

**Česká zemědělská univerzita
Technická fakulta**



**Bakalářská práce
Geotermální energie**

**Autor práce: Jakub Kaiser
Vedoucí práce: RNDr. Jan Sedláček, Ph.D.**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jakub Kaiser

Zemědělská specializace
Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Geotermální energie

Název anglicky

Geothermal energy

Cíle práce

Z dostupné literatury popsat fyzikální podstatu získávání geotermální energie, obecně charakterizovat možnosti jejího využití. Uvést pozitiva a negativa využití geotermální energie a ekonomicky zhodnotit.

Metodika

Na základě studia dostupných materiálů vypracovat bakalářskou práci dle předložené osnovy. Předpokládá se rešeršní práce bez vlastních experimentů.

Doporučený rozsah práce

25 – 30 stran

Klíčová slova

Energie, zemské jádro, fyzikální podstata, možnosti využití, náklady, přínosy, ekonomické zhodnocení.

Doporučené zdroje informací

HALLIDAY, D. – OBDRŽÁLEK, J. – RESNICK, R. – WALKER, J. – VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. *Fyzika : vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: Vutium, 2000. ISBN 80-214-1869-9.

HALPERN, A.: 3000 Solved Problems in Physics. McGraw-Hill, New York, 1988, 751 pp. ISBN 0-07-025734-5

JARDINE, J.: Physics through Applications. Oxford University Press, Oxford, 1991, 247 pp. ISBN 0-19-914280-7

MECHLOVÁ, E. – KOŠTÁL, K. *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz*. Praha: Prometheus, 1999. ISBN 80-7196-151-5.

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

RNDr. Jan Sedláček, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra fyziky

Elektronicky schváleno dne 10. 1. 2020

prof. Ing. Martin Libra, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 22. 04. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Geotermální energie“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 3. 5. 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu RNDr. Janu Sedláčkovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a cenné rady, které mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval.

Geotermální energie

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá geotermální energií a jejími možnostmi využití. Geotermální energie je tepelná energie uchovaná pod povrchem naší Země. Její využití může být v oblasti vytápění, ohřevu vody nebo výrobě elektrické energie. Cílem bylo popsat obecně a fyzikálně podstatu geotermální energie a jejího využití, uvést výhody a nevýhody a ekonomicky zhodnotit. Práce je zpracována metodou literární rešerše z dostupné literatury. Oproti ostatním zdrojům energie, není geotermální energie tolik využívána. Proto jsou v práci popsány nesporné přednosti využívání geotermální energie, ovšem vyšší náklady na investici a nestejně rozložení geotermální energie na Zemi brzdí její rozvoj.

Klíčová slova: energie, fyzikální podstata, tepelný tok, výkon, tepelná čerpadla, elektrárna, investice, náklady

Geothermal energy

Summary

The Bachelor's thesis deals with geothermal energy and its possibilities of uses. Geothermal energy is thermal energy stored under the surface of our Earth. It can be used in the field of heating, water heating or generation of electricity. The goal was to describe general and physical principles of geothermal energy and its use, to state advantages and disadvantages and evaluate them economically. The thesis is processed by the method of literary research from the available literature. Unlike other types of energy sources, geothermal energy is not so much used. The chapters describe the indisputable advantages of using geothermal energy, but higher investment costs and uneven severance of geothermal energy on Earth hampers its development.

Key words: energy, physical principle, heat flow, wattage, heat pumps, power plant, investment, cost

1 Obsah

2	Úvod.....	1
3	Cíl práce.....	2
4	Metodika práce	2
5	Geotermální energie.....	2
5.1	Zemské vrstvy	2
5.2	Zdroje geotermální energie.....	3
5.3	Dělení geotermálních zdrojů energie.....	4
6	Historie geotermální energie.....	4
7	Fyzikální podstata geotermální energie	5
7.1	Přenos tepla	6
7.2	Tepelná vodivost hornin	7
8	Geologické faktory ovlivňující geotermální energii.....	8
9	Potenciál geotermální energie v ČR	9
10	Geotermální energie ve světě.....	11
11	Výhody a nevýhody geotermální energie	13
12	Tepelná čerpadla	14
12.1	Princip tepelného čerpadla.....	15
12.2	Topný faktor	16
12.3	Druhy tepelných čerpadel.....	17
12.3.1	Tepelné čerpadlo vzduch-voda.....	17
12.3.2	Tepelné čerpadlo země-voda.....	18
12.3.3	Tepelné čerpadlo voda-voda	20
13	Ekonomické zhodnocení tepelných čerpadel.....	21
13.1	Metody hodnocení investic.....	22
13.1.1	Metoda výnosnosti investic.....	23
13.1.2	Metoda doby splacení.....	23
13.1.3	Metoda čisté současné hodnoty.....	23
13.1.4	Metoda vnitřního výnosového procenta.....	23
13.2	Příklady realizace projektů tepelných čerpadel v ČR.....	24
14	Čerpání vysokoteplotních zdrojů	24
14.1	Dry steam.....	25
14.2	Flash steam	25

14.3	Binární geotermální elektrárna	25
14.4	HDR elektrárny	26
15	Závěr	26
16	Seznam obrázků	28
17	Bibliografie	29

2 Úvod

V posledních letech jsou obnovitelné zdroje energie často zmiňované téma. Využívání větrné, sluneční a vodní energie má ve světě rostoucí křivku. Z důvodu, že fosilní paliva jako je uhlí, ropa a zemní plyn jsou neobnovitelné zdroje, na kterých stála a v současnosti i stojí výroba energie. Může se stát, že v řádech stovek let bude vyčerpána jejich kapacita. Zároveň je jejich těžba a zpracování nepříznivé vůči životnímu prostředí. Proto dochází k plynulému přechodu výroby energie z obnovitelných zdrojů energie. Zmiňované obnovitelné zdroje energie patří mezi nejznámější a také nejvíce využívané. Existují však ještě další obnovitelné zdroje energie, které mají velký potenciál. Jedná se o energii z biomasy, bioplynu, ze zdrojů energie v půdě a geotermální energie.

Geotermální energie má velmi zajímavý výhled do budoucna. Jde o zdroj energie z nitra Země se stálou dostupností a velmi nízkým nepříznivým vlivem na životní prostředí. I díky odlišným geologickým podmínkám na různých místech naší planety, je vývoj geotermální energie v každé zemi odlišný. V České republice se i kvůli horším podmínkám energie z nitra Země příliš nevyužívá a mnoho občanů nemá o tomto zdroji energie ani ponětí. To by se mohlo změnit i díky nové směrnici ve stavebním zákoně o energetické náročnosti budov, která vstoupila v platnost od ledna 2020. Ve zkratce se jedná o to, že nově postavené rodinné domy musí splňovat standardy pasivního či nulového domu. Jedná se o domy s nižší spotřebou energie, u pasivních domů maximálně 15 kWh/m² za rok. Pasivní domy upřednostňují pro vytápění a ohřev vody obnovitelné zdroje energie. Proto se instalují do domků solární panely, kolektory, kotle na pelety a také tepelná čerpadla.

Tepelná čerpadla jsou jedním z druhů využívající energii z nitra Země pro ohřev vody a vytápění. Avšak existují i jiné způsoby, které využívají geotermální energii pro získávání elektrické energie. V této práci se budu snažit popsat podstatu získávání geotermální energie a možnosti jejího využití. V následujících kapitolách budu postupně popisovat fyzikální charakteristiku, technologii využívání a potenciál geotermální energie s ohledem na ekonomické hledisko.

3 Cíl práce

V první části práce je cílem popsat obecně geotermální energie, její vznik a fyzikální podstatu, která je s ní spojena. V druhé části práce je cílem vyobrazit získávání geotermální energie, která je pro člověka využitelná. Vhodně popsat metody získávání energie, stejně tak výhody i nevýhody a také ekonomické zhodnocení.

4 Metodika práce

Pomocí dostupné odborné literatury a dalších zdrojů bych rád popsal danou problematiku geotermální energie. Jedná se o literární rešeršní práci bez vlastních experimentů.

5 Geotermální energie

Jedna z definic může znít takto: geotermální energie, je obnovitelný zdroj energie, který se získává z nitra Země. Obnovitelný zdroj energie, znamená, že se jedná o nevyčerpatelný zdroj energie. I když jsou již zaznamenávány nějaké poznatky, že na některých místech nedochází k tak výkonnému čerpání energie, tak jako tomu bylo v minulosti. Jedná se, ale o malé výjimky z oblastí, které využívaly geotermální energii delší dobu. Z nitra Země se využívá energie ve formě tepla, která se poté využívá přímo k vytápění či ohřevu vody anebo přes generátor k výrobě elektrické energie. Zatímco pro vytápění stačí malé hloubky s nižší teplotou, pro výrobu elektřiny je zapotřebí daleko vyšších teplot. Oproti ostatním obnovitelným zdrojům je teplo z nitra Země soběstačné, tedy nezávislé na ostatních vlivech. Jako například u sluneční energie nebo bezvětrí u větrné energie. Geotermální energii můžeme čerpat téměř pořád.

K vědám zabývajícím se studiem Země řadíme geofyziku. Tento obor zkoumá fyzikální jevy na zemském povrchu a okolí blízké zemské kůli. Geofyzika se dále dělí na: gravimetrii, seismiku, magnetometrii, geoelektriku, radiometrii, karotáž, petrofyziku a geotermiku. Právě geotermika je hlavním oborem, ze kterého vychází geotermální energie, jelikož zkoumá tepelný tok a teplotní pole Země. Samozřejmě se to netočí jen kolem geotermiky. Například radiometrie je věda zkoumající radioaktivitu hornin. Jaký podíl má radioaktivita hornin na geotermální energii je objasněno v následujících kapitolách. Jak je však uvedeno výše, s touto obnovitelnou energií, jako z kteroukoliv jinou, souvisí více oborů. [1] [2]

5.1 Zemské vrstvy

Poznání prostředí je důležité pro každou oblast zkoumání. Proto je pro pochopení principů geotermální energie a jejího potenciálu zapotřebí poznání prostředí pod povrchem Země. Zemské těleso, které má poloměr 6378 kilometrů, je velmi těžko prozkoumatelné přímými metodami. Nejhlubší vrt na světě je 12,5 kilometrů hluboký, což je velká vzdálenost, ale v porovnání s poloměrem Země je to pouze 0,196 % prozkoumaného nitra Země. Proto se využívají nepřímé metody, které zkoumají hlubší části zemského tělesa. Mezi nejrozšířenější metodu patří studium rychlosti šíření seismických vln, díky nimž můžeme zkoumat vnitřní stavbu Země.

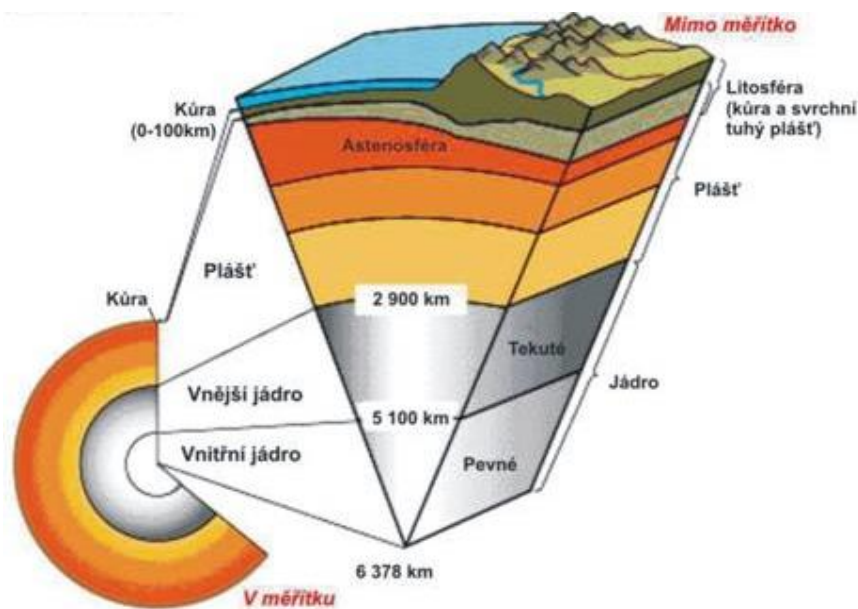
Proto již víme, že vnitřní stavba Země se dělí do tří hlavních vrstev: zemské jádro, zemský plášť a zemská kůra.

Zemské jádro se skládá ze dvou částí: vnitřní a vnější. Je tvořeno zejména těžkými oxidy železa a niklu, které se při formování zemského tělesa vlivem gravitační síly přesouvaly do středu zeměkoule. Rozhraní mezi vnitřním a vnějším jádrem se nachází v hloubce 5200 kilometrů a mezi vnějším jádrem a zemským pláštěm v hloubce 2900 kilometrů. Z pohledu geotermiky je pro nás zásadní, že směrem k jádru Země narůstá teplota a tlak. V jádru Země by se naměřily hodnoty 4300 až 6000 °C a 300 až 450 GPa. Vlivem těchto teplot a tlaku je vnitřní jádro pevné a vnější jádro tekuté.

Zemský plášť se dělí na svrchní a spodní. Rozhraní mezi těmito vrstvami je v rozmezí 600 až 950 kilometrů hluboko. Hmoty pláště jsou vlivem vysokých teplot a tlaků taveny. Nej-svrchnější vrstva svrchního pláště se skládá již z pevné, ale velmi křehké hmoty. Od této hloubky směrem k povrchu Země je tato část označována jako litosféra.

Zemská kůra je nej-svrchnější vrstvou zeměkoule. Hloubka této vrstvy je na každém místě rozdílná. Na pevnině může mít hloubku 30 až 70 kilometrů a pod oceánem pouhých 6 až 15 kilometrů. Sloučeniny, které převládají v kůře, jsou zejména křemičitany, oxidy a uhličitany. Teploty v kůře podle výzkumů mají lineární průběh, každých 100 metrů se teplota zvyšuje přibližně o 3 °C. Tato vrstva je vzhledem ke geotermální energii pro nás zásadní k čerpání tepla z těchto hloubek, jelikož dostupná technologie není schopna se dostat do hlubších částí, než je zemská kůra.

Pojem litosféra, který byl již zmiňovaný, je potřeba dovysvětlit. Skládá se ze zemské kůry a svrchního pláště. Z geometrického hlediska se skládá z litosférických desek, které se pohybují. Díky tomuto pohybu mohou vznikat zemětřesení, ale také to má vliv na rozdělení pevniny na kontinenty. Pevnina je litosféra ve větší výšce, než je hladina moře. [3] [4]



Obrázek 1 Zemské vrstvy

5.2 Zdroje geotermální energie

Ohledně vnitřní energie Země a jejím vzniku koluje řada hypotéz. Již z předchozí kapitoly je patrné, že v jádru Země jsou opravdu vysoké teploty, které jsou stálým předmětem diskuzí a sporů. Je zřejmé, že za zdrojem energie, stejně jako na povrchu Země, stojí nějaký pohyb,

například tektonický pohyb nebo pohyb podzemních vod. Z toho plyne, že každý pohyb uskutečněný pod povrchem Země způsobí uvolňování tepla. Základními zdroji zemské energie, které literatura uvádí je:

Teplo, které se získalo při vzniku zemského tělesa a jeho postupným formováním, z jádra Země, kde jsou velké teploty, vystupující do vrchnějších vrstev Země. Fyzikálně lze tento jev popsat přeměnou kinetické energie na teplo.

Již na přelomu 19. a 20. století, po objevu radioaktivity, se zjistilo, že v nejsvrchnější vrstvě, zemské kůře, se tvoří teplo vlivem rozpadu přírodních radioaktivních prvků v horninách, především draslíku, uranu a thoria. Jedná se hlavně o izotopy s dlouhým poločasem rozpadu. Hlavními představiteli jsou ^{40}K , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U , které jsou v různém množství součástí hornin. Podle nich lze zjistit, které oblasti by byly vhodné pro získávání geotermální energie, jelikož od 20. století se tento proces považuje za hlavní zdroj zemského tepla.

Dalšími menšími zdroji tepelné energie jsou geochemické procesy, pohyb litosférických desek nebo také rotace Země.

Některé literatury uvádějí, že zdrojem tepelné energie je také Slunce. Nejbližší hvězda naší Země produkuje velké množství slunečního záření, ale velká část záření se odrazí zpět nebo je pohlcena atmosférou. Je dokázáno, že na povrch Země dopadne jen 18 % slunečního záření a do hloubky 3 metrů pod povrchem dopadne i méně než 0,01 %. Z tohoto důvodu se může zdát, že sluneční záření nemá vliv na geotermální energii, protože se k získávání tepla využívá hloubkových vrtů. Vzhledem k využívání horizontálních výměníků, které se ukládají do hloubky 1 až 2 metry pod povrchem, má zcela jistě sluneční záření vliv na oteplování půdy v těchto hloubkách. Dalo by se říct, že tepelná čerpadla sestavená z horizontálních výměníků jsou jedinou technologií, kde můžeme uvažovat o slunečním záření jako o zdroji geotermální energie. [5] [6]

5.3 Dělení geotermálních zdrojů energie

Geotermální zdroje energie jsou děleny do tří skupin na:

- Vysokoteplotní zdroje, které se využívají zejména pro výrobu elektřiny. Teploty v těchto oblastech se pohybují nad 200 °C.
- Středněteplotní zdroje, které se využívají pro přímé vytápění a také pro výrobu elektřiny. Teploty jsou v rozmezí od 150 do 200 °C.
- Nízkoteplotní zdroje, které jsou využity zejména tepelnými čerpadly pro ohřev domácností, sportovních hal a dalších občanských staveb. Teploty tohoto zdroje jsou do 100 °C. [6]

6 Historie geotermální energie

První zmínky o geotermální energii a jejím využívání zaznamenali již obyvatelé USA, kteří ještě nežili jako my v budovách. Před 10 000 lety již domorodci využívali zemské teplo k tomu, aby jim nezamrzli potraviny v kořenových sklepech. V té samé době také objevovali horké prameny pro koupání, léčebné účely nebo zahřátí.

První geotermální systém dálkového vytápění byl vyvinut ve 14. století ve francouzském městečku Chaudes-Aigues, které dnes slouží jako turistické a rekreační letovisko. Nachází se

zde více než 32 horkých pramenů, kde u jednoho z pramenů stoupá teplota vody až k 82 °C, což je nejteplejší voda stoupající k povrchu v Evropě.

První podnikatelské využití geotermální energie, přesněji řečeno termálních koupelí, za účelem zisku provedl v roce 1830 Američan Asa Thompson. Ve stejném roce jedna z nejlepších zemí ve využívání geotermální energie, Island, uvedl do provozu první dálkové vytápění pro hlavní město Reykjavík. [7] [8]

Do historie se zapsal také Ital Pierro Ginori Conti, který v roce 1904 využil energii z nitra Země k výrobě elektrické energie. Italská elektrárna v Larderellu je považována za nejstarší geotermální elektrárnu. V současnosti je zde geotermální elektrárna o výkonu 390 MW, využívající horké páry o teplotách až 250 °C. Přestože je geotermální energie považována za obnovitelný zdroj energie, tlak páry se v této oblasti zmenšil od roku 1950 o 30 %.

Carnotův cyklus, tedy základní princip tepelného čerpadla byl uveden již v roce 1824. Dlouhou dobu, vzhledem k nezdárné výrobě chladicího zařízení, trvalo vynálezčům vyrobit tepelné čerpadlo. Až v roce 1948 bylo uvedeno do provozu první tepelné čerpadlo v budově Equitable Building v Portlandu ve státě Oregon.

Během 80. let v USA dosahovalo využívání geotermální energie velkého pokroku. Na Fenton Hill v Novém Mexiku v roce 1978 byl pro výrobu elektřiny zaveden první druh elektrárny Hot Dry Rocks. V průběhu 90. let rostl počet tepelných čerpadel jak v USA tak v Evropě.

V posledních letech jsou si země vědomy, že využívání nejen geotermální energie, ale obecně obnovitelných zdrojů energie, je šetrnější vůči životnímu prostředí než fosilní paliva, proto přispívají na zřizování obnovitelných způsobů energie. Například v České republice byl v roce 2014 spuštěn dotační program Zelená úsporám. [5] [7]

7 Fyzikální podstata geotermální energie

Tepelnou energií neboli vnitřní energií se zabývá část fyziky, která se nazývá termodynamika. Hlavním pojmem termodynamiky je veličina zvaná **teplota** značená T . Jedná se o veličinu soustavy SI a její základní jednotkou je Kelvin, označovaný [K]. Pro všeobecné, obchodní a vědecké účely se využívá jednotka Celsiův stupeň, značený jako [°C]. Stupeň Celsia je stejně velký jako Kelvin, jediný rozdíl je v posunutí stupnice těchto dvou jednotek. To znamená, že pro 0 °C je hodnota na Kelvinově stupnici na hodnotě 273,15 K. Celsiova stupnice se používá hlavně v Evropě, ale i jinde na světě. Spojené státy americké používají ještě jinou stupnici, tzv. Fahrenheitovou stupnici. Kde se odvodí teplota ve stupních Fahrenheitu pomocí Celsiova stupně z následujícího vzorce:

$$T_F = \frac{9}{5} T_C + 32$$

Kde T_F je teplota ve stupních Fahrenheit a T_C je teplota ve stupních Celsia.

Základním kamenem využívání geotermální energie je znalost nultého zákona termodynamiky, který definuje tepelnou rovnováhu těles, která značí, že tělesa mají stejnou hodnotu teploty.

Teplo, značené Q , je veličina, která vyznačuje energii, přenesenou mezi systémem a prostředím. Jako systém si můžeme představit horký čaj, který si nalijeme z varné konvice a jako prostředí místnost v bytě. Horký čaj má vyšší teplotu než daná místnost. To znamená, že místnost se otepluje a čaj se ochlazuje do té doby, než budou oba systémy v tepelné rovnováze.

Vše je způsobeno změnou vnitřní energie, kterou dostaneme sečtením potenciální a kinetické energie, která vzniká pohyby atomů, molekul a dalších jiných částic. Platí nám tedy zákon o zachování energie. Jednotka tepla je uvedena z roku 1948, jelikož se jedná o přenesenou energii, používá se jako základní jednotka, jednotka SI Joule, značená [J].

Na zahřívání látek a kapalin se podílí také veličiny tepelná kapacita a měrná tepelná kapacita. **Tepelná kapacita**, označená C , je konstantou úměrnosti mezi množstvím tepla dodané do předmětu a tím způsobenou změnou teploty předmětu. Vyjadřuje kolik tepla je potřeba pro těleso, aby se jeho teplota zvětšila o jednotku. Vypočte se ze vzorce:

$$Q = C \cdot (T_f - T_i)$$

Kde Q je teplo dodané předmětu, T_f je koncová teplota a T_i je počáteční teplota. Teploty se mohou udávat v Kelvinech nebo stupních Celsia. Jednotkou tepelné kapacity je tedy jednotka energie lomeno jednotka teploty. Může to vypadat například takto: J/°C, J/K, cal/K.

Další veličinou, se kterou uvažuje geotermální energie je **součinitel tepelné vodivosti značený λ** . Jedná se o veličinu, která vyjadřuje schopnost materiálu vést teplo. Materiál, který má vysokou hodnotu součinitele tepelné vodivosti, dobře vede teplo, je tedy dobrým vodičem tepla. Jednotka součinitele tepelné vodivosti je $\frac{W}{m.K}$. Zde uvedu pár příkladů materiálů a jejich součinitel tepelné vodivosti: hliník $235 \frac{W}{m.K}$, olovo $14 \frac{W}{m.K}$, suchý vzduch $0,026 \frac{W}{m.K}$ a vodík $0,18 \frac{W}{m.K}$.

Nejdůležitější veličinou v geotermice je **tepelný tok**, značený ϕ . Vyjadřuje množství tepla, které prochází jednotkou plochy za jednotku času. Jednotka tepelného toku je $m.W/m^2$. Čím vyšší je hodnota tepelného toku v daném horninovém prostředí, tím je větší možnost využívání geotermální energie. Pro představu střední hodnota tepelného toku na celém světě je $70 m.W/m^2$. V České republice byla vypočítána průměrná hodnota $68 m.W/m^2$, v oblastech poblíž Karlových Varů a Teplicka mohou být hodnoty tepelného toku i víc než $100 m.W/m^2$. Co se týče oblasti s největším tepelným tokem, tak tento údaj lze specifikovat jen přibližně. Tepelný tok zjišťujeme pomocí teplot z hloubkových vrtů a je zřejmé, že vrt nemůžeme dělat na každém místě.

Souvislost s touto veličinou má gradient tepla a geotermický stupeň. Gradient tepla ΔQ_L vyjadřuje přírůstek tepla s hloubkou. Jednotkou je Joule na metr.

Geotermický stupeň vyjadřuje počet metrů, za kterých stoupne teplota o $1^\circ C$. Průměrná hodnota, která se v této době udává je 33 metrů. Tuto hodnotu je třeba brát s rezervou, jelikož se jedná o průměr. Zaleží totiž na tom, kde tyto hodnoty byly naměřeny. Jelikož mnoho geofyziků tvrdí, že hodnoty pro tento průměr byly zjišťovány hlavně v oblastech s aktivní tektonickou a sopečnou činností. V čem se naopak shodují je, že v zemské kůře pod oceánem roste teplota rychleji než v zemské kůře na povrchu. [10] [11]

7.1 Přenos tepla

Existují tři mechanismy přenosu tepla: vedení (kondukcí), proudění (konvekci) a záření (sáláním).

Vedení neboli kondukcce spočívá v přenášení energie z teplejšího tělesa na chladnější působení molekul hmoty do doby, než nastane tepelná rovnováha mezi tělesy. Teplejší tělesa mají molekuly s větší kinetickou energií, kterou předávají chladnějším tělesům. Zvyšováním

kinetické energie tedy zahříváme těleso. Látky, které nepřenášejí dobře teplo, nemají dostatek volných elektronů, jsou nazývány tepelnými izolátory. A naopak látky, které mají dostatek volných elektronů, jsou tepelnými vodiči. Z toho plyne, že dobrými tepelnými vodiči jsou látky, které jsou také dobře elektricky vodivé. Volné elektrony nejsou jedinými částicemi, které se podílejí na přenosu tepla. Fonony jsou částice, které jsou založeny na přenosu energie, podobnému jako je akustické vlnění. Kmitající fonony se předávají po dávkách. Proto i když má nějaká látka málo volných elektronů, ale vysoký podíl fononů, tak se dokáže vyrovnat dobrým tepelným vodičem.

Proudění neboli konvekce nastává v případě kontaktu tekutiny nebo plynu s předmětem vyšší teploty. Tím se tekutina zahřívá a roztahuje, čímž klesá hustota kapaliny. Vzhledem ke snížení hustoty začne vlivem vztahové síly stoupat vzhůru. To vše probíhá za předpokladu, že se do pohybu dostávají částice, které jsou větší než molekuly. Z pohledu geotermální energie uvedu příklad zahřívání podzemní vody, která vlivem výše popsaných principů stoupá a na povrchu se může objevit ve formě již z daleké minulosti známých horkých pramenů. Pokud bude dostatečný tlak a teplota, může se tvořit uvnitř Země pára, která se využívá pro výrobu elektrické energie.

Třetí způsob přenosu tepla je záření, někdy také nazývané jako sálání, které pro přenos tepla využívá elektromagnetické vlny a jako jediný nevyžaduje látkové prostředí. Pokud je prostor mezi zářícím a ozařovaným tělesem vyplněn látkou, nezáleží na teplotě prostoru mezi tělesy předávající si teplo. Toto je případ přenosu tepla ze Slunce na Zemi. Tento způsob přenosu tepla neprobíhá uvnitř Země. Pod zemským povrchem se můžeme setkat s předešlými typy přenosu tepla, vedením a prouděním. [11] [12]

7.2 Tepelná vodivost hornin

Znalost tepelné vodivosti je důležité pro správný návrh hloubky a počtu vrtů, například pro tepelná čerpadla. Pokud hovoříme o tepelné vodivosti hornin, hovoříme o součiniteli tepelné vodivosti, který je již vyjádřen výše. Když vezmeme příklad, že součinitel tepelné vodivosti hliníku je $235 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a srovnáme to s hodnotou součinitele tepelné vodivosti suchého jílu, který je $0,8$ až $1,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, zjistíme tak, že tepelná vodivost hornin je daleko horší. Ovlivňuje ji totiž řada faktorů, například vlhkost, větší množství vody, které pozitivně ovlivňuje hodnotu součinitele tepelné vodivosti, nebo přítomnost vodivých minerálů. Naopak velká pórovitost negativně ovlivňuje tepelnou vodivost. Proto například horniny, které jsou bohaté na křemen, mají dobrou tepelnou vodivost, za to jílovce a prachovce tuto dobrou vlastnost nemají. Hodnoty tepelné vodivosti hornin zjišťujeme laboratorními metodami nebo tzv. testem teplotní odezvy (Thermal Response Test – TRT), který nabízí firmy zabývající se instalováním tepelných čerpadel. Jde o test, kdy ve vrtu pomocí PE kolektoru proudí teplá voda, zbytek vrtu je vyplněn injektážní směsí. Pomocí oběhového čerpadla cirkuluje vrtem teplá voda, přičemž se měří teplota na vstupu a výstupu kolektoru. Dalšími sledovanými parametry je také tepelný odpor. Tento test se nedoporučuje dělat z ekonomických důvodů pro málo výkonná tepelná čerpadla, například pro rodinné domy, ale pro tepelná čerpadla s vyšším výkonem. [10] [13] [9]

8 Geologické faktory ovlivňující geotermální energii

V nitru Země se nachází spousta energie, kterou lze získávat. Předpokládá se, že pokud by mělo být využito celkové teplo, které je uloženo v zemské vrstvě do 3 kilometrové hloubky. Pro spotřebu lidstva by toto vystačilo na minimálně 100 000 let. Člověku se může zdát, že po přečtení těchto řádků, není problém na kterémkoliv místě postavit geotermální elektrárnu. Jak už to bývá, stejně jako u člověka, tak i v podzemních vrstvách Země. Každému nejsou přiděleny určité schopnosti či vlastnosti. Proto jsou vrstvy půdy, které jsou vhodné pro zemědělství, jiné samozřejmě hlubší pro těžbu a další pro využívání geotermální energie. Toto platí zejména pro vysokoteplotní zdroje energie, kde jsou zapotřebí velké teploty, v co nejnižších hloubkách. Zatímco nízkoteplotní zdroje, využívající teplo pomocí tepelných čerpadel, se můžou postavit víceméně kdekoliv.

Hlavními systémy, kde lze předpokládat vysokoteplotní energie, jsou hydrotermální systémy, systémy horkých suchých hornin a magmatické systémy.

Pokud mluvíme o hydrotermálních systémech, jedná se zejména o systémy s horkou vodní parou a podzemní vodou, která se vyskytuje ve formě zvodní. Zvodeň je definovaná jako hydraulicky vzájemně souvislá a jednotná akumulace gravitační podzemní vody v hornině. Soubor vlastností hornin, díky nimž probíhá pohyb a akumulace podzemních vod či páry jsou nazývány jako hydraulické vlastnosti hornin. Mezi základní vlastnosti patří propustnost, neboli schopnost horniny propouštět veškeré tekutiny či plyny a pórovitost, tedy přítomnost dutin různých tvarů v horninovém prostředí. Tyto vlastnosti jsou kvantitativně hodnoceny, takže lze získat určité hodnoty, podle nichž lze předpokládat možnost využití geotermální energie na principu suché nebo mokré páry. Horninová prostředí, která těžce propouštějí podzemní tekutiny, se nazývají geologickými izolátory.

Co se týče rozdělení podzemních vod, tak ty dělíme na: podzemní s vodou volnou a napjatou. V podzemní vodě volné je tlak roven atmosférickému, zatímco podzemní voda napjatá má vyšší tlak než tlak atmosférický. Z toho plyne, že napjatá podzemní voda je méně vhodná z geotermického hlediska, jelikož při vyšším tlaku, než je atmosférický, je teplota varu vody vyšší než při atmosférickém tlaku. Pokud bychom chtěli najít tyto systémy v krajinách, měli bychom je hledat zejména na okraji litosférických desek. Na tomto rozhraní je umožněn výstup tepla a vzestup magmatických těles. Tento zdroj zahřívá svrchnější vrstvy Země. Horká podzemní voda a pára se využívá při výrobě elektrické energie či přímému využití tepla.

Systémy horkých suchých hornin vycházejí přímo z vysokých teplot hornin. Tato teplota se nachází v rozmezí 150 až 200 °C. Vzhledem k tomu, že se jedná o vysoké teploty, můžeme najít tyto horniny v oblastech s anomálním tepelným tokem. Samozřejmě, že tyto teploty hornin bychom mohli najít na jakémkoliv místě na této planetě, ale otázkou je, v jaké hloubce se nacházejí. Jednou z nejtěžších prací při hledání ideálního zdroje geotermální energie je technika vrtů. Technicky je možné se dostávat do hloubek hlubších než 5 kilometrů, ale z ekonomického hlediska je to dost nákladné. Suché horniny se v dobrých podmínkách nachází v hloubkách 3000 až 5000 metrů, v případě horších podmínek je to více.

Pro využití nízkoteplotního zdroje energie pomocí tepelných čerpadel stačí zvýšení teploty, oproti teplotě na povrchu, jen o několik stupňů. Zde se bavíme o malých hloubkách v řádech desítek metrů. [13] [14]

Na první pohled se nemusí zdát, že hloubky blízko zemnímu povrchu, jsou také využívány k získávání geotermální energie. Jedná se o hloubky 1 až 2 metry pod povrchem, ze kterých lze čerpat teplo pomocí horizontálních výměníků tepelných čerpadel. Tento zemní masiv přichází o teplo například vlivem ochlazení zemního masivu okolním vzduchem, ochlazení výparem srážek a podzemní vody, spotřebou tepla při chemických reakcích probíhajících v půdě a spotřebou tepla při tání ledu a sněhu. Naopak oteplování zemního masivu způsobuje především sluneční záření, teplejší okolní vzduch, spodní voda nebo teplo vznikající při kondenzaci vodní páry a mnohé další vlivy. Rozdíly teplot mezi dnem a nocí jsou neměřitelné již od hloubky 0,4 metrů, v případě suché půdy je to méně 0,23 metrů. Naopak variace teplot mezi létem a zimou ovlivní hodnoty teplot v půdě v hloubce 1 až 2 metry, jelikož v suchých půdách se tyto změny neprojeví v hloubce 4,5 metrů a vlhkých mezi 7 až 8 metry.

Hloubky 1 až 2 metry zajistí pro horizontální výměníky:

- izolace zemního výměníků od denních výkyvů teplot,
- uložení výměníku pod obvyklou nezámrznou hloubkou v dané lokalitě (v České republice z pohledu stavebnictví je minimálně 0,8 metrů),
- uložení výměníku dostatečně blízko povrchu, z důvodu ohřívání těchto částí slunečním zářením.

V případě hlubšího uložení než 2 metry pod povrchem lze uvažovat v případě extrémních výkyvů teplot mezi létem a zimou. Pro představu uvedu přibližné rozmezí teplot v hloubce 1,2 metry. V únoru v roce 2014 bylo naměřeno 5 až 7 °C a v červenci téhož roku 18 až 19 °C. [15]

Když to shrneme, k výskytu geotermální energie jsou zohledňovány řady skutečností. Z pohledu fyzikálního je zapotřebí zejména vysoká hodnota tepelného toku a dostatečná tepelná vodivost hornin. Z pohledu geologie se jedná zejména o vhodné mineralogické složení hornin a jejich vlastnosti, dále zda v oblasti dochází k vulkanické aktivitě, či výskytu horkých pramenů nebo gejzíru. [14]

9 Potenciál geotermální energie v ČR

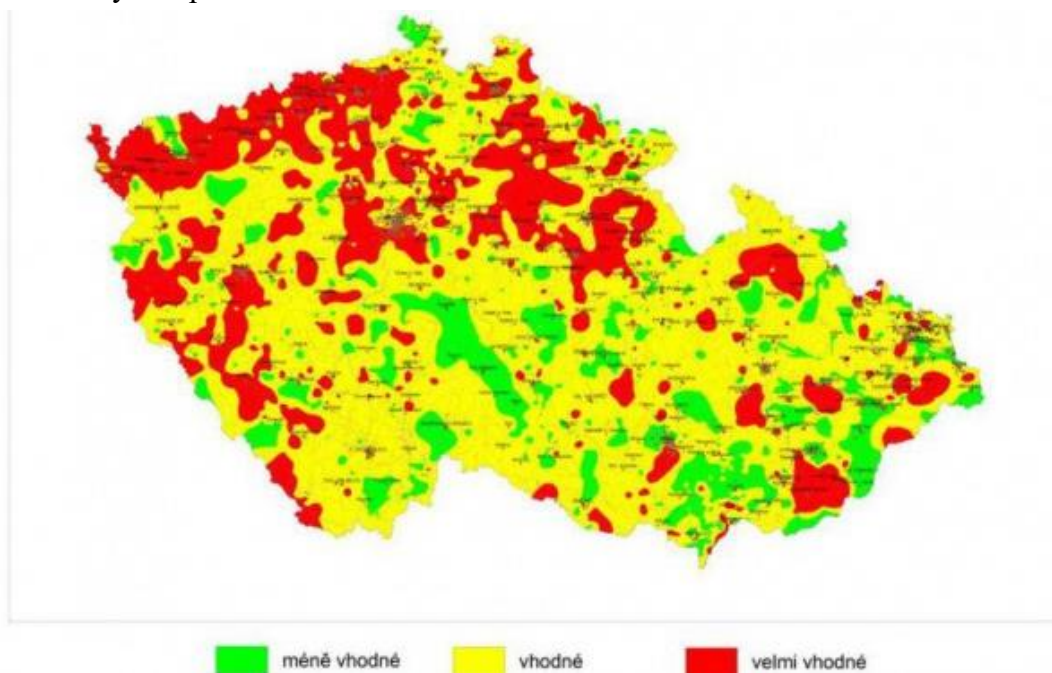
Česká republika není významnou zemí, která by se pyšnila velkými systémy využívající geotermální energie. To neznamená, že pro to nemá předpoklady. Jak již víme, zdroje geotermální energii se rozdělují na tři druhy: vysokoteplotní, středněteplotní a nízkoteplotní. Z tohoto hlediska je zapotřebí hledět i na geotermální energii.

Nikoho asi nepřekvapí, že nejvyužívanější jsou v České republice nízkoteplotní zdroje. Jedná se o získávání tepla tepelnými čerpadly a tato technologie je perfektně zvládnutá. I když vstupní investice na pořízení tepelného čerpadla může řadu lidí odradit, její navrácení je docela brzké i vzhledem k narůstajícím cenám energie. Dalším nízkoteplotním zdrojem, který je u nás využíván, jsou termální vody určené k léčebným a rekreačním účelům. Nejvyšší teplotu můžeme najít v karlovarských termálních minerálních pramenech, kde můžeme naměřit 72,3 °C. Další významné termy na našem území můžeme najít v Teplicích, Jánských Lázních, Losinách a dalších.

Co se týče středněteplotních a vysokoteplotních zdrojů, ty jsou daleko méně využívané, vysokoteplotní zdroje prozatím vůbec. Je to dáno zejména drahou technologií vrtů, jelikož tyto zdroje musíme hledat v hlubší části Země. Pro vysokoteplotní zdroje je takový standard hloubka 5 kilometrů, ale i tato vzdálenost nemusí na každém místě stačit k dosažení teploty větší než 150 °C. [14]

Potenciál geotermální energie z hlediska geologického, lze Český masiv rozdělit na tři části: Platformní jednotky, Limnický permokarbon, Hydrogeologický masiv.

Platformní jednotky najdeme je v křídových a terciálních pánvích, kde se v nejhlubších částech nacházejí termální vody s teplotou 20 až 30 °C. Známé projekty využívající geotermální energii z těchto oblastí je město Děčín, které využívá termální vodu o teplotě 30 °C z hloubky 550 m pomocí teplených čerpadel (2x3,28 MW). Využívá se pro vytápění domácností a plaveckého bazénu. Jinak z hlediska využití geotermální energie pro výrobu elektrické energie je z důvodu nízkých teplot nereálné.



Obrázek 2 Mapa potenciálu geotermální energie v České republice

Pro Limnický permokarbon je charakteristická klesající celková propustnost hornin se stoupající hloubkou. V hloubkách 500 metrů a více je typický výskyt solanek typu Na-Cl s mineralizací až 100 g/l, což je faktor, který negativně ovlivňuje potenciál pro využití geotermální energie. Nejvyšší teplota naměřená v těchto oblastech byla v Karviné v hloubce 1700 metrů 69 °C. Jinak limnický permokarbon můžeme najít v Hornoslezské pánvi, kde ve hloubkách 1000 až 1500 metrů naměříme teploty v rozsahu od 40 °C do 50 °C. Z hlediska využívání vysokoteplotní geotermální energie, není permokarbon vhodný.

Hydrogeologický masiv je charakteristický puklinovou porozitou a nehomogenitou vertikální a horizontální propustnosti způsobené tektonickým postižením hornin. Nalezneme zde tvrdé horniny tvořené krystalickými horninami a silně zpevněnými sedimenty. Toto prostředí nalezneme na velké části naší zeměkoule. Také v České republice je hydrogeologický masiv rozprostřen na 84 % našeho území. Z hlediska geotermální energie se jedná o nejperspektivnější

prostředí, což dokazují uvedené hodnoty z již vyhloubených vrtů. Dosud nejhlubší vrt v České republice byl vyhlouben v Litoměřicích v rámci projektu o první využívání vysokoteplotního zdroje geotermální energie. Dosud v hloubce 2110 metrů byla naměřena teplota 67,5 °C, což odpovídá teplotnímu gradientu 33,4 °C/km. Z hlediska odhadů by měly být v hloubce 5000 metrů teploty v rozmezí 178 až 207 °C. Dále za zmínku stojí vrt na Cínovci, hluboký 1596 metrů, byl zjištěn velký tepelný tok 105 mW/m² a tepelný gradient 35,7 °C. [16]

Co se týče vysokoteplotních zdrojů, které by využívaly teplo pro získání elektrické energie, je na našem území vytipováno minimálně 60 oblastí, které mají potenciál pro získávání vysokých teplot. Jenže jsou pro nás limitující drahé náklady na tyto technologie. K prozkoumání geotermální energie by měl přispět právě probíhající projekt, jenž byl na konci roku 2019 zahájen. V něm bude pod vedením České geologické služby a dalších partnerů jako je Geofyzikální ústav Akademie věd a Komora obnovitelných zdrojů energie, budou zkoumány vysokoteplotní zdroje v hloubkách 4 000 až 5 000 metrů hluboko. Tento projekt má navázat na již zjištěné údaje o potenciální geotermální energii v ČR. Jeho konec je naplánován na červen roku 2022. [17]

10 Geotermální energie ve světě

Již z předchozích kapitol víme, že jsme geotermální energii schopni získávat víceméně z každé oblasti. Problém nastává tehdy, pokud je naším plánem přeměňovat získanou geotermální energii na elektrickou energii. V tomto případě jsou zapotřebí vyšší teploty, které se nacházejí ve větších hloubkách nebo v geotermicky příznivých oblastech, kde vysoké teploty nejsou tak hluboko. Proto se budu v této kapitole zaměřovat na vysokoteplotní zdroje energie, které státy využívají k výrobě elektřiny.

Křivky, zobrazující instalované jednotky, využívající geotermální energii pro výrobu elektrické energie, mají již roky stoupající tendenci. Dle zprávy ze Světového geotermálního kongresu z roku 2020 je na celé naší planetě 30 států, které vyrábí elektřinu z geotermální energie. Bariérou pro větší počet zemí, využívající vysokoteplotní energii, je zejména financování těchto projektů. Jelikož se z počátku jedná o velkou investici, potřebují tyto projekty schválení až na vládní úrovni a také veřejnou podporu. Proto se nemůžeme divit, že v těchto 30 zemích najdeme velké ekonomické mocnosti jako je USA, Japonsko, Turecko, Itálie, Nový Zéland a mnoho dalších. Asi nikoho nepřekvapí, že největší zemí na světě z pohledu celkového instalovaného výkonu elektráren k roku 2020 jsou Spojené státy americké s celkovým instalovaným výkonem 3700 MW, které vyrábí odhadem 18366 GWh/rok. Překvapením může být, že v závěsu za USA je Indonésie s celkovým instalovaným výkonem 2289 MW a Filipíny s výkonem 1918 MW. V této třicítce zemí jsou také země jako je Kostarika, Chile, Guatamela, Papua Nová Guinea, nebo Keňa. Celkový instalovaný výkon všech těchto zemí využívající geotermální energii pro tvorbu elektrické energie je 15950,40 MW.

Již z předpokladů a plánovaných projektů je odhad, že se celkový instalovaný výkon navýší do roku 2025 na 19331,01 MW. Předpokládá se, že největší podíl na tomto nárůstu bude mít hlavně Indonésie, o které se mluví jako o zemi s největším geotermálním potenciálem. Tato země chce do roku 2025 navýšit celkový instalovaný výkon na 7000 MW. Je ale velice nepravděpodobné, že tohoto cíle dosáhne, jelikož s dalším nárůstem jsou spojena rizika související s dohodou o nákupu vyrobené elektřiny. Dále je také největší geotermální mocností

USA, která však mezi lety 2015 a 2019 nepostavila žádnou novou geotermální elektrárnu. Přesto se jejich celkový instalovaný výkon zvětšil o 8,4 %. V těchto letech se USA zaměřovala na zlepšení výkonu stávajících elektráren a jejich rozšiřování. Již do budoucna je jasné, že USA rozšíří svůj celkový instalovaný výkon o 111 MW. Přestože patří USA mezi geotermální špičku, tak podíl v jejich území tohoto způsobu výroby energie z celkově vyrobené energie je pouze 0,4 %.

Od roku 2015 je považována Keňa za zemi s nejrychlejším růstem instalovaného výkonu elektráren geotermální energie. Rozvoj tohoto druhu energie je v zemi podporován díky národním rozvojovým bankám, mezinárodním organizacím nebo také Africké rozvojové bance. Na této zemi je vhodné si ukázat, jak je důležité, aby stát podporoval projekty zabývající se rozvojem geotermální energie. Všechny, kromě dvou projektů v Keni, byly financovány z veřejného sektoru. Vláda v Keni plánuje mít do roku 2030 instalovaný výkon elektráren geotermální energie vyrábějící elektřinu 5000 MW.

Další zemí, kde se očekává nárůst využívání geotermální energie vzhledem k trvale rostoucí ekonomice je Turecko. Mezi lety 2015 a 2020 investovali do průzkumu, vývoje a vrtů okolo 3,5 miliard amerických dolarů. Z těchto zjištění byly v určitých oblastech zaznamenány teploty 295 °C ve hloubkách 4500 metrů. Na rozdíl od Keni, tyto průzkumy byly financovány z 90 % ze soukromého sektoru a zbývajících 10 % z veřejného sektoru.

V této kapitole jsem nezmínil ještě evropskou velmoc v oblasti využívání geotermální energie Island. Tato země díky velkému potenciálu, ale také velkému zájmu islandské vlády o rozvoj geotermální energie dodává na svém území 62 % energie z nitra Země z celkového množství vyrobené energie. Nejenže vyrábí pomocí geotermální energie elektrickou energii, kde můžeme najít Island na desátém místě v žebříčku celkových instalovaných výkonů elektráren v zemi. Ale tato ostrovní země se pyšní využíváním geotermální energie pro pracovaný systém dálkového vytápění, v zemědělství či ve veřejném osvětlení. Skvělé geotermální podmínky lze uvést na příkladu islandského projektu hlubokého vrtání, který se uskutečnil od srpna 2016 do ledna 2017 v regionu Reykjanes v jihozápadní části Islandu. V hloubkách 3 až 4 km byly naměřeny teploty okolo 500 °C. Pro srovnání jen připomenu z předchozí kapitoly náš nejhlubší vrt hluboký něco málo přes 2 kilometry s teplotou okolo 67 °C a předpokladem, že v 5 kilometrech by měl 170 °C až 207 °C. Vidíme, že ty teploty jsou víc než dvojnásobně větší. Jak byl již výše zmiňován proaktivní přístup islandské vlády k rozvoji geotermální energie, tak právě ta v posledních letech podporuje společně s několika soukromými společnostmi sídlícími na Islandu rozvoj geotermální energie jak na Islandu, tak i v celém světě. Islandské společnosti zabezpečují vrtné práce a poradenské služby, které jsou klíčovým faktorem pro rozvoj geotermální energie v rozvojových zemích po celém světě.

Dále se předpokládá, že do roku 2025 se do stávajícího seznamu států využívající geotermální energii pro výrobu elektrické energie přidají nové státy jako je například Kanada, Řecko, Irán, Ekvádor a karibské státy. V současnosti probíhá v Kanadě 8 projektů, které zabývající se výrobou elektřiny z geotermální energie. Pokud by mělo jít vše podle plánu, tak by v roce 2025 mohly být některé projekty dokončeny a celkový výkon elektráren v Kanadě by dosahoval 10 MW. Na druhé straně Řecko již má zkušenosti s geotermální elektrárnou o výkonu 2 MW, ta však byla v 70. letech odstavena z důvodu nadměrné velikosti a nelibosti občanů. Výzkumy z roku 2018 ukazují, že se v oblastech Lesbos či Methana jsou vysokoteplotní zdroje, proto je velice pravděpodobné, že v těchto oblastech v blízké budoucnosti rozjedou rozvojové aktivity.

V nejbližší době by se mohla dokončit elektrárna v ostrovním státu Dominika ležícího v Karibiku, kde byly již před 30 lety za pomoci OSN, amerických agentur a francouzské vlády zkoumány geotermální zdroje. Z geotermálních vrtů se zjistilo, že potenciál geotermální energie zde najdeme. Již v hloubkách 1500 metrů můžeme naměřit i teploty nad 235 °C. Elektrárna, která zde byla v roce 2014 uzavřena a od konce roku 2019 se renovuje a rozšiřuje na plánovaný výkon 7 MW, by mohla být zprovozněna v průběhu roku 2021. [18] [19]

11 Výhody a nevýhody geotermální energie

Jako každý zdroj energie má i geotermální energie určité výhody a nevýhody. Již z předchozích kapitol si lze některé odvodit. V této kapitole shrnu ty nejzásadnější.

Mnohé zdroje uvádějí na prvním místě jako výhodu, že je geotermální energie přívětivá k životnímu prostředí, neznamená to však, že by žádným způsobem nedocházelo k znečišťování. Do ovzduší mohou unikat plyny, jako je sirovodík či oxid uhličitý nebo velké množství tepla, které souvisí s technologickým problémem odpadního tepla, se nímž se potýká mnoho elektráren. I přesto jsou zdroje geotermální energie ekologicky přívětivější než konvenční zdroje paliv, jako je uhlí a jiná fosilní paliva.

Výhodou také je, že se jedná o obnovitelný zdroj energie. Uvnitř Země je akumulováno velké množství tepla, které vzniklo při vzniku Země, rozpadem přírodních radioaktivních prvků a mnohými dalšími faktory.

Další velkou výhodou, zejména oproti jiným obnovitelným zdrojům energie, kterou se geotermální energie může chlubit stálým zdrojem energie. Získávání tepla z geotermální energie neovlivňuje počasí či roční období. Na příkladu uvedu fotovoltaickou elektrárnu, která neodebírá sluneční energii v noci nebo větrnou elektrárnu, která je závislá na rychlosti větru. Při bezvětří nepřemění větrná elektrárna žádnou energii. Za to geotermální energii mohou uživatelé odebírat po celý den. Za zmínku stojí i celkem dlouhá životnost jak u elektráren všech druhů využívající geotermální energii, tak i tepelných čerpadel.

Jednou z největších nevýhod geotermální energie je, že na každém území je rozprostřeno podzemní teplo jinak. Jsou vulkanické oblasti, které jsou bohaté na geotermální energii, a lze v nich najít vysoké teploty v přijatelné hloubce. V těchto oblastech se využívají vysokoteplotní zdroje energie prostřednictvím geotermálních elektráren. Dále máme oblasti, kde příroda nebyla tolik štědrá, ale to nebrání těmto státům využívat nízkoteplotní zdroje energie tepelnými čerpadly.

Další nevýhodou, kde mnoho států či soukromníků ztroskotá, je vysoká investice na její pořízení. Jedná se zejména o průzkum, zda je oblast vhodná pro získávání geotermální energie, dále jsou to hloubkové vrty a samotná realizace elektrárny. I v případě tepelných čerpadel je vstupní investice vysoká, ale její návratnost je i vzhledem k rostoucím cenám energie celkem brzká. Finančně náročné jsou zejména počáteční investice na průzkumy, testování a vrty, která je mnohonásobně dražší než samotná konstrukce, provoz a údržba. [20] [21]

Nastaly již také případy, kdy z důsledku vyhlubování vrtů pro využívání geotermální energie, byly způsobeny změny ve struktuře Země, které měly za následek zemětřesení. Největší zemětřesení způsobené nepřímo geotermální energií mělo sílu 3,4 RichtEROVY stupnice, což je označováno za malé zemětřesení. [22]

Brzda, která ovlivňuje expanzi geotermální energie, souvisí nepřímě s vysokou investicí. Jelikož se nejedná o malé investice, dochází v mnoha případech ke zpoždění projektů realizujících využívání vysokoteplotních zdrojů energie, a to z důvodů dlouhých správních postupů pro udělování povolení a licencí. Patří do toho také odlišné národní environmentální a sociální předpisy v každém státě. [23]

12 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla jsou zařízení, která využívají nízkoteplotní energii, tedy teplotu do 100 °C. Ta horní hranice je dána spíše teoreticky, v praxi se setkáme s tím, že tepelná čerpadla využívají teploty okolo -10 až 15 °C, které převedou do vyšší, užitečné podoby. Nepředpokládá se, že by tepelná čerpadla nějak zásadně řešila energetickou situaci státu, spíše mohou přispět k hospodárnému snížení spotřeby ostatních druhů energií, které lidstvo využívá.

Tepelná čerpadla jsou využívána zejména v rodinných domech pro přípravu teplé užitkové vody nebo do otopného systému. Dále se využívá pro vytápění venkovních i krytých bazénů, sportovních areálů a v zemědělských nebo potravinářských komplexech. Posledním využitím tepelných čerpadel, které bych zde rád zmínil je při procesu sušení organických a neorganických produktů. Správným nastavením tepelného čerpadla je možné dosáhnout optimálních vlastností během sušení, tím je možné urychlit proces sušení a také tím snížit spotřebu energie.

V minulosti jsme mohli pozorovat, že od výroby prvních tepelných čerpadel, přicházelo několik vln, kdy se tepelná čerpadla těšila popularitě a poté vlny, kdy tak populární nebyla. Tato období ovlivňuje ekonomický charakter. K navýšení počtu uživatelů využívající tepelná čerpadla přispívá období, kdy rostou ceny za energii a paliva, ale také predikce, že se blíží doba vyčerpání neobnovitelných zdrojů energie. V dnešní době rostou ceny energií a paliv, proto dochází k rozšiřování získávání energie z obnovitelných zdrojů, tedy i technologiemi tepelných čerpadel. Přestože je vstupní investice proti ostatním technologiím vyšší, tak spotřeba během využívání je velice malá, což zaručuje brzkou návratnost investice do tepelného čerpadla.

Mezi zdroje tepla, které tepelná čerpadla využívají patří venkovní vzduch, půda, spodní a povrchová voda. Přestože venkovní vzduch nepatří do kategorie geotermální energie, myslím si, že je vhodné ho zde uvést, jelikož se jedná o nejvhodnější tepelný zdroj, který tepelná čerpadla využívají pro vytápění. Nevýhodou tohoto zdroje je v zimních měsících, kdy jsou teploty hluboko pod bodem mrazu, potřeba připojit k tepelnému čerpadlu další zdroj tepla (například elektrokotel). Tento zdroj svým výkonem doplňuje tepelné čerpadlo, které nedokáže tak nízké teploty převést na využitelnou teplotu.

U půdy je známo, že v našich podmínkách nedochází k poklesu teploty pod bod mrazu již v hloubce 0,8 až 1 metr. Proto je možné ukládat pod těmito hloubkami vodovodní potrubí a také potrubí (kolektory) využívající tepelná čerpadla. Teplota půdy roste s každým metrem hloubky závislé na daném území.

Podzemní voda z pohledu tepelného zdroje se zdá být stabilním teplotním zdrojem. Teplota v průběhu celého roku kolísá o 1 až 2 °C, na druhou stranu je zapotřebí mít dostatečnou vydatnost pramene a dvě studny. Z jedné studny je podzemní voda jímána a do druhé je ochlazená voda vsakována zpět. Je zapotřebí respektovat minimální vzdálenosti studen.

Povrchovou vodu lze použít jako zdroj u tepelných čerpadel, je však doprovázená řadou obtíží. Teplota povrchových vod může klesat až k bodu mrazu, její odběr podléhá poplatkům a

mnohým dalším záležitostí. Povrchovou vodu je vhodné použít například tam, kde nad místem čerpání došlo k oteplení toku. [24]

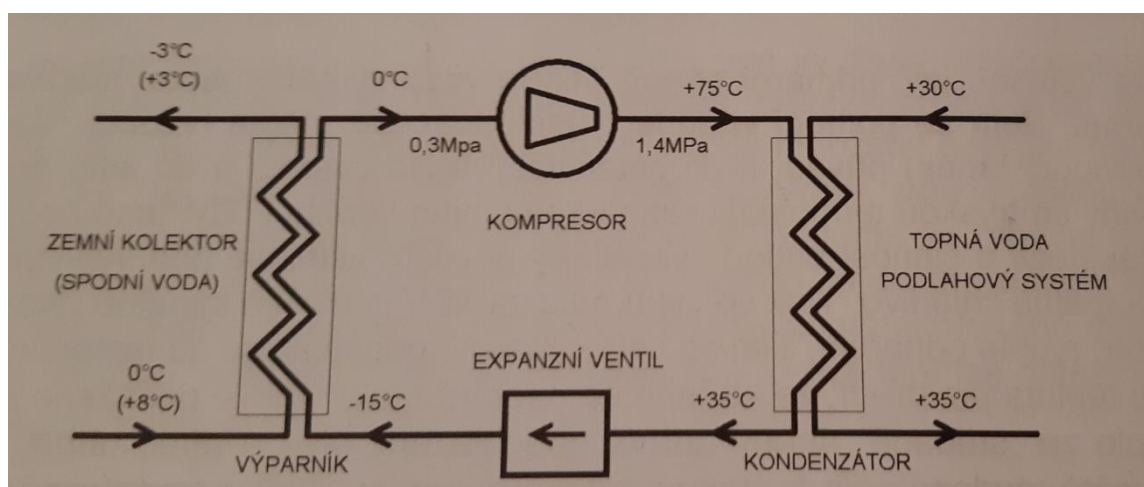
12.1 Princip tepelného čerpadla

Již ze základů fyziky víme, že energie nemůže být vyrobena, může být pouze přeměněna na jiný využitelný zdroj energie. Z toho samozřejmě vychází i tepelné čerpadlo, které přečerpává energii na vyšší teplotní úroveň. Z fyzikálního hlediska se jedná první termodynamický zákon.

Princip je stejný jako u ledničky, ta odebírá teplo potravinám, tím tedy prostor uvnitř ochlazuje a tuto tepelnou energii vyzařuje při vyšší teplotě do místnosti. Tepelné čerpadlo funguje na principu toho, že odebírá teplo z venkovního prostředí a získané teplo při vyšší teplotě předává do otopného systému či k ohřevu vody. Tento princip vychází z druhého termodynamického zákona, který zní: „Teplo se přenáší pouze z prostředí s vyšší teplotou do prostředí s nižší teplotou“.

Pro lepší pochopení popisu pracovního cyklu tepelného čerpadla, si jej můžeme rozdělit na tři části: primární okruh, chladivový okruh a sekundární okruh. Teplo je do tepelného čerpadla přiváděno z venkovního prostředí vzduchem, vodou nebo nemrznoucí směsí. Toto teplotné médium má nízkou teplotu. Vzduch a voda je závislá na teplotě venkovního prostředí, zatímco nemrznoucí směs proudí v trubkách a odebírá teplo z podzemních vrstev. Teplotné médium se dostává do výparníku, kterým prochází kapalina zvaná chladivo. Chladivo je tryskou expanzního ventilu vstříkováno za vyššího tlaku do výparníku, kde teplotné médium předává chladivu teplo. Ve výparníku je nižší tlak, to znamená, že chladivo se rychleji odpařuje, v této fázi však chladivo nemá využitelnou teplotu. Tento plyn je nasáván kompresorem, který plyn stlačením velmi zahřeje. Takto zahřáté chladivo se i s větším tlakem dostává do sekundárního výměníku, který se nazývá kondenzátor. Zde horký plyn zkapalní a předá teplo sekundárnímu okruhu, například vodě v otopném systému. Kapalně chladivo, snížené o určité množství tepla vstupuje do expanzního ventilu, kde se prudce ochladí a celý cyklus se znovu opakuje.

Níže můžete vidět schéma tepelného čerpadla země-voda a voda-voda. Hodnoty uvedené v závorkách platí pro tepelné čerpadlo voda-voda. Na schématu si můžete všimnout přibližných hodnot teplot a tlaků v různých částech tepelného čerpadla. Tyto hodnoty platí pro chladivo R22 neboli chlordinfluormetan CHClF_2 . [25]



Obrázek 3 ŽERAVÍK, A. Přibližné teploty a tlaky na různých místech TČ země-voda. Teploty uvedené v závorkách platí pro TČ voda-voda. Čísla platí pro chladivo R22, velice přibližně i pro ekologické chladivo R407c. ŽERAVÍK, Antonín. Stavíme tepelné čerpadlo. 1.vyd.Vydáno vlastním nákladem, 2003.

12.2 Topný faktor

Jedná se o základní parametr tepelného čerpadla, značí se zkratkou *COP* (coefficient of performance) a jeho přesné znění a výpočet můžeme najít v normě ČSN EN 14 511. Topný faktor *COP* se vypočítá jako poměr topného výkonu tepelného čerpadla k celkovému elektrickému příkonu za ustálených provozních jednotek.

$$COP = P / P_o$$

COP..... bezrozměrná jednotka

P..... výkon tepelného čerpadla v [W] nebo [kW]

P_o..... příkon tepelného čerpadla v [W] nebo [kW]

Jak můžete vidět z již známého vzorce, topný faktor nám vlastně ukazuje účinnost tepelného čerpadla. Je zapotřebí ještě zmínit, že do výpočtu příkonu pro celou jednotku tepelného čerpadla se započítává nejen příkon kompresoru, ale i příkon expanzního ventilu, pro překonání tlakových ztrát výměníků. Hodnoty topného faktoru jsou v rozsahu řádu jednotek. Lze říct, že se pohybuje v rozmezí od 2 do 5. V praxi to znamená, že když máme topný faktor 4, tak to znamená, že na 4 kW spotřebované energie získáme 16 kW tepelné energie.

Výkon tepelného čerpadla závisí na podmínkách, ve kterých tepelné čerpadlo pracuje. S nižší venkovní teplotou se výkon tepelného čerpadla snižuje. *COP* se tedy určuje pro jeden standardní bod. Podle ČSN EN 14 511 by se měl topný faktor tepelného čerpadla uvádět pro následující podmínky:

- A2/W35 – kde A2 udává teplotu venkovního vzduchu, tedy 2 °C a W35 udává teplotu otopné vody v kondenzátoru, tedy 35 °C,
- A7/W35 – kde A7 udává teplotu venkovního vzduchu, tedy 7 °C a W35 udává teplotu otopné vody v kondenzátoru, tedy 35 °C,
- B0/W35 – kde B0 udává teplotu solanky na vstupu do výparníku, tedy 0 °C a W35 udává teplotu otopné vody v kondenzátoru, tedy 35 °C,
- W10/W35 – kde W10 udává teplotu vody na vstupu do výparníku, tedy 10 °C a W35 udává teplotu otopné vody v kondenzátoru, tedy 35 °C.

Dále tu máme sezónní topný faktor tepelného čerpadla, který vyjadřuje sezónní energetickou náročnost tepelného čerpadla, značí se *SCOP*. Používá se proto, že hodnota *COP* ukazuje pouze efektivitu tepelného čerpadla pro jednu danou teplotní podmínku, zatímco *SCOP* nám ukazuje efektivitu tepelného čerpadla v průběhu celého roku v měnících se teplotních podmínkách, které mohou být jak na straně zdroje tepla, tak i na jejím výstupu. *SCOP* je definovaný normou ČSN EN 14 825.

Výpočet *SCOP* vychází z celoroční bilance produkce tepla tepelného čerpadla a krytím potřeby produkce tepla budovy definované návrhovou tepelnou ztrátou v otopné sezóně. Do *SCOP* se započítává také spotřeba záložního elektrokotle.

Do výpočtu je zahrnuto i jedno ze tří klimatických pásem:

- teplejší – které vychází z podmínek města Atény, kde se navrhuje venkovní teplota +2 °C a doba trvání otopné sezóny 3590 hodin,
- průměrná – které vychází z podmínek města Štrasburk, kde se navrhuje venkovní teplota -10 °C a doba trvání otopné sezóny 4910 hodin,
- chladnější – které vychází z podmínek města Helsinky, kde se navrhuje venkovní teplota -22 °C a doba trvání otopné sezóny 6446 hodin.

V České republice se pro výpočet SCOP používá průměrné klimatické pásmo. Další využití hodnoty SCOP je v oblasti klasifikace tepelných čerpadel do tříd energetické účinnosti při jejich štítkování. [26] [27]

12.3 Druhy tepelných čerpadel

Druhy tepelných čerpadel rozdělujeme dle zdroje získávání nízkoteplotní energie. Od tohoto zdroje závisí celá konstrukce tepelného čerpadla. Z názvu určitého druhu tepelného čerpadla, první slovo vždy znamená zdroj tepla a druhé slovo značí médium, do kterého je teplo předáno. Základními druhy tepelných čerpadel jsou:

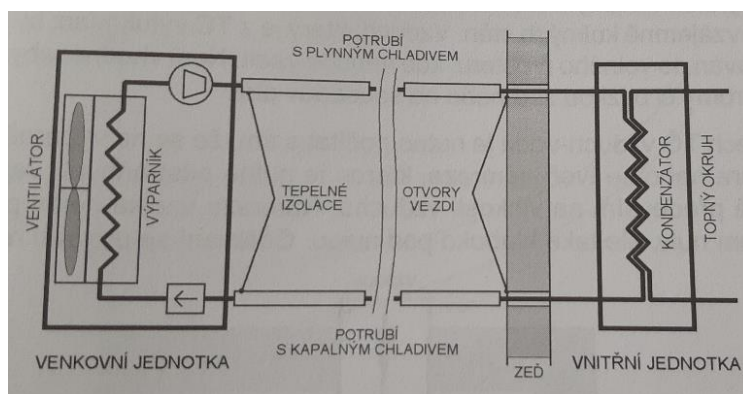
- Tepelné čerpadlo vzduch-voda,
- Tepelné čerpadlo země-voda,
- Tepelné čerpadlo voda-voda. [25]

12.3.1 Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Jak jsem již zmiňoval tepelné čerpadlo vzduch-voda nepatří mezi zařízení využívající geotermální energii. Nicméně se jedná o nejpoužívanější druh tepelného čerpadla, tak proto ho krátce uvedu. Na tomto druhu tepelného čerpadla lze, dle mého názoru, nejsrozumitelněji a stručně popsat princip tepelného čerpadla.

Tepelné čerpadlo vzduch-voda využívá teploty venkovního nebo i odpadního vzduchu, který přeměňuje na využitelnější tepelnou energii. Tento druh tepelného čerpadla může být dvojího druhu, a to: v děleném provedení, tzv. split nebo kompaktní jednotka.

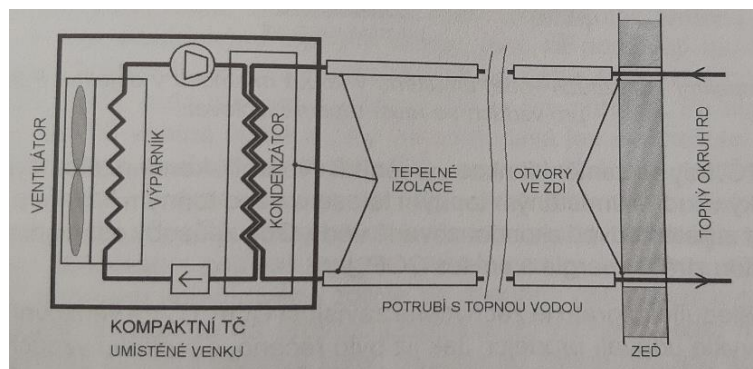
V děleném provedení máme dvě jednotky, vnitřní a vnější. Ty jsou spojeny tepelně izolovanými měděnými trubkami, ve kterých se nachází chladivo. Dle výrobce jsou jednotlivé části umístěné ve venkovní či vnitřní jednotce. Většinou je ve venkovní jednotce ventilátor, výparník a expanzní ventil, ovšem někdy tam bývá umístěn i kompresor a ve vnitřní jednotce je kondenzátor. Vše však záleží na tom, jak dané tepelné čerpadlo zkonstruuje výrobce.



Obrázek 4 ŽERAVÍK, A. TČ vzduch-voda v děleném provedení, nazývané split.

Druhým provedením je kompaktní tepelné čerpadlo, jedná se o jednu jednotku, ve které jsou oba výměníky (výparník a kondenzátor), kompresor a expanzní ventil. Většinou se jedná o venkovní jednotku, kde topná voda, ohřátá ve výměníku, je přiváděna do budovy tepelně izolovaným potrubím.

Tepelná čerpadla vzduch-voda mají nevýhodu při proměnlivých teplotách v průběhu roku, s nižší venkovní teplotou klesá výkon tepelného čerpadla, tedy i COP. Někteří prodejci tvrdí, že jejich tepelné čerpadlo může využívat venkovní teploty až do $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je sice pravda, ale výkon tepelného čerpadla je velice malý. Při takto nízkých teplotách nestačí vytápět dům na požadovanou teplotu, proto je nutné u tohoto typu čerpadla, především v mrazivých dnech, používat jiný zdroj tepla, například elektrokotel. Ten může přebrat část nebo i celý výkon. [25]



Obrázek 5 ŽERAVÍK, A. TČ vzduch-voda umístěné venku.

12.3.2 Tepelné čerpadlo země-voda

Tepelné čerpadlo země-voda odebírá podpovrchové teplo hornin. Tento druh tepelných čerpadel rozdělujeme na dva způsoby odebírání nízkoteplotního tepla, jedná se o vertikální zemní kolektory a vodorovné zemní kolektory, někdy také nazývané jako plošné kolektory.

Do vertikálních hloubkových vrtů se ukládají většinou plastové, někdy i měděné kolektory. Tyto vrtvy mívají hloubku 50 až 120 metrů s průměrem okolo 150 milimetrů. Hloubky vrtů závisí zejména na geologické, geotermické a hydrologické situaci v dané oblasti. Prostor kolem kolektoru ve vrtu je tlakově injektován. Pro vyšší výkon tepelného čerpadla je možné naprojektovat více vrtů, avšak jejich rozteč musí být minimálně 5 až 10 metrů. Zhotovení vrtů je velmi náročné, zejména finančně, je potřeba, aby tyto práce prováděla specializovaná vrtařská firma se speciální technikou pro realizaci vrtů. Nejdříve by měla začít geologickým průzkumem, následně samotným vyhotovením vrtu, do kterého uloží kolektory a celý vrt se vyplní injektáží. Udává se, že životnost kolektorů se pohybuje okolo 100 let.

K vyhotovení vrtu svislého kolektoru tepelného čerpadla jsou zapotřebí následující oprávnění. K umístění tepelného čerpadla je potřeba rozhodnutí příslušného obecného stavebního úřadu, je zapotřebí buď územní rozhodnutí vydané v územním řízení, veřejnoprávní smlouva nebo územní souhlas. Za povolení provádění tepelného čerpadla je zodpovědný taktéž obecný stavební úřad, ale u tohoto povolení závisí na výkonu tepelného čerpadla. Při výkonu tepelného čerpadla do 20 kW, nevyžaduje tepelné čerpadlo stavební povolení ani ohlášení. Je-li výkon vyšší než 20 kW, tepelné čerpadlo vyžaduje stavební povolení nebo je možné uzavřít veřejnoprávní smlouvu či certifikát autorizovaného inspektora. Pokud výkon tepelného čerpadla není vyšší než 20 kW, tak se tepelné čerpadlo nekolauduje. Pokud ale tepelné čerpadlo bylo zhotoveno na základě stavebního povolení nebo veřejnoprávní smlouvy či certifikátu autorizovaného inspektora, lze tepelné čerpadlo uvést do provozu na základě: a) oznámení stavebního úřadu, b) kolaudačního souhlasu.

V zemi do hloubky asi 10 metrů je teplota během roku víceméně stabilní. Již z předešlých kapitol víme, že na každých 100 metrů hloubky roste teplota zemního masivu o 1 až 3 °C. Z toho plyne, že díky stabilnímu zdroji tepla, je schopné tepelné čerpadlo země-voda pokrýt spotřebu tepla po celý rok, tedy oproti tepelnému čerpadlu vzduch-voda nepotřebuje žádnou bivalenci (přídavný zdroj tepla).

Zemní kolektory jsou vyplněny nemrznoucí směsí, zvanou solanka. Princip přenosu tepla je stejný jako u tepelného čerpadla vzduch-voda. Primární okruh je uzavřený a nízkoteplotní energii pomocí solanky předává ve výměníku chladivu. Solanka je tvořena směsí polypropylen glykolu nebo etanolu a vody. Čím více je ve směsi etanolu nebo polypropylen glykolu, tím je nižší bod tuhnutí. Velmi přibližně uvedu příklad, pokud je jejich obsah ve vodě okolo 20 %, bod tuhnutí směsi je asi -10 °C. Pohyb solanky v primárním okruhu zajišťuje oběhové čerpadlo o výkonu 100 až 150 W. Další částí, která stojí za zmínku je rozdělovač, ten se používá jak u vertikálních, tak i horizontálních kolektorů. Rozdělovač slouží k propojení hadic kolektorů a napojení potrubí k tepelnému čerpadlu. Obsahuje také plnicí nádržku pro plnění solanky a odvzdušňovací ventil.

Pokud to shrneme tepelné čerpadlo země-voda nám poskytuje téměř stabilní výkon v průběhu celého roku, avšak jeho nevýhodou jsou vyšší náklady na provedení vrtů, které se pohybují od 1200 do 1600 Kč za metr hloubky. Dále je zapotřebí při vyhotovení vrtů, dostatečný prostor pro vrtnou soupravu. Zde může nastat problém pro zájemce tepelného čerpadla země-voda, pokud má již postavený domek a nemá velkou zahradu. [25] [28]

Horizontální zemní kolektory mají zemní výměníky uložené ve vodorovné poloze. Existují tři základní typy zemních výměníků: lineární, šroubovitě a typu Slinky. Tyto výměníky mají tvar trubky, která má průměr okolo 30 až 50 milimetrů. Lineární výměníky čerpají teplo ze země rovnoměrně. Nevýhodou lineárních výměníků je, že vyžadují větší pozemek, jelikož mají oproti ostatním typům větším rozteč trubek. Přesto jsou v České republice nejrozšířenější. Výměníky typu Slinky a šroubovitě se používají tam, kde není pozemek tak rozsáhlý.

Hloubka uložení těchto výměníků se pohybuje v rozmezí od 1 do 2 metrů. Úkolem této hloubky je zajistit izolaci zemního výměníku od denních výkyvů teplot a od nejmrazivějších teplot v zimním období. Dále by měly být výměníky uloženy pod zámraznou hloubkou, která závisí na lokalitě. Na našem území je nejběžnější 40 centimetrů, ale v horských oblastech to může být i víc. Posledním úkolem hloubky uložení výměníků je dostatečná vzdálenost k povrchu zemního masivu z důvodu zachycení tepelné energie ze slunečního záření. V případě, že by na daném území docházelo k extrémním rozdílům teplot v zimním a letním období nebo je vysoký součinitel teplotní vodivosti zemního masivu, doporučuje se uložit horizontální výměníky do větší hloubky, než jsou 2 metry. Naopak v případě, že v daném území nedochází k velkým výkyvům teplot nebo je nízká teplotní vodivost zemního masivu, umožňuje se zemní výměníky ukládat do menší hloubky.

Součinitel tepelné vodivosti zemního masivu je velmi pozitivně ovlivňován vlhkostí. Hodnotu tohoto faktoru lze zvýšit vytvořením hydroizolačního rozhraní pod horizontálním výměníkem, toto rozhraní můžeme vytvořit například vrstvou jílu nebo hydroizolační fólií. Rozhraní pak způsobí zpomalení odtoku vody zachycené v oblasti výměníku, vzduch v pórech zemního masivu nahradí voda. Vzhledem k tomu, že voda má asi 23krát tepelnou vodivost než vzduch, dojde k celkovému zvýšení součinitele tepelné vodivosti zemního masivu. Z hlediska tohoto faktoru se optimální vlhkost zemního masivu pohybuje v rozmezí 25 až 40 %. V případě,

že se zvýší vlhkost v zemi nad 50 %, tak součinitel tepelné vodivosti není nijak významně ovlivňován. Naopak, když klesne vlhkost v zemi pod 12,5 %, má to na hodnotu součinitele tepelné vodivosti negativní vliv.

Materiál používaný na trubky výměníků je plast, nejčastěji polyetylén, který patří mezi jednu z největších hodnot součinitele tepelné vodivosti mezi plasty. Polyetylén má hodnotu součinitele tepelné vodivosti $\lambda = 0,42 \frac{W}{m.K}$, naproti tomu například polypropylen má $\lambda = 0,22 \frac{W}{m.K}$ a polyvinyl chlorid má $\lambda = 0,23 \frac{W}{m.K}$. Další výhodami je pevnost a odolnost.

Na teplotu v hloubce 1 až 2 metrů má také vliv druh povrchové vrstvy zemního masivu. Velmi dobré vlastnosti prokazuje povrchová vrstva čedičového štěrku. V zimě slouží jako dobrý izolant k zabránění úniku tepla ze zemního masivu vlivem nízkých teplot a na jaře se rychleji zahřívá a tím i dochází k prohřívání spodních vrstev. Na druhé straně betonová dlažba při letních teplotách více prohřívá spodní vrstvy zemního masivu než čedičový štěrk, ale v zimních měsících hůře izoluje únik tepla z využívaných hloubek pro tepelná čerpadla země-voda s horizontálním výměníkem. Zatímco tráva v zimních měsících má hodnoty teplot mezi hodnotami čedičového štěrku a betonové dlažby, avšak v letních měsících má oproti těmto dvěma povrchům v požadovaných hloubkách daleko nižší teploty. [15]

12.3.3 Tepelné čerpadlo voda-voda

Tepelné čerpadlo voda-voda využívá tepelné energie především z podzemní vody nebo povrchové vody. Povrchové vody si můžeme představit jako rybníky, řeky, potoky a jiná vodní díla. Tento zdroj se příliš nepoužívá, a to z několika důvodů. Pro využívání tepla z tohoto zdroje je zapotřebí řada souhlasů, povolení a administrativa. Ovšem největší nevýhodou je, že teplota povrchové vody velmi kolísá. V zimním období hrozí, že by voda po ochlazení v tepelném čerpadle zmrzla, v případě tepelného čerpadla voda-voda mnohem častěji využívají podzemní vody.

Podzemní voda se vyznačuje poměrně stabilní teplotou, která se pohybuje okolo 10 °C, pro její využívání jsou zapotřebí dvě studny. Tyto studny mohou být kopané nebo vrtané. Do studny je vložena zárubnice, ocelové nebo umělohmotné potrubí zajišťující trvalou stabilitu stěn vrtu. Toto potrubí má část plnou a část perforovanou. Prostor mezi horninou a zárubnicí je tvořen obsypem, který se provádí nejčastěji kamenivem určité zrnitosti. Tato vrstva umožňuje přítok podzemní vody děrovanou částí potrubí. První studna se nazývá zdrojová a druhá vsakovací. Z názvu vyplývá že, zdrojová studna se používá pro čerpání vody, nejčastěji ponorným čerpadlem, a předání tepelné energie chladivu ve výměníku. Ochlazená spodní voda je zpět do půdy vracena vsakovací studnou. Požadavkem na tyto dvě studny je vzdálenost mezi sebou, která činí minimálně 15 metrů. Dále je nutné mít v podzemí dostatečné množství vody. Uvádí se, že na 1 kW výkonu tepelného čerpadla by se mělo čerpat 180 l/h. Vydatnost studny by se měla zkusit před pořízením tepelného čerpadla. Provádí se čerpací zkouškou, která v průběhu 28 dní čerpá potřebné množství vody. Zároveň se s touto zkouškou provádí vsakovací zkouška vsakovací studny. Pro využívání spodní vody je zapotřebí zjistit také její kvalitu. Voda nesmí obsahovat nečistoty, které by zanášely filtry či výměníky tepelného čerpadla. Nevhodné jsou také vody s vysokým obsahem železa a minerálů. V případě, že by spodní voda obsahovala nečistoty, které by bránily vyhovění požadavkům na čistotu vody, je možné realizovat čerpání vody v případě použití předřazeného výměníku. Tento výměník je možné rozebrat, a tedy i

vyčistit od případných nečistot. Avšak předřazený výměník snižuje teploty ve výměníku a tím i topný faktor tepelného čerpadla.

Na tepelné čerpadlo voda-voda, stejně jako na tepelné čerpadlo země-voda je zapotřebí několik oprávnění. K umístění tepelného čerpadla voda-voda je potřeba rozhodnutí příslušného obecního stavebního úřadu. Formy rozhodnutí jsou stejné jako u tepelného čerpadla země-voda se svislým kolektorem. K územnímu posouzení se dokládají závazná stanoviska, případně rozhodnutí dotčených orgánů, kterým je například vodoprávní úřad. Jelikož realizaci tohoto typu čerpadla se jedná o vodní dílo, je zapotřebí k provádění tepelného čerpadla povolení od vodoprávního úřadu neboli stavební povolení k vodním dílům. Současně s tímto povolením je požadováno povolení o nakládání s vodami, které může vydat společně se stavebním povolením vodoprávní úřad. K využívání a kolaudaci tepelného čerpadla je příslušný vodoprávní úřad na základě oznámení nebo kolaudačního souhlasu.

Pro shrnutí, tepelná čerpadla voda-voda jsou výhodná z hlediska stabilních teplot podzemní vody v průběhu celého roku. Tyto teploty pro využívání jsou vysoké, proto je možné používat tento druh tepelného čerpadla jako monovalentní typ. To znamená, že není zapotřebí další přídavný zdroj tepla. Ve srovnání s tepelnými čerpadly země-voda realizované hlubinnými vrty jsou pořizovací náklady menší, avšak tepelná čerpadla voda-voda mají provozní náklady vyšší. [28] [29]

13 Ekonomické zhodnocení tepelných čerpadel

Vzhledem k tomu, že přibližně 40 % produkované světové energie je spotřebováno v budovách, je zapotřebí navrhovat vše v této oblasti energeticky úsporně. Nejvíce energie ve veškerých budovách je spotřebováno zejména na tepelnou pohodu. Na vytápění domu a ohřevu teplé užitkové vody je třeba koukat v širším pohledu. Není efektivní hledět pouze na zdroj tepelné energie, v tomto případě na tepelné čerpadlo. Stejný typ tepelného čerpadla o stejném jmenovitém výkonu bude na každém jiném místě, pro jinou budovu mít jiný výkon, a to znamená i jinou dobu návratnosti. Jak již víme z předchozích kapitol, výkon tepelného čerpadla ovlivňuje okolní teplota, potřebná výstupní teplota, součinitel teplotní vodivosti a další. Při výběru tepelného čerpadla je třeba hledět také na energetickou náročnost budovy. Pokud hovoříme o teple, tak se jedná zejména o tepelné ztráty budovy. Dalším klíčovým determinantem při výběru vhodného tepelného čerpadla je počet lidí obývajících budovu, s kterým souvisí spotřeba tepla pro vytápění a energie na teplou užitkovou vodu. Na snížení spotřeby energie se podílí zejména návrh budovy. Pro srovnání běžná dnešní novostavba spotřebuje na vytápění 80-140 kWh/m² za rok, zatímco nízkoenergetické domy spotřebují méně než 50 kWh/m² za rok a pasivní domy dokonce méně než 15 kWh/m² za rok. Tyto domy se odlišují jinou konstrukcí, okny, zateplením, orientací budovy vůči světovým stranám, řešením tepelných mostů a mnohým dalším. Spotřeba energie samozřejmě ovlivňuje pochopitelně provozní náklady. Jako další příklad uvedu různá řešení obvodových konstrukcí a jejich tepelné ztráty.

- Dutinové cihelné bloky 440 mm (na maltu) + 80 mm izolace z pěnového polystyrenu (EPS), tepelná ztráta 6,4 kW,
- Pórobetonová tvárnice 250 mm + 260 mm izolace z pěnového polystyrenu (EPS), tepelná ztráta 3,2 kW,

- Dutinové cihelné bloky 240 mm + 260 mm izolace šedého pěnového polystyrenu (EPS), tepelná ztráta 3,2 kW.

Jak je vidět, každá budova má jinou spotřebu tepelné energie a z toho vychází návratnost tepelného čerpadla. U nízkoenergetických domů se vytápění týká zpravidla 4 měsíců a u pasivních domů to může být i pouhý jeden měsíc. Z toho vyplývá, že náklady na provoz tepelného čerpadla budou daleko nižší a návratnost bude mnohem rychlejší, než je tomu u jiných budov. Samozřejmě může být tepelné čerpadlo v těchto případech více využíváno na teplou užitkovou vodu.

K volbě vhodného systému vytápění a přípravu teplé vody, uživatelé přistupují z různých hledisek:

- vlastního pocitu, kde řeší, jaký typ systému je danému uživateli nejsympatičtější,
- z ekonomického, kde řeší pouze investiční náklady a opomíjejí provozní náklady,
- uživatelé se zaměřují na uživatelský komfort,
- ekologického,
- zájmu o optimalizaci provozních nákladů. [30] [31]

13.1 Metody hodnocení investic

Nejdříve by bylo vhodné pojem investice vhodně definovat. Investice představuje jednorázově vynaložené peníze, které budou přinášet peněžní příjmy. Cíle investice můžeme rozdělit do třech kategorií, a to snížení nákladů, zvýšení výroby či zvýšení zisku. Za obecný efekt z investice je považován tzv. peněžní tok (cash flow). K tomu, aby byla investice efektivní, je zapotřebí, aby příjmy z investice byly vyšší než náklady za pořízení investice. Při hodnocení investice tepelného čerpadla je cílem snížit náklady a příjmy z investice si lze představit jako rozdíl mezi provozními náklady stávajícího řešení vytápění či ohřevu teplé užitkové vody a současnými provozními náklady tepelného čerpadla, případně s přídavným zdrojem.

Postup hodnocení efektivnosti investice se řídí těmito body:

- 1) určení kapitálových výdajů na investici,
- 2) odhadnutí budoucí peněžních příjmů, které investice přinese tzv. cash flow,
- 3) určení nákladů na kapitál, to znamená určení diskontní míry,
- 4) výpočet současné hodnoty očekávaných výnosů, tedy očekávaný cash flow a její porovnání s kapitálovými výdaji investice.

Na hodnotu peněz působí faktor času, který způsobuje, že hodnota současné peněžní jednotky je cennější než hodnota budoucí peněžní jednotky. Vzhledem k tomu, že výnos z investice je dlouhodobější efekt, je zapotřebí přepočítávat hodnotu budoucích příjmů na stejnou časovou bázi. Cash flow neboli současnou hodnotu budoucích příjmů vypočteme z následujícího vzorce.

$$SHCF = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^n}$$

Kde CF_t je očekávaná hodnota cash flow, k je diskontní míra a n je očekávaná životnost investice.

Metody investic se dělí do dvou základních skupin:

- statické – nepřihlížejí k faktoru času,
- dynamické – přihlížejí k faktoru času. [32]

13.1.1 Metoda výnosnosti investic

Tato metoda je označována zkratkou ROI (anglicky Return on investment). Vychází z předpokladu, že změny v objemu výroby či snížení nákladů zapříčiní vyšší zisk. Jedná se o statickou metodu, která nebere v úvahu faktor času a protože používá pro výpočet průměrný roční zisk, tak lze srovnávat mezi sebou různé investiční projekty s různou dobou životnosti, rozdílnosti objemu výroby nebo výše nákladů. Výnosnost investice se vypočítá následovně:

$$ROI = \frac{Z_r}{IN}$$

Kde Z_r je průměrný čistý zisk plynoucí z investice a IN jsou náklady na investici. [32]

13.1.2 Metoda doby splacení

Doba splacení neboli doba návratnosti (anglicky payback period) udává období, které nejčastěji vyjadřuje počet let, kdy čistý cash flow se bude rovnat původním nákladům na investici. Vzorec pro výpočet doby návratnosti:

$$DS = \frac{\text{náklady na investici}}{\text{roční cash flow}} \quad [\text{roky}]$$

I za použití selského rozumu je jasné, že čím je návratnost investice kratší, tím je investice efektivnější. Je nepřijatelné, pokud je doba návratnosti investice delší než doba její životnosti. Tato metoda je přísnější než předchozí metoda výnosnosti investic, avšak její nevýhodou je, že nebere v úvahu výnosy po době splatnosti. [32]

13.1.3 Metoda čisté současné hodnoty

Metoda čisté současné hodnoty značená zkratkou ČSH (anglicky Net Present Value -NPV), se zjistí z rozdílu mezi současnou hodnotou očekávaných příjmů (cash flow) a nákladů na investici. Je-li tato hodnota kladná nebo nulová, investici můžeme přijmout. Naopak je-li hodnota záporná, musíme investici odmítnout.

$$NPV = PVCF - IN = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^n}$$

$PVCF$ je současná hodnota cash flow, CF je očekávaná hodnota cash flow v období t , IN jsou náklady na investici, k je diskontní sazba, t je období a n je doba životnosti investice.

Tento vzorec je někdy doplněn o index výnosnosti, který se vypočítá jako podíl čisté současné hodnoty cash flow a nákladů na investici. Výpočet tohoto indexu je zbytečný, pokud hodnota NPV je kladná. [32]

13.1.4 Metoda vnitřního výnosového procenta

Anglicky označována jako Internal Rate of Return (IRR) je metoda, která je také založena na koncepci současné hodnoty. V této metodě se hledá vhodná diskontní míra, která by zajišťovala rovnost současné hodnoty očekávaných příjmů a nákladů na investici. Což znamená, že hodnota ČSH by se rovnala nule.

$$IN = PVCF$$
$$IN = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^n}$$

Je-li vnitřní výnosové procento vyšší než diskontní míra, investice je přijatelná. Pokud je však investice pořizována na úvěr, je zapotřebí, aby vnitřní výnosové riziko bylo vyšší než

úroková míra. Nevýhoda této metody se projevuje v případě, že peněžní toky v průběhu životnosti investice mění kladnou a zápornou hodnotu. Zde totiž může vnitřní výnosové procento dosáhnout více hodnot. V tomto případě je doporučeno tuto metodu nepoužívat. [32]

13.2 Příklady realizace projektů tepelných čerpadel v ČR

Zoologická zahrada Ústí nad Labem

Realizace systému tepelných čerpadel v ZOO v Ústí nad Labem, která byla zahájena v roce 2001, patří k nejzajímavějším projektům tepelných čerpadel v České republice. Výstavba probíhala ve třech etapách v průběhu pěti let. V areálu o rozloze 6 hektarů se nachází 30 budov a pavilónů. Komplikací je 100 metrové převýšení budov v areálu, proto zde musí být vhodně řešeno uložení oběhových čerpadel. V první etapě výstavby byl zhotoven vrt o hloubce 515 metrů, ten dodává do tepelných čerpadel 12 l/s podzemní vody. Teplota vody přiváděna do tepelného čerpadla má teplotu okolo 32 °C, v tepelných čerpadlech se ochladí na 14 až 9 °C a vrací se zpět do podzemí vsakovacími vrty. V areálu je uzavřený okruh s odčerpanou podzemní vodou, který dodává vodu z centrálního výměníku do tepelných čerpadel, které jsou umístěny v 5 strojovnách. Ze nich jsou vytápěny všechny budovy v areálu. Jelikož je systém navrhnout jako bivalentní, se ve strojovnách, společně s tepelným čerpadly, nacházejí záložní elektrokotle. Na tento projekt byla použita tepelná čerpadla IVT Greenline G22 a G26 o výkonech 40 až 50 kW. Celkový instalovaný výkon tepelných čerpadel ve všech strojovnách je 965 kW. Výstupní teplota vody může dosahovat až 65 °C. Po roce provozu tepelná čerpadla dodala 99,5 % tepla a elektrokotle zbylých 0,5 %. Celkové náklady na projekt dosáhly 35 milionů Kč. Touto realizací ZOO dosáhla roční úspory energie 10000 GJ, což je úspora asi 2 200 000 Kč/rok, došlo však také ke snížení emisí znečišťujících látek o 60 %.

Obec Borová Lada

Obec Borová Lada leží v jihočeském kraji v nadmořské výšce 900 m.n.m. V rámci velkých prací na rozvoj infrastruktury obce v roce 1999 byla i realizace zateplení a instalace tepelných čerpadel obecního úřadu, mateřské školy a čtyř bytových domů. Celková tepelná ztráta všech budov činí 242 kW. Na tyto budovy bylo navrženo tepelné čerpadlo země-voda od firmy IVT Greenline. Každá budova je vybavena kotelnou, kde jsou uložena tepelná čerpadla o výkonu 26 kW nebo 33 kW a záložní elektrokotle. Teplo se odebírá z 18 vrtů o hloubkách 120 metrů. Projekt, který probíhal pod záštitou Evropské unie, byl z velké části dotován. Náklady obce činili pouze 2 miliony Kč z celkových 17 milionů Kč. Když pomineme všechny ostatní součásti projektu, tak investiční náklady na nákup 6 tepelných čerpadel a realizace vrtů dosahovaly 4,2 milionu Kč. Díky novému zateplení budov klesla spotřeba energie všech budov o 83 %. Auditem byly vyčísleny roční náklady na provoz tepelných čerpadel na hodnotu 389 000 Kč/rok, což znamenalo návratnost investice za 10 let. Díky snížení tarifu na spotřebu elektřiny od Jihočeské energetiky o 179 000 Kč/rok, návratnost investice činila 5 let. [33]

14 Čerpání vysokoteplotních zdrojů

Jak již víme z předchozích kapitol, vysokoteplotní zdroje energie z vnitra Země nenajdeme v dostupných hloubkách kdekoli na světě. Jedná se o teploty větší než 150 °C. Podle výzkumů má největší geotermální bohatství Indonésie, a to také díky velkému počtu sopek na svém

území. Rozvoj geotermálních elektráren, ale i dalších technologií využívající obnovitelné zdroje energie souvisí s možným budoucím nedostatkem fosilních paliv, ale například také kvůli snižování emisí oxidů uhličitých. Budoucí výzvou geotermálních elektráren jsou následující otázky. Jak co nejvíce využívat zdroj tepla? A jak se vypořádat s odpadním teplem?

Základními druhy geotermálních elektráren jsou:

- Dry steam (Princip suché páry),
- Flash steam (Flash princip),
- Binary cycle (Binární geotermální elektrárna) někdy také nazývána jako ORC – Organic Rankine Cycle,
- Elektrárny HDR (Hot Dry Rocks). [34]

14.1 Dry steam

Geotermální elektrárna na principu suché páry využívá suchou páru o teplotách od 180 do 300 °C. Na tomto principu pracuje nejstarší geotermální elektrárna na světě v italském Larderellu z roku 1904. Z vrtů se pára dostává přes filtry, kde dochází k oddělení pevných složek (hornin), k turbíně, kterou pára roztáčí. Reakční turbína o výkonu 20 MW až 120 MW napojená na generátor vytváří elektrickou energii. Pára je poté ochlazována v kondenzátoru a chladicí věži, odkud je poté v ideálním případě vstřikována zpět do injektážních studen. Účinnost tohoto systému se pohybuje okolo 50 až 60 %. V případě nižších teplot a méně výkonné turbíny může účinnost dosahovat pouze 30 %. Co se týče ekologického aspektu, suchá pára obsahuje asi 2 až 10 % oxidu uhličitého a sirovodíku. Z tohoto důvodu je vhodné páru vracet zpět do země. [35]

14.2 Flash steam

Princip flash je podobný jako u elektrárny na principu suché páry, ovšem zdrojem energie jsou zde geotermální rezervoáry s teplotou vody nad 180 °C. Tato voda je v nitru Země pod tlakem, který je vyšší než atmosférický tlak na zemském povrchu. Při provedení vrtu v oblastech s těmito geotermálními rezervoáry dochází k vyrovnání rozdílu tlaku a následkem je stoupání horké vody. Tato voda se dostává do separátoru páry, kde se část horké vody mění v páru, zbytek horké vody se vstřikuje zpět do rezervoáru a odseparovaná pára pohání turbínu. Tento princip se nazývá single flash steam. Dalším principem je double flash steam, který pracuje na stejném principu, ovšem disponuje ještě jednou jednotkou k získávání většího množství páry. Odpadní teplá voda ze separátoru páry se odvádí do další jednotky, kde se znovu část vody přemění v páru, která se přidá k pohánění turbíny. Double flash steam může poskytovat o 25 % více energie než single flash steam. [34]

14.3 Binární geotermální elektrárna

Tento druh geotermální elektrárny, označován také jako ORC (Organic Rankine Cycle), pracuje na principu podobném jako tepelné čerpadlo. Binární geotermální elektrárna se používá pro výrobu elektřiny v oblastech s geotermálními zdroji o teplotě maximálně 100 °C. Pro dva výše popsané druhy geotermálních elektráren by tato teplota nestačila k výrobě elektrické energie. U tohoto principu má elektrárna 2 okruhy, které se střetávají v tepelném výměníku. V prvním okruhu se nachází nízkoteplotní kapalina z geotermálního zdroje a v druhém okruhu kapalina s nízkým bodem varu. Nízkoteplotní kapalina, voda z nitra Země předává svoji teplotu v tepelném výměníku sekundární kapalině v druhém okruhu, touto kapalinou může být například směs vody a amoniaku. Teplota sekundární kapaliny ohřátá na vyšší teplotu se

odpařuje a pohání malou turbínu, ze které lze pomocí generátoru získávat elektrickou energii. Kapalina dále pokračuje do kondenzátoru, kde se ochladí, poté směřuje opět do tepelného výměníku a celý cyklus se opakuje. Vzhledem k tomu, že voda z nitra Země je ihned 100 % vstříkována zpět, je tento druh geotermální elektrárny velmi šetrný k životnímu prostředí. Nevýhodou je, že jedna jednotka geotermální elektrárny, tedy výše popsany cyklus, má výkon 1 až 3 MW, což je mnohem méně než u ostatních typů geotermálních elektráren. Pro zvýšení výkonu může být několik jednotek umístěno k sobě paralelně. [35]

14.4 HDR elektrárny

HDR neboli Hot Dry Rock je typ elektrárny, který může být v budoucnu hojně využíván. Předchozí typy geotermálních elektráren pracovaly s kapalinou či párou z nitra Země. Tento princip využívá velmi vysoké teploty podzemních hornin. V hloubkách 5 kilometrů se nachází teploty okolo 200 °C i v horších oblastech pro získávání geotermální energie. Tento typ elektrárny je vhodný realizovat v oblastech, kde se nachází vysoké teploty suchých hornin v nízkých hloubkách pod povrchem. V těchto horninách se vytvoří uměle hydrotermální zdroj, který bude zahřívát daná hornina, do této horniny je nutné realizovat vrt. Do vytvořeného vrtu se čerpá voda pod vysokým tlakem, který způsobí prasknutí horniny a vzniknutí dutin, do kterých se dostává voda, která se v nich ohřívá. Další vrt v blízkosti prvního vrtu čerpá ohřátou kapalinu zpět na povrch, kde předá v tepelném výměníku teplo pro proces výroby elektrické energie. [35]

15 Závěr

Cílem práce bylo charakterizovat geotermální energii a její možnosti využití. První část práce je zaměřena na obecné uvedení do problematiky geotermální energie, její fyzikální podstatu a zdroje geotermální energie. Mezi hlavní zdroje tepelné energie v zemských vrstvách patří teplo vzniklé při vzniku a formování Země a rozpad radioaktivních látek pod povrchem. Pro nalezení vhodných míst pro využívání geotermální energie, zejména vysokoteplotní, je fyzikální veličina nazývána tepelný tok. Čím je tato hodnota v horninovém prostředí vyšší, tím je oblast vhodnější k využívání geotermální energie. Další veličinou, kterou se lze řídit, pro určování přibližných teplot v určitých hloubkách, je geotermický stupeň. Jeho průměrná hodnota vyjadřuje, že na každých 33 metrech hloubky se zvýší teplota o 1 °C. Je však zapotřebí brát tuto hodnotu s rezervou, jelikož se jedná o průměrnou hodnotu. Dále v práci nalezneme fakt, že Česká republika není zrovna bohatá na geotermální energii jako například Island, Indonésie nebo USA. Nízkoteplotní zdroje v České republice jsou využívány zejména v soukromém sektoru, vysokoteplotní zdroje zatím využívány nejsou. Možnosti geotermálních zdrojů na to k dispozici jsou, ovšem investice na průzkum daných oblastí a realizace jsou hlavní překážkou.

Druhá část práce je zaměřena na možnosti získávání geotermální energie. Velký důraz jsem kladl na popsání tepelných čerpadel, která využívají nízkoteplotní energii k přeměně na využitelnou tepelnou energii pro vytápění a ohřev vody. Je to z důvodu, že nízkoteplotní zdroje jsou v České republice využívány. Z pohledu českého občana uvažujícího o budoucím zdroji tepelné energie, je to cesta, která je při správném návrhu ekonomicky efektivní a ekologická. Důležitým krokem pro realizaci je správný návrh druhu a výkonu tepelného čerpadla pro danou

oblast. Vliv na návrh má také konstrukce budovy a počet lidí obývajících danou budovu. Pořizovací cena tepelného čerpadla je vyšší než ostatní zdroje tepelné energie. Ovšem návratnost investice může být i vzhledem k možnosti dotace krátká. Je však problémové obecně konstatovat dobu návratnosti. Ke každému projektu tepelného čerpadla či systému tepelných čerpadel se musí přistupovat individuálně. Ve starších budovách vlivem tepelných ztrát může být návratnost delší, v nových budovách naopak kratší.

Poslední kapitola je věnována geotermálním elektrárnám využívajícím vysokoteplotní zdroje k výrobě elektrické energie. Systémy na principu Dry steam a Flash steam využívají jako zdroj tepelné energie teplou kapalinu nebo páru. Problémem těchto systémů je, že potřebný zdroj je umístěn na Zemi velmi vzácně. Proto byly vynalezeny alternativy jako je elektrárna HDR, která využívá jako zdroj energie horké horniny v hloubkách okolo 5 kilometrů, o teplotách až 200 °C. Nebo ORC systém využívající středněteplotní zdroje pro výrobu elektrické energie.

Využívání geotermální energie může být jednou z cest k využívání šetrnějších obnovitelných zdrojů energie, je však zapotřebí nalézt vhodný systém pro průzkum a realizaci, který by byl méně nákladný, než je v současnosti.

16 Seznam obrázků

- Obrázek 1- Zemské vrstvy.....3**
Zdroj: https://ostrava.educanet.cz/files/www/zemepis/ostrava-educanet.cz/www_zemepis/indexb0bdb0bd.html?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=19
- Obrázek 2 - Mapa potenciálu geotermální energie v České republice.....10**
Zdroj: <https://www.energie21.cz/vyuziti-geotermalni-energie-je-na-vzestupu/>
- Obrázek 3 - ŽERAVÍK, A. Přibližné teploty a tlaky na různých místech TČ země-voda. Teploty uvedené v závorkách platí pro TČ voda-voda. Čísla platí pro chladivo R22, velice přibližně i pro ekologické chladivo R407c.....15**
Zdroj: ŽERAVÍK, Antonín. Stavíme tepelné čerpadlo. 1.vyd.Vydáno vlastním nákladem, 2003.
- Obrázek 4 - ŽERAVÍK, A. TČ vzduch-voda v děleném provedení, nazývané split ...17**
Zdroj: ŽERAVÍK, Antonín. Stavíme tepelné čerpadlo. 1.vyd.Vydáno vlastním nákladem, 2003.
- Obrázek 5 - ŽERAVÍK, A. TČ vzduch-voda umístěné venku18**
Zdroj: ŽERAVÍK, Antonín. Stavíme tepelné čerpadlo. 1.vyd.Vydáno vlastním nákladem, 2003.

17 Bibliografie

1. **Ing. Jan Motlík, CSc. a kolektiv.** Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České Republice. *cez.cz*. [Online] 2007. [Citace: 13. Listopad 2020.] https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/obnovitelne_zdoje_energie_a_moznosti_jejich_vyuziti_pro_cr.pdf.
2. Geofyzika. *geology.cz*. [Online] [Citace: 13. Listopad 2020.] <http://www.geology.cz/extranet/vav/zemska-kura/geofyzika>.
3. **Jelinek, Jan.** Země. *geologie.vsb.cz*. [Online] [Citace: 1. 11 2020.] <http://geologie.vsb.cz/jelinek/tc-zem.htm>.
4. Litosféra. *komenského66.cz*. [Online] [Citace: 14. Listopad 2020.] <http://www.komenskeho66.cz/materialy/zemepis/litosfera.htm#litosfera>.
5. **Dřimal, Petr.** *Tepelná čerpadla, geotermální energie*. 2014. ISBN 978-80-88058-05-2.
6. **Benda, Vítezslav.** *Obnovitelné zdroje energie*. Praha : Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.
7. A Brief History of Geothermal Energy Use. *web.mit.edu*. [Online] [Citace: 2. 11 2020.] http://web.mit.edu/nature/archive/student_projects/2009/bjorn627/TheGeothermalCity/History.html. 4.
8. Chaudes-aigues, a spa resort. *pays-saint-flour.fr*. [Online] [Citace: 2. 11 2020.] <https://www.pays-saint-flour.fr/en/must-see/chaudes-aigues-station-thermale/>.
9. Thermal Response Test. *teplozezeme.cz*. [Online] [Citace: 12. Listopadu 2020.] <http://www.teplozezeme.cz/nabidka-trt/>.
10. *Geotermální energie*. **Myslil, Vlastimil a kolektiv**. ročník XV, číslo 4, Praha : Ministerstvo životního prostředí, 2007, Planeta. ISSN - tištěná verze 1801-6898.
11. **David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker.** *Fyzika Vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. místo neznámé : John Wiley & Sons, Inc., 1997. ISBN 80-214-1869-9.
12. **Schauer, Pavel.** Aplikovaná fyzika Modul 4 Přenos tepla. *lences.cz*. [Online] 2006. [Citace: 6. 11 2020.] [http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BB02-Aplikovana%20fyzika/BB02-Aplikovana_fyzika_\(A,K\)--M04-Prenos_tepla.pdf](http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BB02-Aplikovana%20fyzika/BB02-Aplikovana_fyzika_(A,K)--M04-Prenos_tepla.pdf).
13. **Prof. Ing. Petr BUJOK, CSc. a kol.** Studie odezvy horninového masivu pro instalace tepelných čerpadel. *mpo-efekt.cz* [Online] 2005. [Citace: 12. Listopad 2020.] <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/5136.pdf>.
14. **Doc. RNDr. Miroslava Blažková, Ph.D.** Metodika k hodnocení geotermálního potencionálu v modelovém území Podkrušnohoří. *prvnigeotermalni.cz*. [Online] 2010. [Citace: 14. Listopad 2020.] https://prvnigeotermalni.cz/upload/4084e9a33cc28c0fe8e25501a8bcbc01/metodika_ujep_4.pdf.
15. **prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSC, doc. Ing. Pavel Neuberger, PhD., prof. Ing. Radka Kodešová, Csc.** *Metodika pro využití půdy jako nízkoteplotního zdroje tepelných čerpadel*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, katedra mechaniky a strojnictví, Technická fakulta, 2015. ISBN 978-80-213-2559-3.
16. **RNDr. Petr Mixa.** Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2015. *www.dataplan.info*. [Online] 2015. [Citace: 17. Listopad 2020.]

https://www.dataplan.info/img_upload/7bdb1584e3b8a53d337518d988763f8d/metodika-geothermal-2015.pdf.

17. Nový projekt se zaměřuje na výzkum potenciálu geotermální energie v České republice. *rin-gen.cz*. [Online] 20. Duben 2020. [Citace: 17. Listopad 2020.] <https://www.rin-gen.cz/cz/aktualne/pokracuje-vyzkum-potencialu-geothermalni-energie-v-ceske-republice>.

18. **Richter, Alexander**. Geotermální energie ve světě. *entergeo.com*. [Online] [Citace: 20. Prosinec 2020.] <http://www.entergeo.com/aktuality/61/geothermalni-energie-ve-svete.html>.

19. **Gerald W. Huttner**. Geothermal Power Generation in the World 2015-2020 Update Report. *unionegeotermica.it*. [Online] [Cited: 20. Prosinec 2020.] <https://www.unionegeotermica.it/pdf/Geothermal%20Power%20Generation%20in%20the%20World%202015-2020%20Update%20Report.pdf>.

20. What are the Advantages of Using Geothermal? *twi-global.com*. [Online] [Citace: 31. Prosinec 2020.] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/geothermal-energy/pros-and-cons>.

21. Advantages and Disadvantages of Geothermal Energy - The Source of Renewable Heat. *greenmatch.co.uk*. [Online] 10. Prosinec 2020. [Cited: 31. Prosinec 2020.] <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2014/04/advantages-and-disadvantages-of-geothermal-energy>.

22. Geotermální energie. *oenergetice.cz*. [Online] 13. Květen 2015. [Citace: 31. Prosinec 2020.] <https://oenergetice.cz/elektrina/geothermalni-energie>.

23. IRENA . *Geothermal Power: Technology Brief*. [Online] 2017. [Cited: 31. Prosinec 2020.] https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Aug/IRENA_Geothermal_Power_2017.pdf.

24. **Prof. Ing. Zdeněk Dvořák, Ing. Luděk Klazar, Doc. Ing. Jiří Petrák CSc.** *Tepelná čerpadla*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p., 1987.

25. **Ing. Žeravík, Antonín**. *Stavíme tepelná čerpadla*. místo neznámé : vydáno vlastním nákladem, 2003. 80-239-075-X.

26. Základní pojmy v tepelných čerpacích. *abeceda-cerpadel.cz*. [Online] [Citace: 6. Únor 2021.] <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/pojmy-a-princip>.

27. **doc. Ing. Tomáš Matuška**. Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP. *vytapani.tzb-info.cz*. [Online] 14. Zář 2015. [Citace: 6. Únor 2021.] <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelná-čerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivita-tepelných-čerpadel-cop-a-scop>.

28. **Ministerstvo pro místní rozvoj, Ministerstvo zemědělství, Ministerstvo životního prostředí**. Tepelná čerpadla pro využití energetického potenciálu podzemních vod a horninového prostředí z vrtů. *Asociace pro využití tepelných čerpadel*. [Online] Prosinec 2013. [Citace: 6. Únor 2021.] http://www.avtc.cz/?download=_/dokum/metodicke-doporuceni-pro-stavebni-a-vodopravni-urady.pdf.

29. **Karlík, Robert**. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Praha : Grada Publishing a.s., 2009. 978-80-247-6803-8.

30. **Jiří Beranovský, Martin Jindrák, Veronika Bejlová**. *Efektivní vytápění úsporných domů*. [Dokument] Praha : EkoWATT CZ s. r. o., 2017. ISBN 978-80-87333-14-3.

31. **Mukhtar, M.; Ameyaw, B.; Yimen, N.; Quixin, Z.; Bamisile, O.; Adun, H.; Dagbasi, M.** Building Retrofit and Energy Conservation/Efficiency Review: A Techno-

EnvironEconomic Assessment of Heat Pump System Retrofit in Housing Stock. [Online] 19. Leden 2021. [Citace: 12. Březen 2021.] <https://doi.org/10.3390/su13020983>.

32. **prof. Ing. Miloslav Synek, CSc., a kolektiv.** *Manažerská ekonomika*. Příbram: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-7528-9.

33. **Ministerstvo životního prostředí České Republiky.** Obnovitelné zdroje energie - Příklady dobré praxe. *mzp.cz*. [Online] 2009. [Citace: 15. Březen 2021.] [https://www.mzp.cz/C125774C00336141/cz/uvod/\\$FILE/oued-priklady_dobre_praxe-20100312.pdf](https://www.mzp.cz/C125774C00336141/cz/uvod/$FILE/oued-priklady_dobre_praxe-20100312.pdf). ISBN: 978-80-7212-520-3.

34. **Cukup Mulyana, Reza Adiprana, Answad H. Saad, M. Ridwan H., Fajar Muhamed.** The thermodynamic cycle models for geothermal power plants by considering the working fluid characteristic. *aip.scitation.org*. [Online] 24 Únor 2016. [Cited: 26. Březen 2020.] <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.4941863>.

35. **Breeze, Paul.** Power Generation Technologies. *Elsevier Science & Technology*. [Online] 2014. [Cited: 26. Březen 2021.] <https://ebookcentral.proquest.com/lib/czup/reader.action?docID=1686430>.