

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



NÁVRH VYTÁPĚNÍ BYTOVÉHO DOMU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracovala: Natálie Sováková

Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Sováková Jméno: Natálie Osobní číslo: 484676
Zadávající katedra: K11125 Technická zařízení budov
Studijní program: Architektura a stavitelství
Studijní obor/specializace: Architektura a stavitelství

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vytápění bytového domu
Název bakalářské práce anglicky: Heating system of the apartment building
Pokyny pro vypracování:
Projekt vytápění zadané budovy
Textová část - technická zpráva, výpočet tepelných ztrát, návrh trasy soustavy vytápění, návrh dimenzí rozvodů, základní energetické výpočty. Výkresová část - půdorysy, svislý řez, řešení technické místnosti.
Studie na téma Využití geotermální energie v systémech budov
Seznam doporučené literatury:
Kabele, Karel : TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV. Vytápění. ČVUT. Praha 2014. ISBN 978-80-01-05203-7
ČSN EN 12831 -1 Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3.
ČSN EN 12828 A1 Tepelné soustavy v budovách - Navrhování teplovodních otopných soustav.
Daniels, Klaus: Technika budov - Příručka pro architekty a projektanty. Jaga 2003. ISBN 80-88905-60-5.
Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2023 Termín odevzdání BP v IS KOS: 22. 5. 2023
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku
Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne:

.....

Natálie Sováková

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu této bakalářské práce panu doc. Ing. Michalu Kabrhelovi, Ph.D. za konzultaci bakalářské práce, radám a času, který mi v průběhu semestru věnoval.

Obsah bakalářské práce

A. Textová část

- A. Studie na téma využití geotermální energie v systémech budov

B. Projektová část

- B01. Výkresová dokumentace
- B02. Technická zpráva, výpočty
- B03. Přílohy

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá vytápěním bytového domu a studií na téma Využití geotermální energie v systémech budov. Textová část práce obsahuje technickou zprávu, výpočet tepelných ztrát, návrh trasy soustavy vytápění, návrh dimenzí rozvodů a základní energetické výpočty. Projektová část obsahuje půdorysy, svislý řez a řešení technické místnosti. Dům bude vytápěn podlahovým vytápěním a jako zdroj tepla bude použito tepelné čerpadlo země – voda.

Klíčová slova

Vytápění, bytový dům, geotermální energie, tepelné čerpadlo, podlahové vytápění

Abstract

This bachelor's thesis deals with a design of a heating system of an apartment building and a study on the theme of Using geothermal energy in building systems. The written part of the thesis consists of a technical report, heat loss calculation, heating system route design, the design of pipe distribution dimensions and basic energy calculations. The project part consists of floor plans, vertical section, and a technical room solution. The building will be heated by underfloor heating and a geothermal heat pump will be used as a source of heat.

Key words

Heating, apartment building, geothermal energy, heat pump, underfloor heating

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**A. STUDIE NA TÉMA VYUŽITÍ
GEOTERMÁLNÍ ENERGIE
V SYSTÉMECH BUDOV**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracovala: Natálie Sováková

Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

2023

Obsah

1	Úvod	9
2	Řešený objekt	10
2.1	Základní popis objektu	10
2.2	Konstrukční a materiálové řešení	12
2.2.1	Svislé nosné konstrukce	12
2.2.2	Vodorovné nosné konstrukce	12
2.2.3	Vnitřní dělicí konstrukce	12
2.2.4	Základové konstrukce	12
2.2.5	Schodiště	12
2.2.6	Tepelné izolace	12
3	Využití geotermální energie v systémech budov	13
3.1	Úvod	13
3.2	Historie využití geotermální energie	14
3.3	Geotermální elektrárny	15
3.3.1	Metoda suchých par	15
3.3.2	Metoda mokrých par	15
3.3.3	Princip ORC (Organic Rankine Cycle)	16
3.3.4	Metoda HDR	17
3.4	Geotermální teplárny	18
3.5	Využití geotermální elektráren a tepláren v ČR	18
3.6	Tepelná čerpadla	20
3.6.1	Princip tepelného čerpadla	21
3.6.2	Tepelná čerpadla voda – voda	22
3.6.3	Tepelná čerpadla země – voda	23
4	Příklady využití geotermální energie v budovách	27
4.1	ČSOB Radlická	27
4.2	Střední škola Českobrodská	29
4.3	Regionální centrála ČSOB v Hradci Králové	30
5	Závěr	31
6	Seznam obrázků	32
7	Seznam použitých zdrojů	33

1 Úvod

Využití obnovitelných zdrojů energie je každým rokem více populární téma. Tato práce se ve své textové teoretické části zabývá jedním z obnovitelných zdrojů energie, který je považován za nevyčerpatelný – geotermální energii.

Na začátku práce představím vybraný objekt a dále pokračuji v teoretické části práce popisem a vysvětlením pojmu geotermální energie. Toto téma představím především ve významu systému budov a jeho využití v nich.

Tato studie navazuje na projektovou část, kde bude geotermální energie využita k vytápění budovy. Cílem této části bakalářské práce je seznámení čtenáře s jedním ze základních obnovitelných zdrojů energie a jeho využitím.

Projektová část bakalářské práce se věnuje návrhu vytápění bytového domu. Výpočtová část projektu začíná výpočtem součinitelů prostupu tepla. Dále navazuje výpočtem tepelných ztrát, návrhem otopných ploch, základními energetickými výpočty, návrhem dimenzemi rozvodů, návrhem zdroje tepla, návrhem oběhových čerpadel, návrhem pojistného a zabezpečovacího zařízení a výpočtem tloušťky izolace potrubí. Projektová část dále obsahuje výkresovou dokumentaci, technickou zprávu a přílohy.

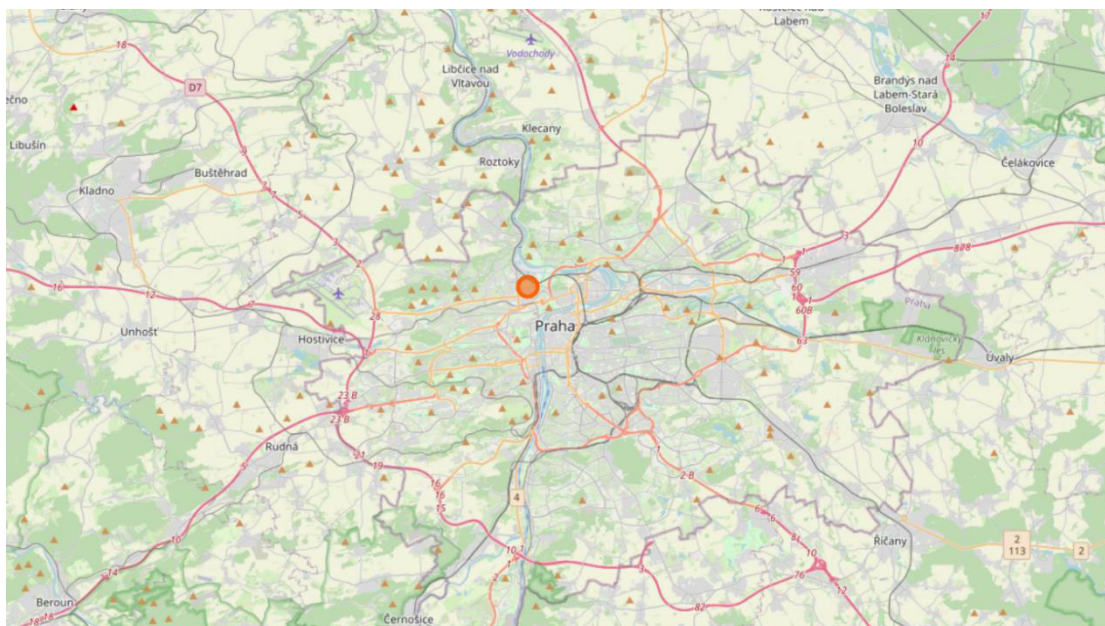
Budova bytového domu byla převzata z mého vlastního projektu v rámci AT01 a ATV4. Tedy jak architektonický návrh, tak konstrukční návrh byly vymyšleny mnou. Návrh skladeb konstrukcí byl rovněž převzat z ATV4, kde byl pečlivě navrhnut tak, aby byla budova v pasivním standardu.

Cílem projektové části je návrh vytápění bytového domu, který poskytne uživatelům příjemné interiérové mikroklima s využitím moderního obnovitelného zdroje energie.

2 Řešený objekt

2.1 Základní popis objektu

Objekt by se nacházel na Praze 6 v ulici Rooseveltova na parcele č. 1325. Výměra parcely je 1581 m² a její nadmořská výška je 196 m. n. m. Zastavěná plocha je 484 m².



Obr. 1: Poloha ulice Rooseveltova [1]

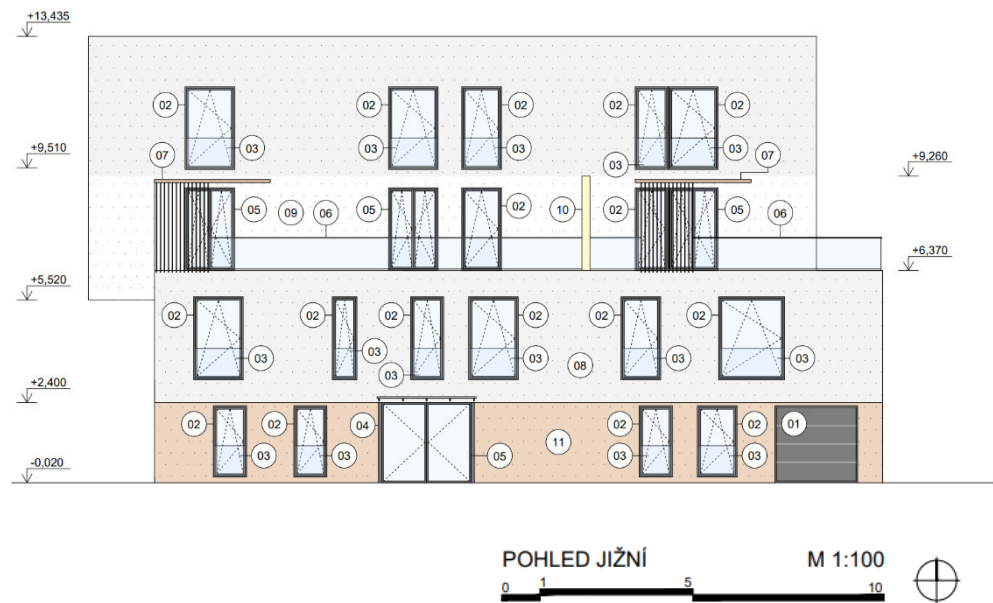
Bytový dům má 4 nadzemní podlaží a jedno podzemní podlaží. Nachází se v něm celkem 10 bytových jednotek. Každému bytu náleží jedno parkovací místo a jedna sklepní kóje v 1.PP.

V 1.NP je pouze jeden byt 4 + KK o ploše 210 m², recepce s vlastní kanceláří a WC, sklad kočárků a kol a výtah do podzemního parkoviště. V následujících typických podlažích 2.NP – 4.NP jsou vždy 3 byty 3 + KK o ploše minimálně 100 m². V 1.PP se nachází pouze podzemní parkoviště se stohovacím systémem, sklepní kóje a technická místnost. Byty v 2.NP a 3.NP mají i vlastní balkony, které jsou orientovány na jih, východ a sever. Schodiště s výtahem se nachází ve středu budovy. Jedná se tedy o schodišťový bodový bytový dům.

Budova je situována 3.5 m od jižního kraje pozemku, vzadu za budovou se nachází zahrada, která je situována na sever do mírného svahu. K budově je navržena příjezdová cesta k výtahu do podzemního parkoviště i cesta ke vstupním dveřím. Střeška stavby je plochá se zelenou střechou, ale nepochozí. Na střechu je přístup pomocí žebříku z 4.NP.



Obr. 2: Dispoziční schéma typického podlaží



Obr. 3: Pohled jižní

2.2 Konstrukční a materiálové řešení

2.2.1 Svislé nosné konstrukce

Svislou nosnou konstrukci budovy tvoří železobetonové monolitické stěny tloušťky 200 mm, které jsou doplněny sloupy v 1.PP o rozměrech 200x500 mm.

2.2.2 Vodorovné nosné konstrukce

Vodorovné konstrukce jsou železobetonové monolitické desky tloušťky 240 mm a 300 mm. Jsou oboustranně podepřené a jednosměrně pnuté. Tloušťka těchto desek byla navržena v rámci statického výpočtu v předmětu ATV4.

V 1.PP jsou průvlaky o výšce 740 mm a tloušťce 400 mm.

2.2.3 Vnitřní dělicí konstrukce

V budově byly použity dva typy vnitřních dělicích konstrukcí – Porotherm 11,5 a Porotherm 25 AKU Z. Porotherm 25 AKU Z byl použit pro oddělení bytů v 3.NP a 4.NP.

2.2.4 Základové konstrukce

Budova je založena na pilotách o průmětu 400 mm, které jsou v hlavách ztuženy základovými pasy umístěnými pod nosnými stěnami.

2.2.5 Schodiště

Schodiště se v budově nachází pouze jedno. Toto schodiště je železobetonové, prefabrikované, trojramenné a levotočivé. Schodiště je opatřeno zábradlím ve výši 900 mm. Středem schodišťového prostoru vede výtahová šachta.

2.2.6 Tepelné izolace

Obvodový plášť je zateplen kontaktně izolací z minerální čedičové vlny ISOVER UNI tloušťky 300 mm. Střecha je zateplena izolací z šedého EPS ISOVER Greywall Plus tloušťky 400 mm. Podlaha na terénu je zateplena izolací EPS tloušťky 80 mm. Stěny pod úrovní terénu jsou opatřeny izolací z XPS tloušťky 250 mm. Stěny za hranicí vytápěného prostoru jsou izolovány izolací ISOVER UNI tloušťky 300 mm.

3 Využití geotermální energie v systémech budov

3.1 Úvod

Geotermální energie je jedním z hlavních obnovitelných zdrojů energie. Je nevyčerpatelná a její potenciál je až $5 \cdot 10^{20}$ J/rok, což je 4x více než současná celosvětová potřeba energie. Průměrně ale dosahuje hodnoty 57 mW/m^2 , protože je rozptýlena po povrchu planety. Vyšších hodnot dosahuje například v oblastech se sopečnou činností nebo na hranici litosférických desek, kde dosahuje průměrných hodnot až 300 W/m^2 . Na rozdíl od jiných obnovitelných zdrojů energie není geotermální energie závislá na klimatických podmínkách, což je její velkou výhodou.

Dle samotného názvu se tato energie uvolňuje z nitra země. Vzniká z části vlivem formace země při jejím vzniku, pohybem litosférických desek a také díky rozpadu radioaktivních prvků s dlouhým poločasem rozpadu – thoria, uranu a draslíku. Štěpení těchto prvků má na svědomí až 40 % celkové tepelné energie. [2] [3]

Teplo je z jádra, které má až $5000 \text{ }^\circ\text{C}$, na povrch převáděno kondukcí a konvekcí. Přibližně 100 km pod povrchem je ale materiál studený a viskózní. Teplo je zde tedy převážně vedeno.

Pro využití geotermální energie je třeba také znát teplotní gradient. Průměrný teplotní gradient blízko povrchu je 30 K/km . V oblastech s vulkanickou činností je větší – až 100 K/km . Dále se gradient mění dle tepelné vodivosti hornin.

Za geotermální zdroje této energie považujeme místa, ze kterých můžeme čerpat za přiměřených nákladů. V přírodě se vyskytují 4 systémy zdrojů této energie – hydrotermální, teplé suché horniny, geotlaké a magmatické. Dnes používáme především první z těchto dvou systémů. Do hydrotermálních systémů patří i termální vody, které jsou hojně využívány například na Islandu, kde je tímto způsobem vytápěno až 90 % domů. Systémy geotlaké a magmatické ještě neumíme efektivně využít, obě jsou totiž technologicky poměrně náročné. Většina pokusů o využití těchto dvou systémů skončila u průzkumných vrtů.

V České republice je využití geotermální energie na vzestupu, ale není u nás tolik zdrojů energie jako v jiných zemích. Jedna z použitelných metod je metoda teplých suchých hornin. [3]

3.2 Historie využití geotermální energie

Jedním z prvních využití geotermální energie pochází ze starověkého Říma, kde využívali geotermální energie v termálních lázních. Využití termálních pramenů bylo v historii velmi časté.

Další využití termální vody v historii bylo na Islandu. V roce 1888 začali využívat geotermální energii na vytápění skleníků a již od roku 1928 byl termální vodou teploty 80 °C zásobován i celý Reykjavík. Dnes je díky tomuto obnovitelnému zdroji energie vytápěno celé město i s chodníky a hlavními třídami a z Reykjavíku se stalo jedno z nejčistších měst světa.

Geotermální energie se v historii hojně využívala také v Itálii. Roku 1904 dělal Piero Ginori Conti první pokusy na výrobu elektrické energie. Zdroj této geotermální energie byla pára, která dodnes pohání turbínu první geotermální elektrárny ve městě Lardello. V průběhu let byla zrekonstruována a rozšířena na 4 bloky. Dnes tato elektrárna vyrábí přibližně 5000 GWh elektrické energie za rok a zásobuje až 1 mil. domácností.

V USA je jedním z nejvíce významných zdrojů geotermální energie geotermální pole The Geysers v severní Kalifornii, které bylo objeveno v roce 1847. Zde se vyrábí elektrická energie z páry od roku 1960. V současnosti se zde vyrábí až 10 MW energie z 20 vrtů hlubokých 2–3 km. Tyto vrty produkují až 2 mil. kg páry o teplotě 250 °C za hodinu.

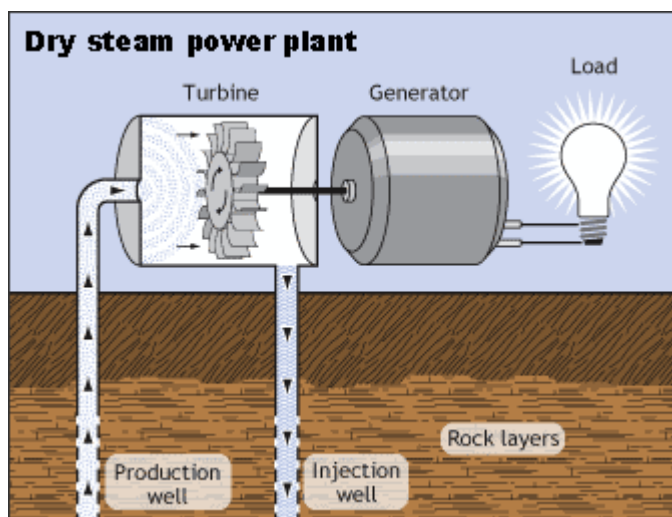
Další geotermální elektrárna byla vybudována v Japonsku v roce 1966. Na rozdíl od USA a Itálie, kde se energie získává metodou suchých par, se v Japonsku jedná převážně o hydrotermální, vulkanické a HDR systémy. Na území Japonska je dnes celkem 8 geotermálních centrál o výkonu až 50 MW.

Dnes se snažíme geotermální energii využívat stále častěji, jak už k vytápění samostatných objektů, tak k zásobování teplem například celých městských částí. Jednou z velkých výhod této energie totiž je, že není závislá na klimatických podmínkách a lze ji využít prakticky kdekoliv. Velká snaha je i o využití systému HDR. [4]

3.3 Geotermální elektrárny

3.3.1 Metoda suchých par

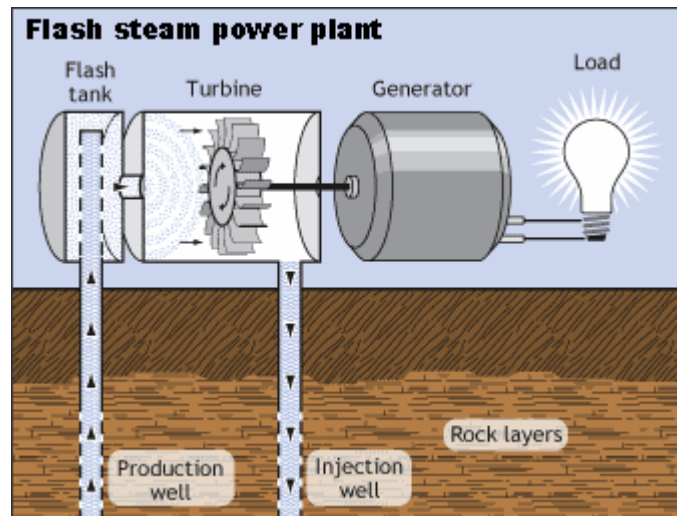
Elektrárny užívající principu suchých par jsou nejstarší, ale zároveň nejlevnější geotermální elektrárny. Tento princip spočívá v přímém čerpání horké páry prostřednictvím vrtnu. Pára poté pohání turbínu generátoru v elektrárně. Dnes byla většina zdrojů pro použití této metody buď již vyčerpána, nebo zastavěna. Výhodou ale je to, že pára může být vypuštěna do okolí, nemusí se dalším vrtem navracet zpět. Dále také cena a jednoduchost tohoto systému. [2] [4]



Obr. 4: Metoda suchých par [5]

3.3.2 Metoda mokrých par

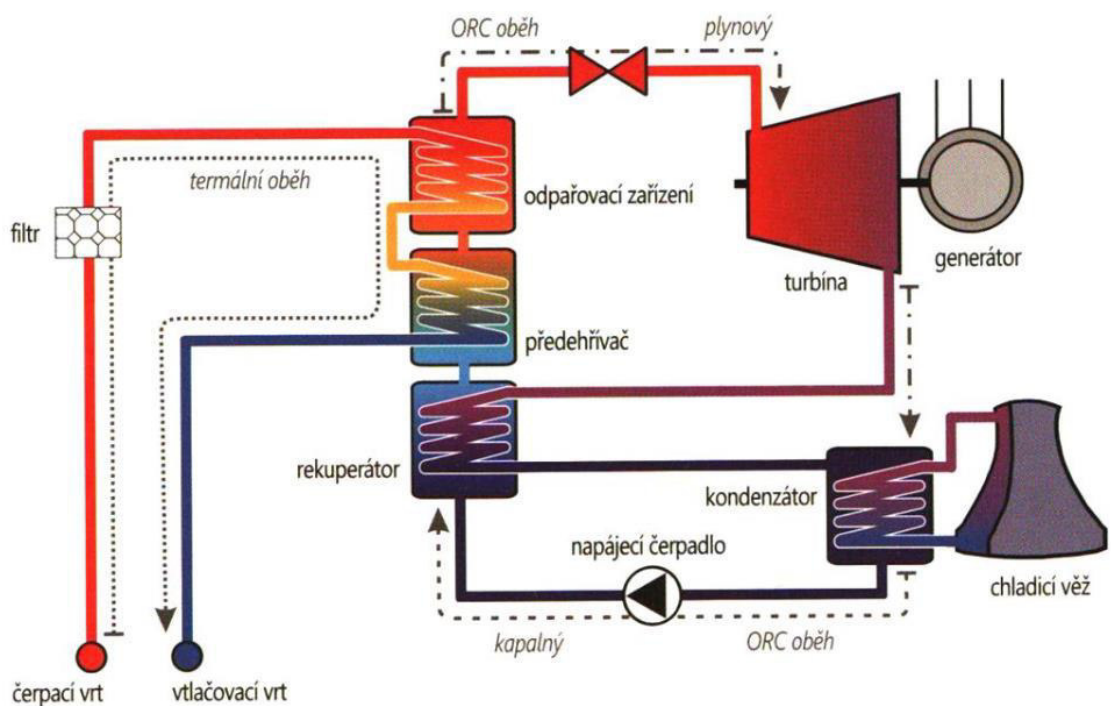
Metoda mokrých par, nebo také „flash“ systém, používá vodu z podzemního zdroje o teplotě alespoň 160 °C. Voda je čerpána vrtem na povrch a vlivem tlaku se z ní stává pára, která poté pohání turbínu. Nevyužitá voda se vrací dalším vrtem zpět do podzemí. Existují dva typy „flash“ systému – „single flash“ a zdokonalený „double flash“, který využívá páru dvakrát před navrácením do podzemí. [2] [4]



Obr. 5: Metoda mokrých par [5]

3.3.3 Princip ORC (Organic Rankine Cycle)

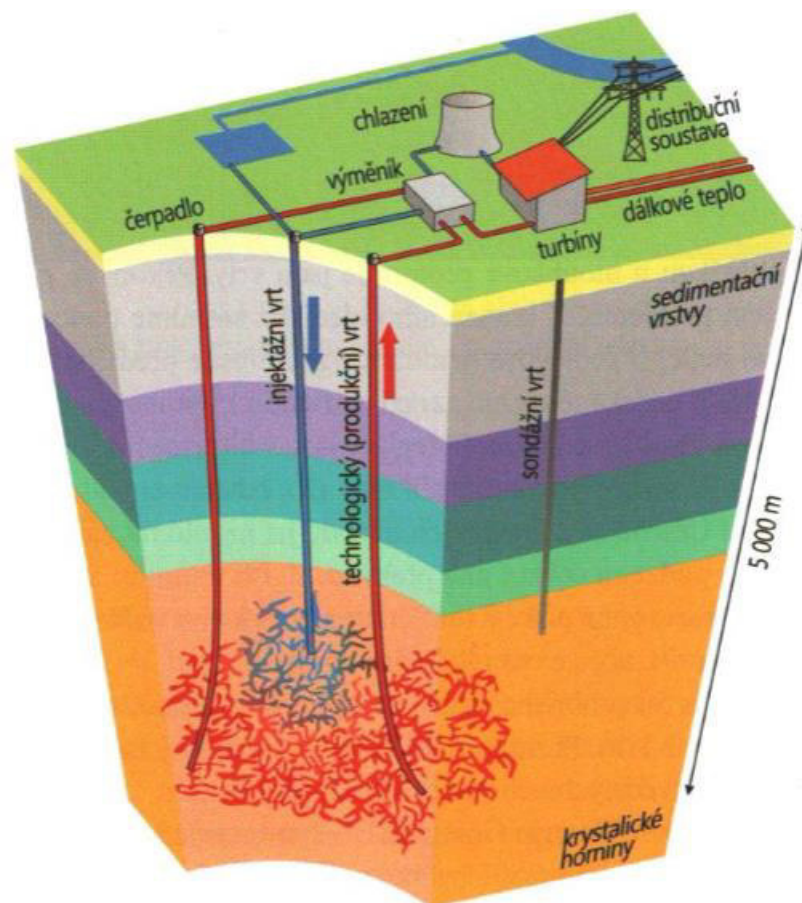
Stejně jako metoda mokrých par využívá metoda ORC podzemního rezervoáru vody. Rozdíl ale spočívá v její teplotě. Voda čerpaná při metodě ORC má kolem 100 °C, což nestačí na odpaření běžné vody. Při této metodě je tedy horká voda čerpaná z vrtu využita k zahřátí látky, která má nižší bod varu než voda. Tato látka se po zahřátí odpaří a pohání turbínu. Kapalina se z ní stane v kondenzátoru a oběh začíná znovu. [4]



Obr. 6: Princip ORC [4]

3.3.4 Metoda HDR

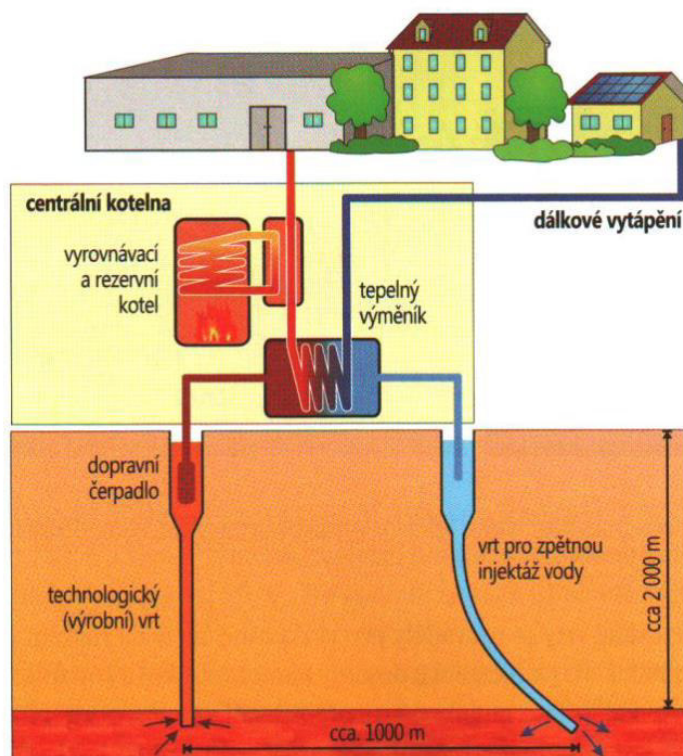
Jednou z výhod systému teplých suchých hornin je absence použití podzemních rezervoárů páry nebo vody. Vhodné zdroje pro použití metody HDR jsou oblasti s nedávnou vulkanickou aktivitou a oblasti se zvýšeným tepelným tokem. Je to metoda, kterou lze použít i v našich podmínkách, kde se příliš nevyskytují podzemní rezervoáry páry ani vody. Funguje tak, že do vrtu hlubokého 5–6 km se vhání pod tlakem voda. Voda se ve vrtu ohřeje a v hornině kolem vytvoří pukliny. Dalšími vrtly se ohřátá voda, nebo už pára, přivede zpět na povrch, kde předá teplo výměníku. Problém u této metody je kromě hloubky vrtu i velikost výměníku. Podobná je metoda HFR (Hot Fractured Rock), kde je ale nutné horninu upravit štěpením. [2] [4]



Obr. 7: Princip HDR elektrárny [4]

3.4 Geotermální teplárny

Geotermální teplárny lze vybudovat v oblastech, kde jsou ložiska termálních vod. Pomocí vrtu a dopravního čerpadla se dopravuje termální voda na povrch. Předá své teplo výměníku a toto teplo se využije k dálkovému vytápění. Ochlazená voda se vrací druhým vrtem zpět. [4]



Obr. 8: Geotermální teplárny [4]

3.5 Využití geotermální elektráren a tepláren v ČR

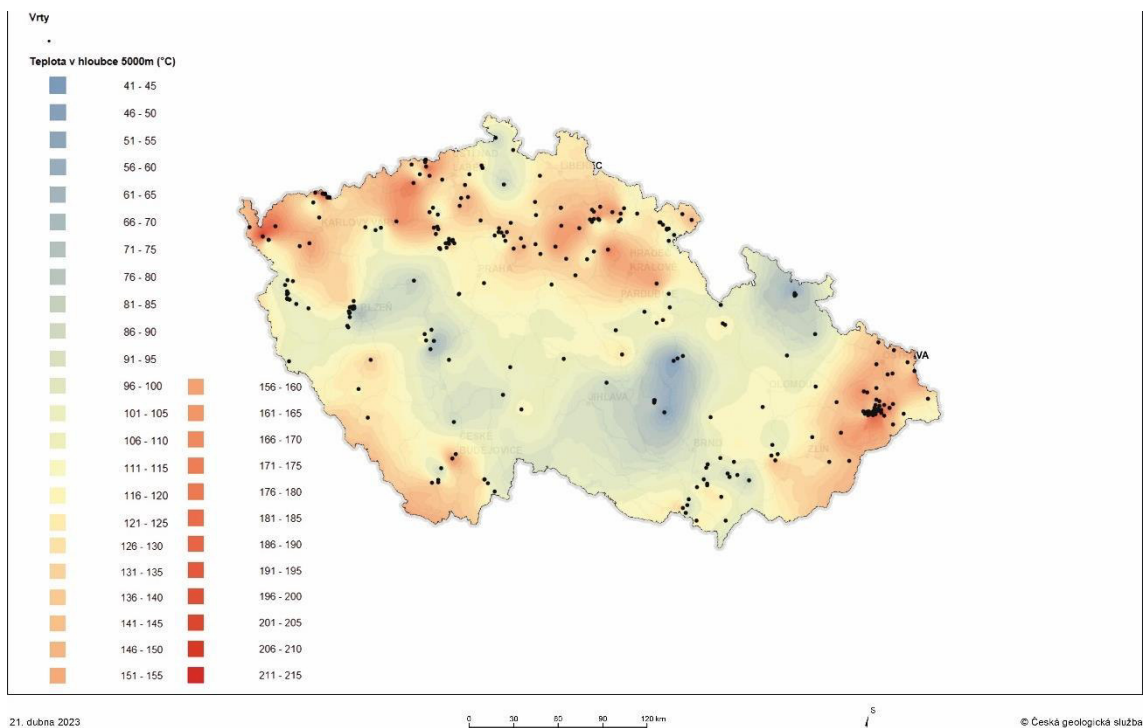
V České republice se primárně využívají systémy pro využití nízkopotenciální energie – tepelná čerpadla. Na našem území se vyskytují hydrotermální zdroje geotermální energie omezeně, u elektráren se využívá především metody HDR. [7]

Jeden úspěšný projekt geotermální teplárny byl uskutečněn v Děčíně, kde je jako zdroj energie využíváno podzemní jezero 545 m pod městem. Z něj je čerpána voda o teplotě 30 °C a dále je buď upravena a ochlazená na 10 °C a používána jako pitná voda, nebo ohřata na 90 °C a používána k dálkovému vytápění. Teplárna teplem zásobuje pravý břeh města a až 180 tisíc domovních stanic. Tato teplárna byla pro město velmi

prospěšná – snížily se díky ní ceny energie a na rozdíl od bývalé teplárny na hnědé uhlí neznečišťuje ovzduší. [4]

Geotermální elektrárna zatím v Česku žádná není. Jediná z použitelných metod u nás je metoda HDR, a proto bylo provedeno několik zkušebních vrtů po celé republice. Výsledky těchto vrtů jsou i veřejně přístupné díky aplikaci na webu České geologické služby. Jako ideální lokality se zatím jeví například Severovýchodní Čechy, Poohří, okolí Českých Budějovic a východní Morava. [4]

Projekty pro uskutečnění geotermální elektrárny byly už dříve připravovány v Litoměřicích, Tanvaldu nebo Semilech, ale nikdy se neuskutečnily. Projekt v Litoměřicích ale nedávno pokročil. V plánu je nejprve provedení dvou pilotních vrtů a analýza získaných dat. Elektrárna, s 10 GWt podzemním úložištěm tepla a dvěma 4 km hlubinnými vrty, by měla být hotová roku 2027. [4] [6] [7]



Obr. 9: Teplota v hloubce 5000 m na území ČR [8]

3.6 Tepelná čerpadla

Systémy na využití nízkopotenciální energie fungují tak, že využívají nízkopotenciálního zdroje, kterému odeberou teplo a převedou ho na vyšší teplotní hladinu. Takový zdroj je například velmi rozšířené kompresorové tepelné čerpadlo. [9] [1]

Systémů tepelných čerpadel je několik druhů. Existují ale čtyři základní systémy tepelných čerpadel dle využívaného zdroje:

- systém voda – voda,
- systém vzduch – voda,
- systém země – voda,
- systém vzduch – vzduch. [1]

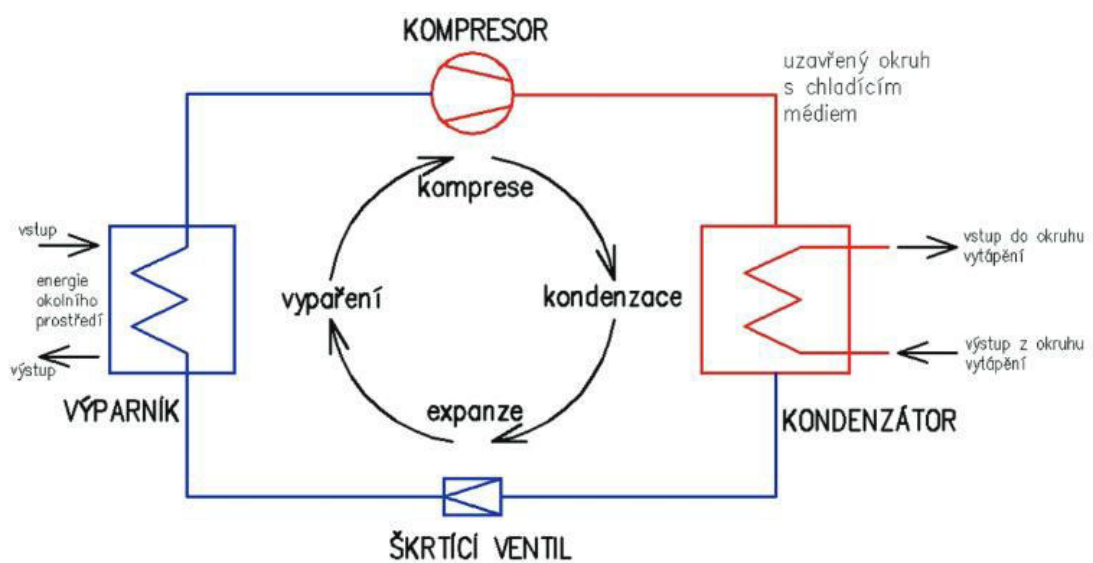
K využití geotermální energie lze využít tepelná čerpadla typu země – voda a typu voda – voda. Systém voda – voda využívá podzemního zdroje vody k přímému čerpání této vody nebo k ohřevu teplotnosné látky. Převážně je ale používán typ země – voda, který využívá energie okolní horniny pomocí kolektorů.

Z hlediska geotermální energie jsou systémy založené na využití nízkopotenciální energie nejčastěji používané, obzvláště v České republice, kde je geotermální energie zatím používána převážně pro samostatné objekty. Tepelná čerpadla dokáží totiž využít i energii hornin v povrchových vrstvách a energii mělkých podzemních vod, což je výhodné vzhledem k podmínkám na našem území. Jsou běžně používána k vytápění, ohřevu vody a lze je využít i k chlazení. [7]

Hlavním kritériem hodnocení tepelného čerpadla je topný faktor. Topný faktor vyjadřuje účinnost tepelného čerpadla. Je to poměr získané energie tepelným čerpadlem k jeho spotřebě. Tepelné čerpadlo totiž část získané energie spotřebovává na vlastní provoz. Vzhledem k topnému faktoru je výhodnější tepelné čerpadlo voda – voda, které může mít hodnotu až o 1 větší, než tepelné čerpadlo země – voda. Vzhledem ale k nedostatku zdrojů podzemních vod k využití čerpadel voda – voda, je druhý systém používanější. [9] [1] [7]

3.6.1 Princip tepelného čerpadla

Samotné tepelné čerpadlo se skládá ze čtyř částí – výparníku, kompresoru, kondenzátoru a škrtícího ventilu. Tepelné čerpadlo odebere teplo ze zdroje a předá ho teplotně látce. Teplotně látka se ve výparníku přemění v páru. Kompresor následně páru stlačí, tím zvýší její teplotu a látka předá teplo do otopné soustavy v kondenzátoru, kde je už v kapalném skupenství. Poté látka projde přes škrtící ventil, kde se ochladí. [1]



Obr. 10: Schéma principu funkce tepelného čerpadla [1]

Tepelné čerpadlo může pracovat ve dvou systémech zapojení – v monovalentním nebo bivalentním zapojení. Monovalentní zapojení znamená, že tepelné čerpadlo je hlavní a jediný zdroj tepla. Tepelné čerpadlo v bivalentním systému zapojení není jediný zdroj tepla. Pokrývá přibližně 60 % tepelných ztrát a doplňkový zdroj tepla, například elektrokotel, pokrývá zbytek. Bivalentní zdroje se navrhuje na tzv. bod bivalence, což je hodnota venkovní teploty, při které se výkon tepelného čerpadla rovná aktuální ztrátě objektu. [1]

Monovalentní zapojení není tolik výhodné kvůli vysokým pořizovacím nákladům a také jsou většinou předimenzovaná. Výhodnější je bivalentní zapojení, u kterého rozlišujeme 3 druhy provozu:

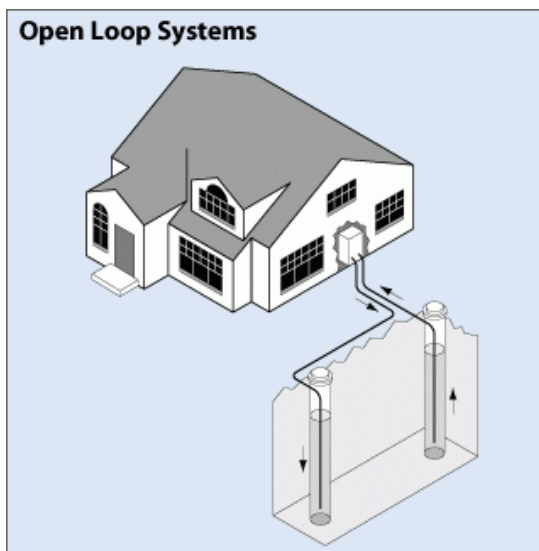
- alternativní,

- paralelní,
- částečně paralelní.

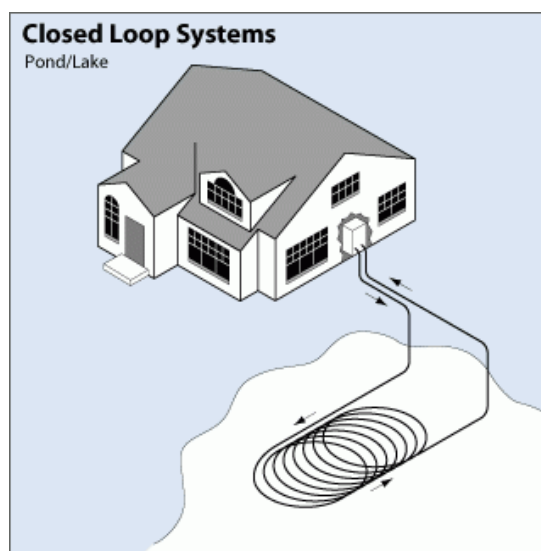
Při alternativním provozu pracuje tepelné čerpadlo do té doby, než venkovní teplota dosáhne bodu bivalence. Potom pracuje pouze doplňkový zdroj, který pokrývá nejnižší teploty. Naopak při paralelním provozu pracuje tepelné čerpadlo stále a doplňkový zdroj je v provozu jen když teplota klesne pod bod bivalence. Částečně paralelní provoz je jakási kombinace obou předešlých provozů – tepelné čerpadlo i záložní zdroj pracují oba najednou, ale při příliš nízké teplotě se tepelné čerpadlo odstaví. [10]

3.6.2 Tepelná čerpadla voda – voda

Tepelná čerpadla voda – voda odebírají teplo z vody. Tato voda buď přímo protéká výměníkem a jedná se o tzv. otevřený primární okruh, nebo pomocí kolektoru – tzv. uzavřený primární okruh.



Obr. 11: Otevřený primární okruh tepelného čerpadla voda – voda [11]



Obr. 12: Uzavřený primární okruh tepelného čerpadla voda – voda [11]

Otevřený okruh využívá vody ze studny jako zdroje tepla. Potrubím se z jedné studny odčerpává voda, projde systémem, voda se ochladí v tepelném čerpadle a vrací se do druhé, vsakovací, studny. Tyto studny jsou hluboké přibližně 10–30 m a jejich vzdálenost je 8–10 m. Lze využít i stávající studnu, pokud vyhovuje kvalitou vody, a vybudovat

vsakovací studnu. Jedna z výhod tohoto systému je, že voda ve studni má během roku stálou teplotu (přibližně 8–10 °C) a lze dosáhnout vysoké efektivity systému.

Nevýhodou otevřených primárních okruhů bývají problémy s čistotou vody a jejím chemickým složením. Tepelné čerpadlo také musí být chráněno před výpadkem zdrojové vody, jinak by mohl zamrznout výměník a mohl by být poškozen.

Při uzavřeném okruhu se potrubí uloží na dno toku a energii odebírají z okolí, v samotném potrubí kolektoru proudí nemrznoucí směs. Jedna z výhod tohoto systému, je absence veškerých požadavků na kvalitu vody. Ale jednou z jeho velkých nevýhod, kvůli kterým se používá pouze zřídka je, že kolektor ovlivňuje teplotu okolní vody a může tak ohrožovat živočichy. [4]

3.6.3 Tepelná čerpadla země – voda

Tepelná čerpadla země – voda využívají rozdíl mezi okolním vzduchem a teplotou pod povrchem. Tento rozdíl teplot dokáží využít k vytápění, ohřevu vody nebo i k chlazení budovy. Primární okruh tohoto systému tvoří vnitřní jednotka a zemní kolektory nebo vrty. Vnější okruh tvoří potrubí uložené v zemi.

V případě vytápění či ohřevu vody je princip tohoto systému takový, že v potrubí pod zemí proudí nemrznoucí směs, která odebírá teplo ze svého okolí. Tato směs poté přejde do výparníku a teplo předá chladivu vnitřního okruhu. Chladivo se vypaří a jeho páry jsou stlačeny kompresorem, což zvýší jeho teplotu. Takto ohřátá pára přejde do kondenzátoru, kde se z ní opět stane kapalina a předává teplo dále do soustavy. Nakonec se po průchodu expanzním ventilem chladivo ochladí a tento cyklus znovu zopakuje. [4]

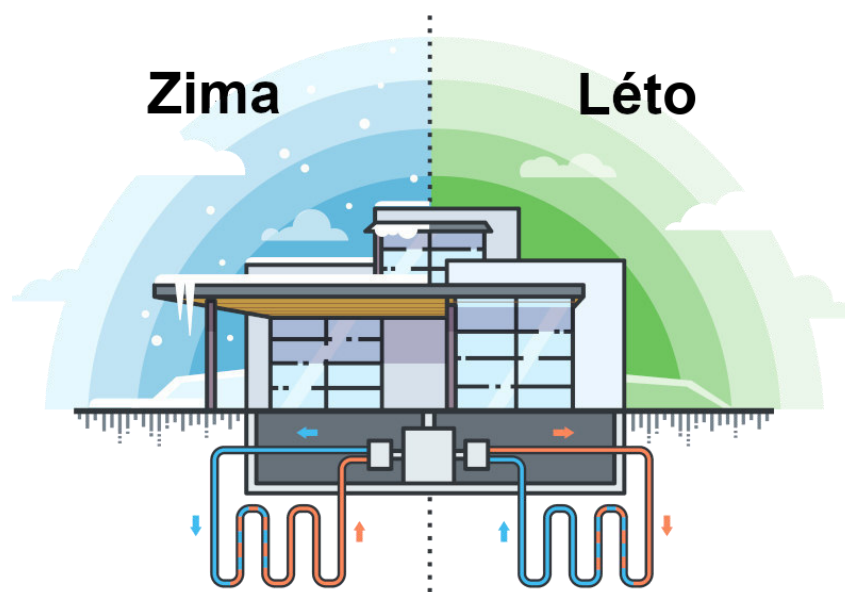
V případě chlazení rozlišujeme dva typy chlazení tepelným čerpadlem:

- aktivní chlazení (kompresorové),
- pasivní chlazení – tzv. „freecooling“. [12]

U aktivního chlazení funguje tepelné čerpadlo v podstatě obráceně. Podstatný rozdíl mezi aktivním a pasivním chlazením je v kompresoru. Během aktivního chlazení je kompresor v provozu, proto se také označuje jako kompresorové chlazení. V případě čerpadla země – voda systém funguje tak, že teplo odvádí z budovy do země. Systém tedy využívá chladnější kapaliny z vrtů nebo kolektorů a teplo se pro systém stává odpadním. Odpadní teplo se buď přímo odvede do země, nebo se může využít pro přípravu teplé vody v menším rozsahu (např. pro sprchování). [12] [13]

U pasivního chlazení je tepelné čerpadlo v podstatě odstaveno a využívá se toho, že teplo přechází z teplejšího do studenějšího prostředí samo, bez pomoci kompresoru. Chladná kapalina ze zemního vrtu (kolektoru) proudí systémem a přijímá teplo z budovy, které odnáší zpět do země. V zemi se kapalina opět ochladí. [12]

Pasivní chlazení je v porovnání s aktivním méně efektivní. Sice je ekonomicky velmi výhodné, ale ke svému provozu potřebuje větší teplosměnné plochy. Naopak aktivní chlazení je velmi výkonné a dokáže se vyrovnat běžným klimatizacím. Nepotřebuje tak velké teplosměnné plochy jako pasivní chlazení. Oba systémy chlazení jsou ale méně hlučné a jsou dobrou alternativou k tradičním klimatizacím. Navíc mají zemní vrty dlouhou životnost, jsou v podstatě bezúdržbové a teplota pod povrchem je celoročně dostatečně chladná na jejich provoz. [13]



Obr. 13: Chlazení a vytápění tepelným čerpadlem země – voda [13]

Co se týká uložení zemních kolektorů pro čerpadlo typu země – voda, tak rozlišujeme dva základní druhy:

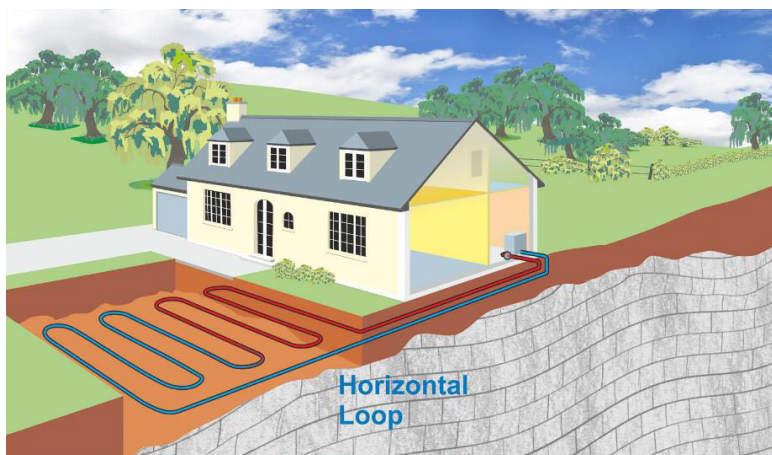
- horizontální kolektory,
- vertikální kolektory.

3.6.3.1 Horizontální kolektory

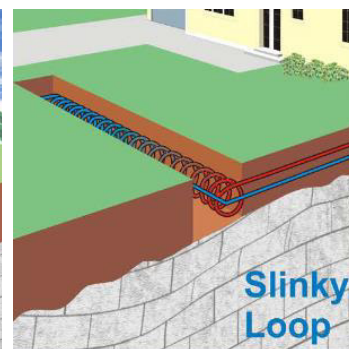
Horizontální nebo také plošné zemní kolektory jsou z flexibilního polyetylenového potrubí naplněného glykolovou nebo etylalkoholovou směsí. Samotné provedení a uložení plošného kolektoru závisí na jeho druhu. Druhy plošných kolektorů existují tři – švédský, německý a americký „slinky“. [14] [4]

Švédský systém uložení potrubí má ze všech druhů největší průměr potrubí – 40 x 3,7 mm, což zároveň umožňuje vytvoření delších smyček a tím i menší počet okruhů, ale bez zvětšení tlakové ztráty. Potrubí se ukládá 1,2 – 1,5 m pod povrch do výkopu nebo do drážek. Německý systém je vytvořen potrubím o průměru 32 x 3 mm. Smyčky tohoto systému jsou značně kratší než u předchozího, a to až o 100 m. Jedna z velkých výhod tohoto systému je jeho vyšší efektivita. Potrubí je totiž uloženo ve větší ploše a ve větší hustotě. Odběr tepla je tedy rovnoměrnější. Poslední z druhů uložení, americký „slinky“, má nižší požadavky na plochu, což je jeho největší výhodou. Potrubí je uloženo v 2 m hlubokém výkopu o rozměrech přibližně 1 x 20 m s délkou smyčky srovnatelnou s německým systémem. [14] [15]

U německého a švédského systému se potrubí ukládá do tvarů šneku, dvojitého meandru nebo dle Tichelmannova principu, který se používá při uložení potrubí do drážek. [17]



Obr. 14: Horizontální kolektor [16]



Obr. 15: Horizontální kolektor „slinky“ [16]

Jedna z výhod horizontálních kolektorů je jejich nižší cena v porovnání s vertikálními kolektory a jednoduchost provedení. Tyto kolektory mají ale také řadu nevýhod – k jejich

použití je nutný dostatečně velký pozemek. Obvykle se navrhují spíše pro novostavby rodinných domů, protože pro 1 kW tepelných ztrát objektu je zapotřebí přibližně 35–40 m² kolektoru. Nad prostorem, kde se nachází plošný kolektor se nesmí nacházet nic, prostor musí být zcela volný a nezastavěný. Chladnější teplota v místě, kde se kolektor nachází, může negativně ovlivňovat růst plodin a stromů. [15] [4]

3.6.3.2 Vertikální kolektory

Vertikálních kolektorů je na trhu dostupných také několik druhů. Nejpoužívanějšími z nich jsou:

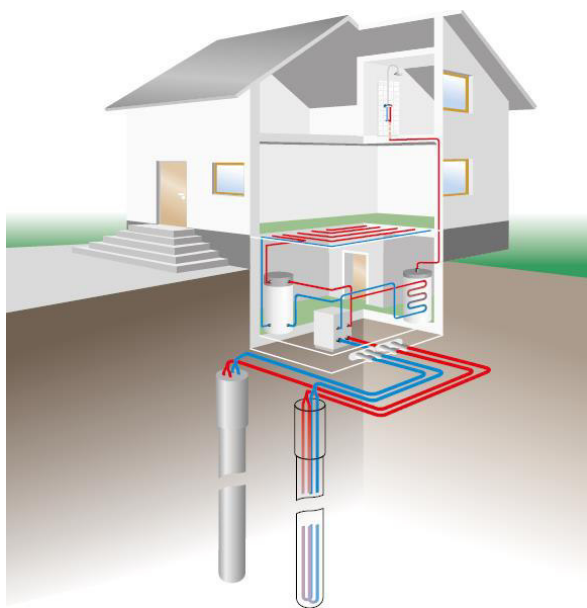
- geotermální sondy (vrty),
- energetické piloty. [17]

Geotermální sondy jsou vyrobeny z PE potrubí, které je vloženo do vrtu hlubokého obvykle 50–150 m. Vkládají se do vrtu do tvaru dvojitého „U“ a následně je zbytek prostoru ve vrtu zaplněn cementovou nebo jílocementovou směsí. Tyto sondy se provádějí v okolí budovy nebo i pod základovou deskou objektu. [17] [4]

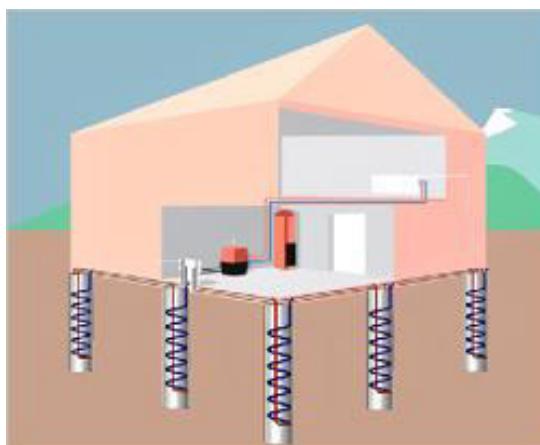
Hloubka geotermální sondy může být i větší (až 300 m), vše ale závisí na podmínkách místa, kde sondy navrhujeme. V naší oblasti se obvykle sondy provádí do 150 m, ale v poslední době se navrhují už i sondy více hluboké jako například u budovy ČSOB v Hradci Králové, kde bylo navrženo 105 vrtů až 200 m hlubokých. [20]

Energetické piloty jsou jedním z novějších provedení vertikálních kolektorů, které umožňují provedení vrtů jako součást základových pilot. Potrubí se připevňuje k armovacímu koši základové piloty do tvaru dvojitého meandru nebo tvaru „U“. Provádí se tedy dříve v průběhu stavby, ale jsou prostorově ještě méně náročné než geotermální sondy. [17]

Na rozdíl od horizontálních kolektorů jsou velmi prostorově úsporné, mají velmi dobrý topný faktor a dodávka tepla je celoročně stabilní. Na 1 kW tepelných ztrát objektu je třeba přibližně 12–18 m vrtu a při použití pro rodinný dům by dokonce teoreticky stačil jeden vrt. Jeden hlubší vrt je dokonce lepší než dva mělké vrty vzhledem k energetickému přínosu. Vertikální kolektory jsou dále výhodné v tom, že díky nim lze budovu v létě i chladit. Jejich nevýhoda je vysoká pořizovací cena. Bývají přibližně o 50 % dražší než horizontální kolektory. [4] [21]



Obr. 17: Geotermální sondy [18]



Obr. 16: Energetické piloty [19]

Energetické piloty byly dále použity v mnou řešenou budovou jako primární okruh tepelného čerpadla země – voda.

4 Příklady využití geotermální energie v budovách

4.1 ČSOB Radlická

Jedním z nejrozsáhlejších projektů využívající geotermální vrty na našem území je sídlo společnosti ČSOB v pražském Radlickém údolí. Budova využívá geotermální energie jak pro vytápění, tak i pro chlazení.

Při vytápění bylo využito tepelných čerpadel o výkonu 1300 kW, které jsou v budově hlavním, a i jediným zdrojem vytápění. Tepelná čerpadla byla navržena jako monovalentní zdroj vytápění, která využívají energie 177 geotermálních vrtů pod základovou deskou budovy.

V létě jsou geotermální vrty využívány k chlazení budovy. K chlazení budovy už ale tepelná čerpadla s chladícím výkonem 1220 kW nestačila, protože potřebný výkon pro chlazení budovy je dvakrát tolik velký (téměř 2600 kW). Proto byl pro potřeby chlazení zřízen záložní zdroj – chladicí věže. Chladicí věže odvádí přebytečné odpadní teplo od kompresorových jednotek a pokrývají letní teplotní špičky.

V přechodném období je v objektu využíváno pasivního chlazení a také akumulace chladu během noci provětráváním objektu. Kompresorové jednotky pouze přečerpávají energii v budově během tohoto provozu.

Pro vytvoření sítě geotermálních vrtů byl nejprve proveden průzkum podloží, numerický simulační model a také 3D model zobrazující šíření tepla a podzemních vod. Pomocí těchto všech informací byla navržena spolehlivá síť geotermálních vrtů, která je navíc schopna sama sebe každý rok optimalizovat pomocí 16 referenčních vrtů. Těchto 16 vrtů sbírají data o teplotě celý rok a pro následující rok je možné systém optimalizovat díky nashromážděným datům. [22]

Budova je tedy zcela samostatná, co se týká vytápění a chlazení, a dokonce si teplo a chlad akumuluje pro pozdější využití – v létě ukládá odpadní teplo, v zimě chlad. Dále se využívá i pasivního ochlazování budovy v noci, a to po většinu roku a také odvádění tepla z jižní fasády k severní pomocí tepelných čerpadel. [23]



Obr. 18: ČSOB Radlická [24]

4.2 Střední škola Českobrodská

Rekonstrukce střední školy Českobrodská v pražských Hrdlořezích je nejmodernější střední škola na našem území. Budova je první česká energeticky a uhlíkově pozitivní škola.

Jako zdroj vytápění, chlazení a ohřevu teplé vody jsou dvě tepelná čerpadla země – voda o jmenovitém výkonu 55 kW. Tato tepelná čerpadla jsou napojena na celkem 16 geotermálních vrtů o hloubce 112 m. Tepelná čerpadla jsou doplněna elektrokotlem o výkonu 30 kW, který slouží jako doplňkový zdroj pro pokrytí špiček spotřeby.

Chlazení je použito jak aktivní, tak pasivní, převážně je ale využito chlazení pasivního. Bylo navrženo tak, že primárně se bude využívat pasivního chlazení a při překročení teploty přívodu z geotermálních vrtů 10 °C se spustí režim chlazení aktivního. Pro chlazení je jako záložní zdroj chiller o chladicím výkonu 49 kW na střeše budovy. Teplo se během režimu chlazení ukládá ve vrtech pro pozdější využití. [25]



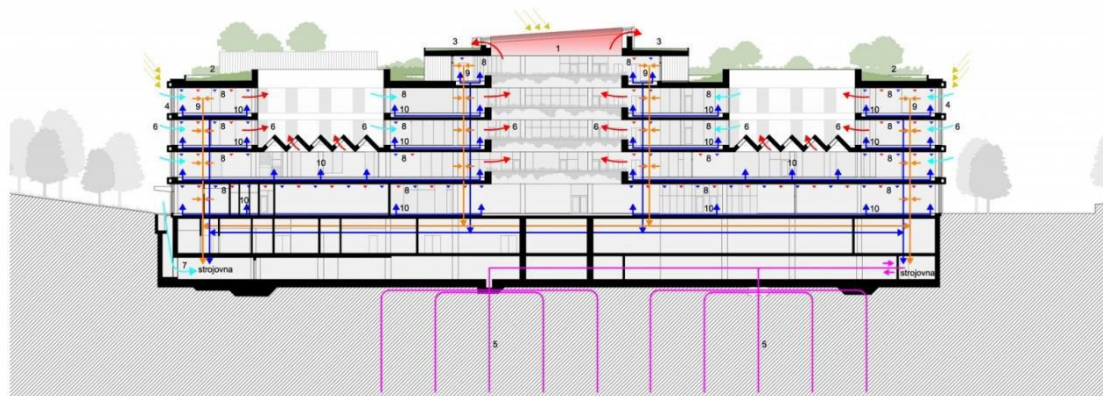
Obr. 19: Střední škola Českobrodská [25]

4.3 Regionální centrála ČSOB v Hradci Králové

Další z budov patřící ČSOB, která je vytápěna i chlazená prostřednictvím tepelných čerpadel země – voda je regionální centrála ČSOB v Hradci Králové dostavěna roku 2021. Tato budova je odlišná od ostatních hloubkou vrtů, která dosahuje až 200 m.

Celkem 107 geotermálních vrtů s hloubkou až 200 m se nachází pod základovou deskou budovy. Byly použity geotermální sondy GEOTWIN Shark od společnosti JANSEN AG, které umožňují zachování minimální tlakové ztráty při zachování tlakové odolnosti sondy. Geotermální sondy pokrývají celou potřebu energie budovy na vytápění. Pro letní špičky je k chlazení přidán záložní doplňkový zdroj – adiabatický chladič. Objekt také využívá přirozeně se vyskytujícího tepla a chladu a také teplo získané z rekuperace.

Budova je soběstačná, co se týká všeho kromě elektrické energie a zároveň díky geotermálním vrtům čerpá tolik energie k vytápění, že by byla dokonce schopná vytápět i přilehlou nově vybudovanou lávku přes řeku Labe. [26]



1 - převýšené zasklení atria s vnitřním stíněním - kumulace a odvod teplého použitého vzduchu, 2 - intenzivní pobytová zelená střecha, 3 - extenzivní zelená střecha - zelené střechy (2,3) zpomalují odtok srážkových vod, eliminují efekt heat island a nadměrné tepelné zisky budovy, 4 - vnější žaluzie s TLT systémem - omezují solární zisky, TLT systém transportuje oblohovou složku denního osvětlení při zastíněné poloze a omezuje tak nutnost užití umělého osvětlení, 5 - vrtné pole - primární okruh systému tepelných čerpadel země-voda, 6 - přívod čerstvého větracího vzduchu otevíravými okny, nebo větracími štěrbínami, 7 - sání čerstvého větracího vzduchu na severní straně objektu, 8 - tepelně aktivovaná železobetonová stropní deska TABS (BKT, oBKT) - hlavní aktivní koncový prvek vytápění a chlazení, 9 - odvod použitého větracího vzduchu nuceného větrání, variantně dle podmínek koncovými prvky na potrubí nebo přes dutiny zdvojených podlah a předstěn, 10 - přívod čerstvého větracího vzduchu nuceného větrání potrubím v dutinách zdvojených podlah - výpady u fasády a mimo pracovní místa

Obr. 20: Řez budovou ČSOB Hradec Králové – technologie [27]

5 Závěr

Cílem této bakalářské práce byl návrh vytápění bytového domu a studie na téma využití geotermální energie v systémech budov. Tyto dvě témata byla zvolena proto, že už při samotném architektonickém návrhu byla budova navržena s předpokladem využití geotermální energie k jejímu vytápění.

V textové části jsem nejdříve představila řešenou budovu a dále jsem pokračovala s částí samotné studie. V této části bakalářské práce jsem postupovala od vysvětlení pojmu geotermální energie a jejímu vzniku až k využití této energie jak elektrárnami a teplárnami, tak i tepelnými čerpadly. Ke konci práce jsem uvedla několik příkladů realizací geotermálních vrtů a tepelných čerpadel země – voda. V této studii jsem i zároveň vybrala vhodné řešení využití geotermální energie pro mou budovu – tepelné čerpadlo země – voda a energetické piloty.

Cílem projektové dokumentace bylo zpracování projektu vytápění již zmíněného bytového domu, výpočet tepelných ztrát, návrh otopné soustavy, výpočet dimenzí rozvodů, návrh trasy vytápění a potřebné výkresové dokumentace.

Jako otopnou plochu jsem zvolila podlahové vytápění doplněné trubkovými otopnými tělesy KORADO KORALUX v koupelnách kvůli nedostatečnému výkonu podlahového vytápění a také s ohledem na komfort uživatelů. Dále byly některé chodby doplněny deskovými otopnými tělesy KORADO RADIK KLASIK.

Jako hlavní a jediný zdroj tepla bylo navrženo jedno tepelné čerpadlo typu země – voda, které pokryje více než 100 % potřeby budovy na vytápění. Tepelné čerpadlo Mastertherm Aquamaster 90Z je připojeno na energetické piloty Rehau RAUGEO, které jsou zabudované v základových pilotách budovy.

6 Seznam obrázků

Obr. 1: Poloha ulice Rooseveltova [1]	10
Obr. 2: Dispoziční schéma typického podlaží.....	11
Obr. 3: Pohled jižní	11
Obr. 4: Metoda suchých par [5]	15
Obr. 5: Metoda mokrých par [5]	16
Obr. 6: Princip ORC [4]	16
Obr. 7: Princip HDR elektrárny [4].....	17
Obr. 8: Geotermální teplárny [4].....	18
Obr. 9: Teplota v hloubce 5000 m na území ČR [8].....	19
Obr. 10: Schéma principu funkce tepelného čerpadla [1].....	21
Obr. 11: Otevřený primární okruh tepelného čerpadla voda – voda [11]	22
Obr. 12: Uzavřený primární okruh tepelného čerpadla voda – voda [11]	22
Obr. 13: Chlazení a vytápění tepelným čerpadlem země – voda [13]	24
Obr. 14: Horizontální kolektor [16]	25
Obr. 15: Horizontální kolektor „slinky“ [16].....	25
Obr. 16: Energetické piloty [19]	27
Obr. 17: Geotermální sondy [18]	27
Obr. 18: ČSOB Radlická [24]	28
Obr. 19: Střední škola Českobrodská [25]	29
Obr. 20: Řez budovou ČSOB Hradec Králové – technologie [27]	30

7 Seznam použitých zdrojů

[1] Poloha ulice Rooseveltova. OpenStreetMap [online]. [cit. 07.05.2023]. Dostupné z: <https://www.openstreetmap.org/#map=10/50.0818/14.4511>

[2] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. Geotermální energie. In: MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České Vysoké Učení Technické, 2011, s. 103–119. ISBN 978-80-01-04937-2.

[3] MOTLÍK, Jan. Elektřina z geotermální energie. In: MOTLÍK, Jan, Libor ŠAMÁNEK, Josef ŠTEKL, Tomáš PAŘÍZEK, Ladislav BÉBAR, Martin LISÝ, Martin PAVLAS, Radim BAŘINKA, Petr KLIMEK, Jaroslav KNÁPEK a Jiří VAŠÍČEK. Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice. Praha: ČEZ, 2007, s. 147–150. ISBN 978-80-239-8823-9.

[4] DŘÍMAL, Petr. Tepelné čerpadlo a geotermální energie: Učebnice Průmyslové ekologie 2. díl [online]. Brno: Střední škola informačních technologií a sociální péče, 2014. [cit. 07.05.2023]. ISBN 978-80-88058-03-8. Dostupné z: https://moodle.sspbrno.cz/pluginfile.php/7467/mod_resource/content/1/Pro%20u%C4%8Ditele%20-%20Tepeln%C3%A9%20%C4%8Derpadlo%20a%20geoterm%C3%A1ln%C3%AD%20energie.pdf

[5] Geothermal power plants [online]. U.S. Energy Information Administration. [cit. 07.05.2023]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/energyexplained/geothermal/geothermal-power-plants.php>

[6] Geotermální energie v Česku? V Litoměřicích začnou s výzkumem, pilotní vrtvy půjdou do hloubky 500 metrů | iROZHLAS – spolehlivé zprávy. iROZHLAS – spolehlivé

a rychlé zprávy [online]. Copyright © 1997 [cit. 08.05.2023].

Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/veda-technologie/veda/geotermalni-energie-vrt-litomerice-vrt-synergys_2210150712_ban

[7] ŠAFANDA J., WAGNER V. Možnosti využití geotermální energie. In: Ústav jaderné fyziky AV ČR [online]. [cit. 08.05.2023].

Dostupné z: http://ojs.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/energetika/Geotermika_Osel.htm

[8] Geotermální mapy. In: Geotermální potenciál ČR [online]. Prague: Czech geological service [cit. 08.05.2023]. Dostupné z: https://mapy.geology.cz/geotermalni_potencial/

[9] QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Grada Publishing, a. s., 2010. 296 stran. ISBN 978-80-247-3250-3.

[10] JELÍNEK, Vladimír, LINHARTOVÁ, Vladimíra. Využívání a provozování tepelných čerpadel v nízkoenergetických domech. In: TZB – info [online]. TZB – info, 2015. [cit. 10.05.2023]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/12211-vyuzivani-a-provozovani-tepelnych-čerpadel-v-nizkoenergetickych-domech>

[11] Geothermal heat pumps [online]. U. S. Department of energy. [cit. 10.05.2023]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/energysaver/geothermal-heat-pumps>

[12] Aktivní a pasivní chlazení pomocí tepelného čerpadla [online]. Viessmann. [cit. 10.05.2023]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/aktivni-pasivni-chlazení-tepelna-čerpadla.html>

[13] Umí tepelné čerpadlo i chladit? [online]. Gerotop. [cit. 10.05.2023]. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/chlazení-tepelny-m-čerpadlem-zeme--voda>

[14] Plošný kolektor - PROTC. *PROTC – Technická databáze pro projektanty* [online]. Copyright © Copyright GT Energy s.r.o. 2019 [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelna-čerpadla.cz/cz/plosny-kolektor>

- [15] Plošné kolektory, Tepelná čerpadla a kompaktní těsnění od GE-TRA s.r.o. *Tepelná čerpadla a kompaktní těsnění od GE-TRA s.r.o.* [online]. Copyright © [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.ge-tra.cz/problematiky/plosne-kolektory>
- [16] Ground Source Heat & Shallow Geothermal Energy [online]. Geothermal Association of Ireland. [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <http://geothermalassociation.ie/wp-content/uploads/2014/04/Draft-Geothermal-Manual-March2-2014-for-comment.pdf>
- [17] Technické informace Rehau RAUGEO [online]. REHAU, s.r.o., 2020. [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.rehau.com/downloads/566024/technick%C3%A1-informace-rehau-raugeo.pdf>
- [18] Získání energie z hloubky prostřednictvím zemních vrtů protékaných solankou. In: Tepelná čerpadla WSP [online]. REMKO CZECH s.r.o. [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.remko.cz/tepelna-cerpadla-wsp>
- [19] Energetické piloty pro tepelná čerpadla. In: Energetické piloty pro tepelná čerpadla [online]. GEROTop spol. s.r.o. [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/energeticke-piloty>
- [20] Geotermální vrty, Tepelná čerpadla a kompaktní těsnění od GE-TRA s.r.o. *Tepelná čerpadla a kompaktní těsnění od GE-TRA s.r.o.* [online]. Copyright © [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.ge-tra.cz/problematiky/geotermalni-vrty>
- [21] Tepelné čerpadlo země voda vrt. *Jaká je cena vrtu nebo kolektoru? | Tepelná čerpadla země – voda* [online]. Copyright © 2023 Všechna práva vyhrazena. [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.geotermalnienergie.cz/tepelne-cerpadlo-zeme-voda-vrt/>
- [22] Nová budova ČSOB bude vytápěna a chlazená vrty. *Projekty tepelných čerpadel země – voda / GEROTop.cz* [online]. Copyright © 2023 GEROTop spol. s r.o. [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/nova-budova-csob-bude-vytapena-a-chlazena-vrty>

- [23] Stavbaweb.cz – Centrála pro ČSOB v pražských Radlicích. *Stavbaweb.cz – odborný portál o architektuře a stavebnictví* [online]. Dostupné z: <https://www.stavbaweb.cz/centrala-pro-sob-v-prazskych-radlicich-23528/clanek.html>
- [24] Nová budova ČSOB. In: ČSOB Kampus | Chalupa Architekti | Domy | ARCHIZOOM.CZ. *ARCHIZOOM.CZ - architektura, interiéry, rozhovory* [online]. [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://archizoom.cz/csob-kampus/>
- [25] Moderní střední škola vsadila na vrty s tepelnými čerpadly. *Projekty tepelných čerpadel země – voda / GEROTop.cz* [online]. Copyright © 2023 GEROTop spol. s r.o. [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/moderni-stredni-skola-vsadila-na-vrty-s-tepelnymi-cerpadly>
- [26] ČSOB slavnostně otevřela první regionální centrálu v Hradci Králové [online]. ČSOB, 2021. [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.csob.cz/portal/-/tz210922>
- [27] Projektíl architekti. Řez budovou – technologie. In: ČSOB slavnostně otevřela první regionální centrálu v Hradci Králové [online]. ČSOB, 2021. [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.csob.cz/portal/-/tz210922>