak přehnané. [12]

V Tabulce 2 jsou výsledky plnění plánu NREAP v roce 2015, převzaté ze zprávy o trhu, kterou vydal European Geothermal Energy Council (EGEC). Tabulka rovněž ukazuje předpokládaný stav pro rok 2020. [11]

**Tabulka 2: Víze a aktuální instalovaná kapacita elektrického výkonu (MWe) [11]**

Italy	754	837	915.5	<b>9,37</b>	920
Germany	10	79	36.6	<b>-53,67</b>	298
Greece	0	20	0		120
France	26	53	17.1	<b>-67,7</b>	80
Portugal	25	40	23	<b>-42,5</b>	75
Hungary	0	4	0		57
Spain	0	0	0		50
Ireland	0	0	0		5
Czech Republic	0	4.4	0		4.4
Croatia	N/A	5	N/A		10
Slovakia	0	4	0		4
Belgium	0	0	0		3,5
Romania	0	0	0.05		
Austria	1	1	1	<b>0</b>	1
<b>EU</b>	<b>816</b>	<b>1047.4</b>	<b>993.25</b>	<b>-5,16</b>	<b>1627.9</b>

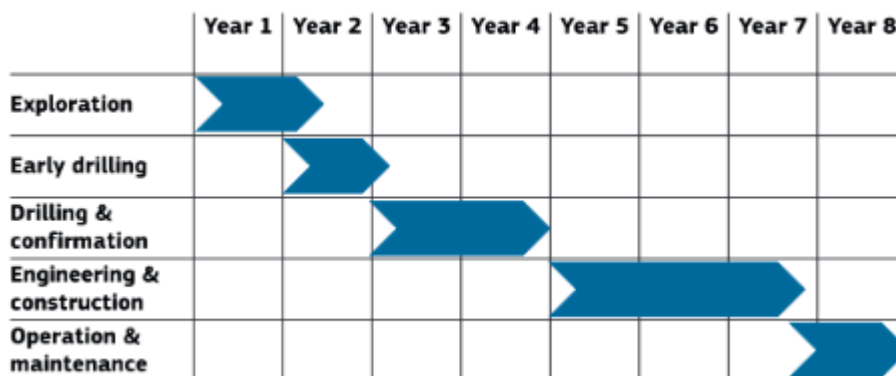
Ve zprávě o trhu, kterou vydal EGEC je také uveden počet plánovaných geotermálních elektráren. Některé z nich jsou již ve stádiu vývoje, nad výstavbou některých se teprve uvažuje. [11]



**Obrázek 8: Počet stávajících a plánovaných geotermálních elektráren v Evropě [11]**

### 4.3 Podpora využívání geotermální energie v Evropě

Jelikož mají geotermální projekty vysoké vstupní náklady, trvá minimálně tři roky, než může být projekt vydán, i když průměrný čas vydání se pohybuje spíše mezi pěti až sedmi lety. Proces realizace projektu je vyobrazen na Obrázku 9. [12]



Obrázek 9: Schéma fází realizace geotermálního projektu [12]

Evropská legislativa týkající se obnovitelné elektřiny požaduje, aby byla vydávací přednost dána obnovitelné elektřině, pokud to dovoluje legislativa jednotlivých členských zemí. V posledních deseti letech utratili členské státy 4,5 mld. Eur za rozvoj obnovitelných zdrojů. Za stejný časový úsek Evropská unie také za tento rozvoj utratila 1,7 mld. Eur z šestého a sedmého "Framework Programme" (FP6, FP7) - program na podporu rozvoje [13], a z "European Energy Programme for Recovery" (EEPR). Celkem 29,4 mil Eur bylo ze šestého a sedmého FP uvolněno na geotermální projekty před rokem 2012, ale zároveň byl geotermální sektor jediný, ve kterém se provedlo snížení dotací v rámci FP7. Z EEPR se na geotermální projekty dotace neuvolňovaly.

Dalším nástrojem, který Evropská unie k financování inovativních obnovitelných energií využívá, je program "The New Entrant's Reserve 300". Uvolnila z něj například dotaci ve výši 39 mil Eur na geotermální projekt na jihu Maďarska, chorvatský EGS projekt nebo francouzský projekt Geostras.

Vlastně všechny dotované projekty jsou typu EGS s nominální kapacitou vyšší než 5 MW. [12]

Riziko geotermálních projektů tkví v tom, že není stoprocentně zaručené nalezení adekvátního zdroje, nebo že mezitím, než dojde k samotné realizaci projektu, výhodnost zdroje upadne. To ovšem nelze zjistit dříve, nežli je financování geotermálního projektu schváleno, protože součástí projektu jsou také průzkumné vrty, které mají největší vliv na jeho nákladnost. Proto existuje takzvané "rizikové pojištění fondů", které funguje ve třech členských státech Evropské unie, ale také ve Švýcarsku a na Islandu. Úspěšnost projektů je naštěstí vyšší než 80 %.

Dalším zvýhodněním obnovitelných zdrojů, tedy i geotermálních, je pevná výkupní cena z nich získané elektřiny. Taková podpora je dostupná ve 23 členských státech Evropské unie, ale výše výkupní ceny se v jednotlivých státech liší. Nejvýhodnější je tato podpora v Německu, kde se 1kWh zvýhodňuje částkou 25 Eur, případně 30 Eur jedná-li se o projekt EGS. Zvýhodnění může být ještě vyšší při získání tzv. zeleného bonusu, kterého se dosáhne v případě výroby určitého procenta elektřiny čistě z obnovitelného zdroje. [12]

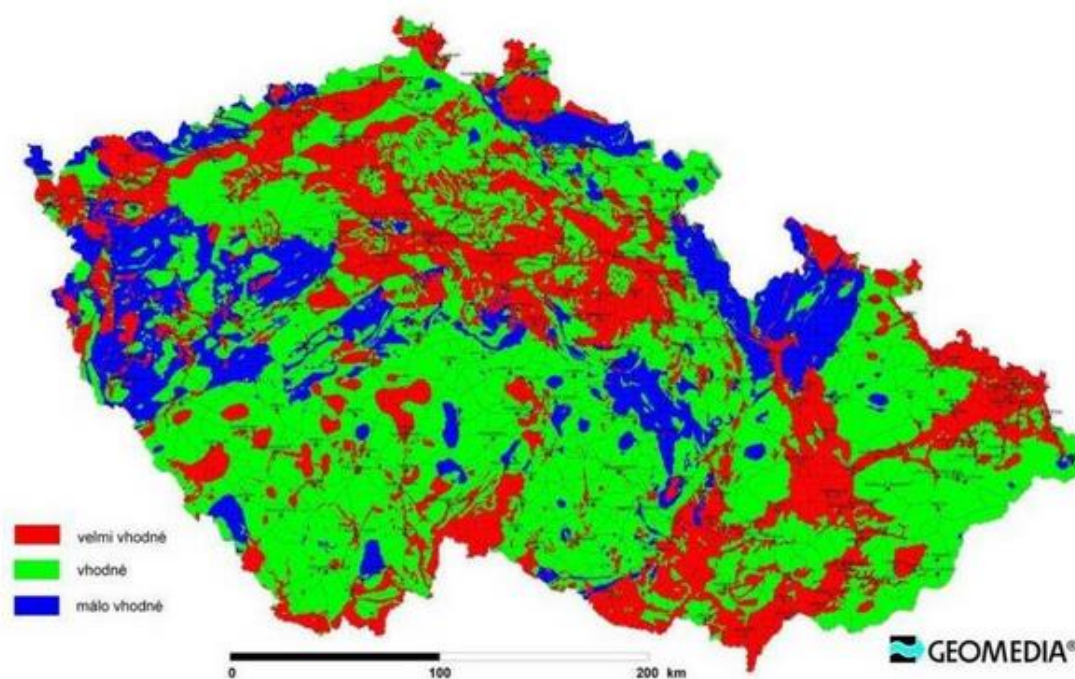


## 5. Současnost, vize a podpora geotermální energetiky v České republice

### 5.1 Geotermální potenciál České republiky

Přesto, že v současné době se geotermální energie v České republice využívá hlavně k vytápění, jde o perspektivní zdroj, a to vzhledem k několika zásadním faktorům.

Jsou jimi například malá mocnost pevninské kůry nebo výskyt zlomových struktur, kterými prostupuje teplo z větších hloubek. Na potenciál geotermální energie se nahlíží hlavně z hlediska tepelného toku a tepelné vodivosti hornin. [14]



Obrázek 10: Vhodné oblasti k využití geotermální energie v ČR [14]

Nejvíce výhodnou možností využití geotermálního energetického potenciálu v České republice je metoda HDR. Zdroje HDR je možné využívat v podstatě na celém území ČR. Nejvhodnějšími oblastmi jsou ty s vysokým tepelným tokem. Takové lokality lze využít pro binární geotermální elektrárny, které jsou vhodnější pro geotermální zdroje o nízké a střední teplotě. Nejvýhodnější je však v takových lokalitách využít kogenerační jednotku, tedy kombinovanou výrobu elektřiny a tepla (KVET). [14]

Ostatní geotermální zdroje není možné v ČR využívat v plné míře. Hydrotermální zdroj většinou nesplňuje jedno z kritérií, a to dostatečně velký zdroj o vysoké teplotě. I přes to se v ČR využívá na Děčínsku. V Děčíně je v provozu teplárna, která využívá podzemní vodu o teplotách 32 - 35 °C ke komerčnímu vytápění.

Další oblastí pro využití podzemní vody jsou sedimenty vídeňské pánve nebo moravské karpatské předhlubně. Tam se teplota vody pohybuje v rozmezí 50 - 70 °C.

Metoda HFR se může využít jen v oblastech, ve kterých se vyskytují horké rozpraskané horniny samovolně. Úprava horniny hydraulickým štěpením není v ČR povolena, platí na něj moratorium. Takový typ hornin se na našem území vyskytuje na Karlovarsku, kde se projevuje horkými prameny. Geotermální zdroj je klasifikován jako nízkoteplotní a pro výrobu energie se nevyužívá. [14]

Magmatické nebo geotlaké oblasti se v České republice vůbec nevyskytují.

### 5.1.1 Projekt Litoměřice

Jedná se o první projekt využívající hlubinnou geotermální energii, a to za užití technologie Hot Dry Rock/EGS v České republice. [15] Město Litoměřice bylo vybráno pro tento projekt z jednoznačného důvodu, a to že leží na průsečíku dvou tektonických zlomů - podkrušnohorského a zlomu v ose řeky Ohře. Kolem města se nacházejí kopce Českého středohoří, jež jsou vulkanického původu. V blízkosti města byly prováděny průzkumné vrty, jejichž součástí bylo i měření teploty horniny. Z naměřených teplot se dá vyvodit teplotní gradient oblasti. [1]

Projekt počítá s vrtáním 2-3 vrtů o hloubce kolem 5 km a s vytvořením podzemního výměníku. [15] Počítá se ziskem 140 l/s média o teplotě asi 150 °C, což znamená tepelný výkon přibližně 50 MW při 12% účinnosti Kalinova cyklu a ochlazení média na 70 °C. Je však možné i využití ORC technologie. Získaná energie by měla být využívána k výrobě tepla a případně i elektřiny. [15] Vstupní náklady se pohybují ve výši 1,1 mld. Kč. [1]

## 5.2 Podpora využívání geotermální energie v ČR

Před rokem 2002 byla geotermální energie podporována dotacemi hlavně při využívání tepelných čerpadel. Dotační podpora byla podmíněna zateplením objektů dle normy a vybudováním primárního tepelného zdroje. V té době byly geotermální projekty plánovány hlavně pro výrobu tepla. Podporu pro využívání geotermální energie jako obnovitelného zdroje tedy využívaly hlavně domácnosti, hotely a menší průmyslové objekty. Do roku 2002 se geotermální zdroje k výrobě elektrické energie téměř nevyužívaly.

Až v roce 2006 byly Energetickým regulačním úřadem stanoveny výkupní ceny pro obnovitelné zdroje energie v závislosti na zákonu č. 180/2006 Sb. Pro elektřinu získanou z geotermálních zdrojů byla výkupní cena stanovena na 4,50 Kč/kWh a přiznání zeleného bonusu na 3,51 Kč/kWh. Toto stanovení dalo až patnáctiletou záruku vložených investic. [5]

Pro rok 2014 byly Energetickým regulačním úřadem stanoveny podpory pro podporované energetické zdroje energie cenovým rozhodnutím č. 4/2013 ze dne 27. listopadu 2013. Výkupní ceny za elektřinu získanou z geotermálních zdrojů byly stanoveny dle Tabulky 3. [16]

**Tabulka 3:** Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro výrobu elektřiny využitím geotermální energie [16]

r./sl.	Druh podporovaného zdroje (výroby)	Datum uvedení výroby do provozu		Jednotarifní pásmo provozování	
		od (včetně)	do (včetně)	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
	a	b	c	l	m
600	Výroba elektřiny využitím geotermální energie	-	31.12.2012	4 590	3 740
601		1.1.2013	31.12.2013	3 356	2 506
602		1.1.2014	31.12.2014	3 290	2 440

## 6. Výhody a nevýhody užití geotermální energie

Jednou z výhod geotermální energie je její šetrnost k životnímu prostředí. A to především z hlediska produkce škodlivých plynů jako jsou například CO<sub>2</sub> nebo NO<sub>x</sub>. Ta je v případě použití uzavřeného systému elektráren minimální, protože plyny z vrtu jsou navraceny zpět do země. A v případě použití otevřeného systému, při kterém se plyny dostávají do atmosféry, je například produkce oxidu siřičitého stále přibližně třicetkrát menší než u uhelných elektráren. [17] Další výhodou je stálá výroba energie, která není závislá na klimatických podmínkách, jako je tomu u jiných elektráren využívajících obnovitelných zdrojů energie, hlavně tedy elektráren fotovoltaických a větrných. [2] Plusovým bodem může být také to, že geotermální elektrárny na rozdíl od elektráren fotovoltaických a větrných nijak zvlášť nezasahují do vzhledu krajiny. Ale to je nejspíš jen otázkou názoru.

Geotermální energetika má ovšem i své nevýhody, a to především z pohledu ekonomického. Vstupní náklady na vytvoření hlubokých vrtů nebo umělých puklin při metodě HDR jsou velmi vysoké. S realizací vrtů a puklin jsou nadále spojeny problémy s možností vzniku zemětřesení, avšak zatím největší takto vzniklé zemětřesení mělo sílu pouhých 3,4 stupňů RichtEROVY škály. Dále je u výroby elektrické energie jistou nevýhodou nutné nalezení správné oblasti vyhovující podzemní strukturou a teplotním gradientem. [2]

## 7. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zpracování rešerše nasazení geotermální energie v Evropě a v České republice. V úvodu jsem krátce vysvětlil pojem geotermální energie, a důvody, které vedly k jejímu postupnému nasazování.

Ve své práci jsem zvolil dle mé úvahy logickou posloupnost kapitol. Na začátek jsem zařadil parametry geotermální energie, což jsou pojmy, které se vyskytují průběžně v celé práci, a které jsou důležité nejen z hlediska porozumění textu, ale i z hlediska využití geotermální energie samotné. V jednotlivých kapitolách jsem se snažil na začátku stručně shrnout, co přesně budou obsahovat, popřípadě i trochu vysvětlit některé pojmy.

Jako první kapitolu jsem zařadil Geotermální systémy, protože právě z nich se geotermální energie vyčerpává. Popsal jsem v ní čtyři, respektive pět základních geotermálních systémů, které se na naší planetě vyskytují, a které se i nějakým způsobem opravdu využívají pro následovnou výrobu elektrické energie. Na tuto kapitolu navazuje kapitola druhá s názvem Stávající technologie používané v Evropě k energetickému využití geotermální energie. Jak už název napovídá, kapitola popisuje právě využívání geotermálních systémů k přeměně na elektrickou energii v geotermálních elektrárnách. Seznamuje se systémy, které se k tomu využívají, a to jak s těmi typicky geotermálními, tak i s cykly, které se využívají i v jiných odvětvích.

Po objasnění obecných informací jsem se začal zabývat současným stavem, ale také stavem budoucím. K tomu jsem zahrnul i možné formy podpory rozvoje. Na úplný závěr své práce jsem ponechal zhodnocení výhod a nevýhod užití geotermální energie.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] MOTLÍK, Jan. *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice*. Praha: ČEZ, 2007. ISBN 978-80-239-8823-9. s. 47
- [2] VOBOŘIL, David. Geotermální energie. In: *OEnergetice* [online]. 2015 [cit. 2016-06-04]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/geotermalni-energie/>
- [3] PETRÁNEK, Jan. Tepelná vodivost hornin. In: *Online geologická encyklopedie* [online]. 2007 [cit. 2016-06-05]. Dostupné z: [http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?tepelna\\_vodivost\\_hornin](http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?tepelna_vodivost_hornin)
- [4] DIPIPPPO, Ronald. *Geothermal power plants: principles, applications, case studies and environmental impact*. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, c2008. ISBN 978-0-7506-8620-4. Dostupné také z: <http://site.ebrary.com/lib/cvut/reader.action?docID=10196338>
- [5] MYSLIL, Vlastimil, Zdeněk KUKAL, Karel POŠMOURNÝ a Václav FRYDRYCH. Geotermální energie: Ekologická energie z hlubin Země – současné možnosti využívání. *Planeta: odborný časopis pro životní prostředí*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2007, **XV**.(4). ISSN 1801-6898. Dostupné také z: [http://prvnigeotermalni.cz/upload/4084e9a33cc28c0fe8e25501a8bcbc01/geotermalni\\_energie\\_myslil\\_4.pdf](http://prvnigeotermalni.cz/upload/4084e9a33cc28c0fe8e25501a8bcbc01/geotermalni_energie_myslil_4.pdf)
- [6] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [7] WALL, Göran, Chia-Chin CHUANG a Masaru ISHIDA. *EXERGY STUDY OF THE KALINA CYCLE* [online]. 1989 [cit. 2016-06-09]. Dostupné z: <http://www.exergy.se/ftp/kalina.pdf>

- [8] SANNER, Burkhard a Miklos ANTICS. Status of Geothermal Energy Use and Resources in Europe. Proceedings European Geothermal Congress 2007, 2007. Dostupné také z: [http://geothermalcommunities.eu/assets/elearning/1.20.final\\$20paper\\$20country\\$20update\\$20overview.pdf](http://geothermalcommunities.eu/assets/elearning/1.20.final$20paper$20country$20update$20overview.pdf)
- [9] LI, Kewen. Comparison of geothermal with solar and wind power generation systems. Stanford, California, 2013. Dostupné také z: <http://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/SGW/2013/Li.pdf>. China University of Geosciences, Beijing/Stanford University, Stanford Geothermal Program.
- [10] ŠTURC, Marek. Renewable energy: Analysis of the latest data on energy from renewable sources. 44/2012. Eurostat, 2012. ISSN 1977-0316. Dostupné také z: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3433488/5585312/KS-SF-12-044-EN.PDF/d3dbfde0-5af8-4510-856b-287a6f015665>
- [11] ANGELINO, Luca, Philippe DUMAS, Charlotte GINDRE a Alexandra LATHAM (eds.). EUROPEAN GEOTHERMAL ENERGY COUNCIL - EGEC. *Market Report 2015: Preview*. Fifth Edition. 2016. Dostupné také z: <http://egec.info/wp-content/uploads/2015/03/EGEC-market-report-preview-version.pdf>
- [12] SIGFÚSSON, Bergur a Andreas UIHLEIN. EUROPEAN COMMISSION, JOINT RESEARCH CENTRE, INSTITUTE FOR ENERGY AND TRANSPORT. 2014 JRC Geothermal Energy Status Report: Technology, market and economic aspects of geothermal energy in Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015. ISBN 978-92-79-44614-6. ISSN 1831-9424. Dostupné také z: [https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/jrc\\_geothermal\\_report\\_final.pdf](https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/jrc_geothermal_report_final.pdf)
- [13] The Sixth Framework Programme in brief. European Commission, 2002. Dostupné také z: [https://ec.europa.eu/research/fp6/pdf/fp6-in-brief\\_en.pdfv](https://ec.europa.eu/research/fp6/pdf/fp6-in-brief_en.pdfv)



[14] VOBOŘIL, David. Geotermální energie v ČR. In: *OEnergetice* [online]. 2015 [cit. 2016-06-05]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/geotermalni-energie-v-cr/>

[15] Projekt "Geotermální energie Litoměřice". Litoměřice: Geotermální energie [online]. 2013 [cit. 2016-06-06]. Dostupné z: <http://prvni-geotermalni.cz/cz/o-projektu/projekt-geotermalni-energie-litomerice>

[16] *Energetický regulační věstník*. In: . Jihlava: Energetický regulační úřad, 2013, ročník 13, 7/2013, číslo 4. Dostupné také z: [https://www.eru.cz/documents/10540/462894/CR\\_POZE\\_04\\_2013.pdf/fcc8b49f-c021-475a-b3b7-a375e0074b84](https://www.eru.cz/documents/10540/462894/CR_POZE_04_2013.pdf/fcc8b49f-c021-475a-b3b7-a375e0074b84)

[17] Environmental Impacts of Geothermal Energy. In: *Union of Concerned Scientists: Science for a healthy planet and safer world* [online]. [cit. 2016-06-09]. Dostupné z: [http://www.ucsusa.org/clean\\_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-geothermal-energy.html#.V1mMLORx3ug](http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-geothermal-energy.html#.V1mMLORx3ug)