

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2021

**JANA
BAUMGARTLOVÁ**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Baumgartlová** Jméno: **Jana** Osobní číslo: **482587**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav mechaniky tekutin a termodynamiky**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Využití geotermálních zdrojů pro systémy zásobování teplem

Název bakalářské práce anglicky:

Use of Geothermal Sources for Heat Supply Systems

Pokyny pro vypracování:

- Vypracujte rešerši geotermálních zdrojů na území České republiky s ohledem na jejich využitelnost jako lokálního zdroje tepla.
- Popište technologická zařízení a stavební díla vhodná pro využití tepla z geotermálního zdroje v lokální energetice.
- Navrhněte pro některý z vhodných geotermálních zdrojů zařízení na principu tepelného čerpadla, umožňující zásobování průmyslového areálu teplem, a pro tento návrh vypracujte situační výkres lokální distribuční sítě ve vhodném měřítku.
- Vypočtete pracovní cykly zvolených tepelných čerpadel a jejich klíčové body zanepte do vhodných h-s, T-s a příp. p-h diagramů.
- Vypracujte technologické schéma zdroje na úrovni 'Pipe and Instrumentation Diagram' a schéma energetických toků na úrovni 'Power and Flow diagram'.
- Porovnejte Vámi navržený zdroj tepla se zdroji využívajícími fosilní paliva podobných výkonů a diskutujte výsledky řešení.

Seznam doporučené literatury:

dle pokynů vedoucího práce

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Pavel Sláma, Ph.D., ústav mechaniky tekutin a termodynamiky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30.07.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Pavel Sláma, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Michal Schmirler, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma „Využití geotermálních zdrojů pro systémy zásobování teplem“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Pavla Slámy, Ph.D. Práci jsem vypracovala s využitím uvedené literatury v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů při tvorbě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Baumgartlová Jana

Anotační list

Jméno autora:	Jana Baumgartlová
Název BP:	Využití geotermálních zdrojů pro systémy zásobování teplem
Anglický název:	Use of Geothermal Sources for Heat Supply Systems
Akademický rok:	2020/2021
Ústav:	Ústav mechaniky tekutin a termodynamiky
Vedoucí BP:	Ing. Pavel Sláma, Ph.D.
Bibliografické údaje:	Počet stran: 73 Počet obrázků: 39 Počet tabulek: 18 Počet příloh: 2
Klíčová slova:	obnovitelné zdroje energie, geotermální energie, termální prameny, průmyslový areál, tepelné čerpadlo
Keywords:	renewable energy sources, geothermal energy, hydrothermal springs, industrial zone, heat pump

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá využitím obnovitelných zdrojů energie, konkrétně geotermální energie, k vytápění a ohřevu pitné vody pro hygienické účely v průmyslovém areálu v České republice. První částí práce je představení geotermální energie a způsob, jakým je možné ji využít. Druhá část práce se týká výběru možných potenciálních zdrojů energie ve formě termálních pramenů a samotného návrhu technického zařízení pro využití geotermální energie, kterým je tepelné čerpadlo. V závěru práce je stručně shrnuto, zda je zvolené řešení ekonomicky výhodné.

Abstract:

The bachelor thesis deals with the use of renewable energy sources, specifically geothermal energy and its use for heating and drinking water heating for hygienic purposes in an industrial zone in the Czech republic. The first part introduces geothermal energy and the ways in which it can be utilized. The second part covers the selection of potential geothermal sources such as hydrothermal springs and a design of a technical equipment, a heat pump, which will run on geothermal energy. In the conclusion there is a short summary of the best economical solution.

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Pavlu Slámovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a odborné vedení, především pak za trpělivost a čas, který mi během vypracování bakalářské práce věnoval.

Seznam symbolů a zkratek

Symbol/zkratka	Veličina/význam	Jednotka
P_p	Tepelný výkon pramene	[W]
\dot{Q}_{vp}	Stálá vydatnost pramene	[m ³ /s]
ρ_p	Hustota pramene	[kg/m ³]
$c_{p,p}$	Měrná tepelná kapacita při stálém tlaku	[J/kg.K]
t_{pramen}	Stálá teplota pramene	[°C]
$t_{okolí}$	Dlouhodobý průměr ročních teplot naměřených na nejbližších meteorologických stanicích v okolí pramenů	[°C]
$t_{IN,I}$	Vstupní teplota okruhu od geotermálního zdroje k tepelnému čerpadlu (vstup do výparníku)	[°C]
$t_{OUT,I}$	Výstupní teplota okruhu od geotermálního zdroje k tepelnému čerpadlu (výstup z výparníku)	[°C]
$t_{IN,II}$	Výstupní teplota sekundárního okruhu (vstup do kondenzátoru)	[°C]
$t_{OUT,II}$	Vstupní teplota sekundárního okruhu (výstup z kondenzátoru)	[°C]
i	index daného bodu oběhu	
j	index čísla tepelného čerpadla	
$p_{i,vyt.,j}$	tlak (vytápění)	[MPa]
$p_{i,chl.,j}$	tlak (chlazení)	[MPa]
$h_{i,vyt.,j}$	měrná entalpie (vytápění)	[kJ/kg]
$h_{i,chl.,j}$	měrná entalpie (chlazení)	[kJ/kg]
$s_{i,vyt.,j}$	měrná entropie (vytápění)	[kJ/kg.K]
$s_{i,chl.,j}$	měrná entropie (chlazení)	[kJ/kg.K]
$T_{i,vyt.,j}$	teplota (vytápění)	[°C]
$T_{i,chl.,j}$	teplota (chlazení)	[°C]

$\dot{Q}_{V,vyt.,j}$	výkon výparníku (vytápění)	[W]
$\dot{Q}_{V,chl.,j}$	výkon výparníku (chlazení)	[W]
$\dot{m}_{vyt.,j}$	hmotnostní tok (vytápění)	[kg/s]
$\dot{m}_{chl.,j}$	hmotnostní tok (chlazení)	[kg/s]
$\dot{Q}_{K,vyt.,j}$	výkon kondenzátoru (vytápění)	[W]
$\dot{Q}_{K,chl.,j}$	výkon kondenzátoru (chlazení)	[W]
$\eta_{ie,j}$	izoentropická účinnost kompresoru	[-]
$P_{K,vyt.,j}$	výkon kompresoru (vytápění)	[W]
$P_{K,chl.,j}$	výkon kompresoru (chlazení)	[W]
$P_{K,skut,vyt.,j}$	skutečný výkon kompresoru (vytápění)	[W]
$P_{K,skut,chl.,j}$	skutečný výkon kompresoru (chlazení)	[W]
COP_j	topný faktor	[-]
$\varepsilon_{ch,j}$	chladičí faktor	[-]
$P_{pož.}$	požadovaný výkon TČ	[W]
Q_{AN}	obsah tep. energie v akumulární nádrži	[kWh]
V_{AN}	objem akumulární nádrže	[m ³]
$V_{AN,dop.}$	doporučený objem akumul. nádrže	[m ³]
$c_{p,v}$	měrná tepelná kapacita vody	[J/kg.K]
$t_{IN,AN}$	teplota na vstupu do akumul. nádrže	[°C]
$t_{OUT,AN}$	teplota na výstupu z akumul. nádrže	[°C]
t	čas	[hod]
$P(t)$	výkon TČ závislý na čase	[W]
DN	doba návratnosti	[rok]
$DŽ$	doba životnosti	[rok]
RU	roční úspory	[Kč/rok]
IN	počáteční investice	[Kč]
UN	ušetřené náklady	[Kč/rok]
$P\&ID$	Pipe and Instrumentation diagram	

<i>P&FD</i>	Power and Flow diagram
<i>OZE</i>	Obnovitelné zdroje energie
<i>HDR</i>	Hot Dry Rock (Horká suchá hornina)
<i>ORC</i>	Organický Rankinův cyklus
<i>RESTEP</i>	Regional Sustainable Energy Policy
<i>pH</i>	Vodíkový exponent
<i>GWP</i>	Potenciál globálního oteplování
<i>CO₂</i>	Oxid uhličitý
<i>EU</i>	Evropská unie
<i>TEWI</i>	Celkový dopad na skleníkový efekt
<i>ODP</i>	Koeficient poškození ozonové vrstvy
<i>HFC</i>	Hydrofluorokarbyny
<i>R (R134a, R12, ...)</i>	Refrigerant (chladio)

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Obnovitelné zdroje energie.....	12
3	Geotermální energie.....	14
3.1	Zdroje geotermální energie	14
3.2	Geotermální systémy.....	14
3.3	Technologie pro využití geotermální energie.....	15
3.3.1	Tepelné čerpadlo	15
3.3.2	Organický Rankinův cyklus	18
3.4	Způsoby odebírání geotermální energie.....	20
3.4.1	Mělké vertikální vrty	20
3.4.2	Metoda Hot Dry Rock (HDR).....	21
3.4.3	Přímý odběr	22
3.5	Vedení pracovního média	23
3.6	Geotermální energie ve světě.....	23
3.7	Geotermální energie v České republice.....	24
4	Průmyslový areál.....	28
4.1	Spotřeba tepelné energie v průmyslovém areálu	28
5	Konkrétní potenciální zdroje energie.....	30
5.1	Hydrotermální zdroje	30
5.2	Složení pramenů	32
6	Návrh technického provedení zařízení pro využití tepla z geotermálního zdroje	33
6.1	Volba vhodného zdroje energie a technického zařízení.....	33
6.2	Tepelná čerpadla	36
6.2.1	Výběr vhodných tepelných čerpadel.....	36
6.2.2	Výpočet stavových veličin okruhů tepelných čerpadel.....	36
6.2.3	Základní bilance provozu	45

6.2.4	Topný faktor COP tepelných čerpadel.....	46
6.2.5	Chladicí okruhy tepelných čerpadel	47
6.2.6	Akumulační nádrž.....	54
6.2.7	Pipe and Instrumentation Diagram	57
6.2.8	Power and Flow diagram	58
6.2.9	Situační výkres lokální distribuční sítě.....	59
7	Ekonomické posouzení navrženého technického řešení.....	60
8	Zhodnocení výsledků	62
9	Závěr	64
10	Seznam použitých zdrojů	65
11	Seznam obrázků a tabulek.....	71
12	Seznam příloh.....	73

1 Úvod

V České republice je využívání geotermální energie jako obnovitelného zdroje energie stále dost opomíjené. Můžeme se s ním setkat jen v několika oblastech, a to převážně na severozápadě země.

Touto prací bych ráda potvrdila svou domněnku, že geotermální energie má v České republice větší potenciál, než se může na první pohled zdát.

Ve své bakalářské práci navrhnu technický způsob využití geotermální energie, která bude zásobovat teplem průmyslový areál, jenž je typickým příkladem průmyslových areálů ve střední a východní Evropě.

V této práci se v teoretické části budu věnovat obnovitelným zdrojům energie, konkrétně pak geotermální energii, a jakým způsobem je možné geotermální energii využívat. Popíšu technologická zařízení a stavební díla vhodná pro využití tepla z geotermálního zdroje v lokální energetice. Také přiblížím potenciál geotermální energie na území České republiky a ve světě.

V praktické části popíšu průmyslový areál, pro který návrhové technické řešení vytvořím. Představím i konkrétní potenciální zdroje energie, které se v České republice nacházejí.

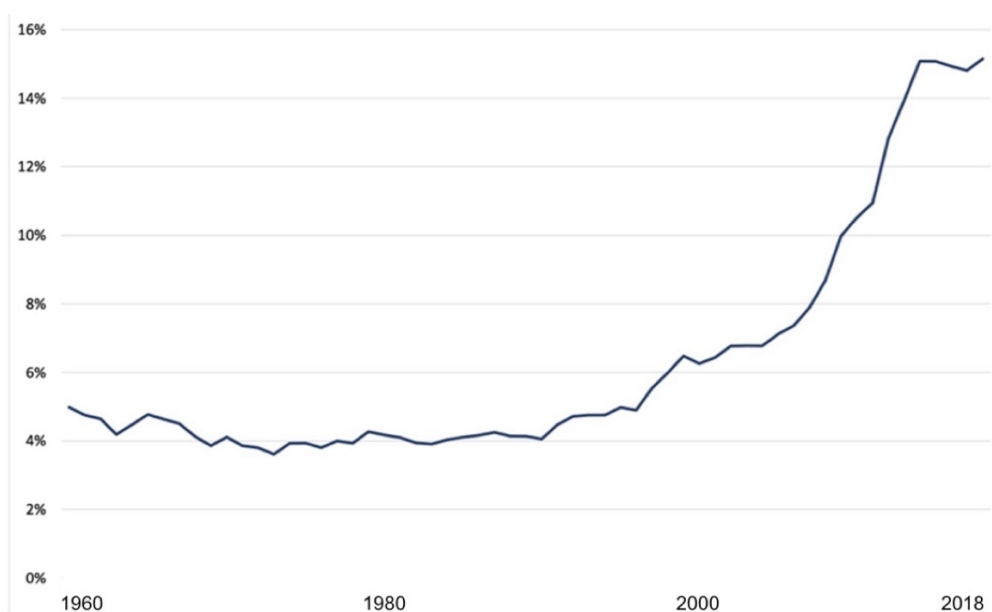
Dále budu pokračovat s návrhem technického zařízení na principu tepelného čerpadla a své řešení následně porovnam se stávajícím řešením využití fosilních paliv v průmyslovém areálu.

Mým cílem je navrhnout efektivní řešení využití geotermální energie, která bude předávat nízkopotenciální teplo z vhodného zdroje geotermální energie do průmyslového areálu.

2 Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelné zdroje energie jsou takové zdroje energie, které mohou být využívány neomezeně. Jsou nevyčerpatelné a různými přírodními procesy se neustále obnovují.

V České republice definuje obnovitelné zdroje energie zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů jako „*obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu.*“ [1] Cílem tohoto zákona je především podpora využívání všech dostupných alternativních zdrojů energie, zvyšování jejich podílu na celkové spotřebě energie a ochrana životního prostředí.



Obrázek 1: Vývoj podílu OZE na konečné spotřebě v letech 1960-2018 v ČR [2]

Čím dál častěji se s tímto termínem v běžném životě setkáváme, a to v kontextu s možným brzkým vyčerpáním neobnovitelných zdrojů energie, tedy uhlí či zemního plynu. Obnovitelné zdroje energie jsou také šetrnější k životnímu prostředí, protože z těchto zdrojů nevznikají takřka žádné odpadní látky a díky tomu má jejich využití v dnešní době rostoucí tendenci. Podíl hrubé konečné spotřeby energie z obnovitelných zdrojů byl v roce 2010 10,5 %, v roce 2018 podíl vzrostl o 5 % na 15,15 %.

Z grafu je možné vyčíst, že se obnovitelných zdrojů energie začalo využívat více až na přelomu 20. a 21. století. To však neznamená, že by se o nich dříve nevědělo. Byly využívány dokonce ještě dříve než fosilní paliva. Ovšem po objevu fosilních paliv se tyto alternativní zdroje energie dostaly do pozadí. [2]

Obnovitelné zdroje energie se dají rozdělit na dvě skupiny dle původu. Do první skupiny se řadí energie, které mají jako primární zdroj Slunce a sluneční záření. Sem tedy řadíme solární energii, větrnou a vodní energii, ale také biomasu. Druhá skupina nemá jako primární zdroj Slunce a patří do ní geotermální energie. [3]

3 Geotermální energie

Geotermální energie pochází z nitra Země, ze zemského jádra. Tato tepelná energie pochází již z doby vzniku planety Země, z radioaktivního rozpadu těžkých prvků v zemském plášti, díky exotermickým fyzikálně-chemickým reakcím probíhajícím v zemské kůře a tektonickému pohybu. Zahřívá podzemní horniny a vody na různou teplotu, která závisí na hloubce a geologických poměrech v daném místě. Využívá se pro různé účely, například pro vytápění, ohřev pitné vody pro hygienické účely a výrobu elektrické energie, ale také pro rekreaci či lázeňství. [4]

Velká většina geotermální energie se k povrchu dostává o velmi nízké tepelné hustotě (přibližně $0,05 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), a proto není možné ji využít přímo. Z tohoto důvodu se geotermální energie zpracovává jen v místech, která se nazývají geotermální anomálie. [3]

3.1 Zdroje geotermální energie

Zdroje geotermální energie se dělí do tří skupin dle teploty na nízkoteplotní, středněteplotní a vysokoteplotní zdroje. [3], [5]

Nízkoteplotní zdroje slouží k přímému využívání geotermální energie a představují teploty v rozsahu od průměrné roční teploty povrchu v daném místě až do přibližně $150 \text{ }^\circ\text{C}$. K využití tohoto tepla se nejčastěji používají tepelná čerpadla, která zvedají teplotu na úroveň potřebnou pro vytápění. [3]

Středněteplotní zdroje pro teploty od $150 \text{ }^\circ\text{C}$ do $200 \text{ }^\circ\text{C}$ jsou využívány k vytápění i k výrobě elektrické energie. [3]

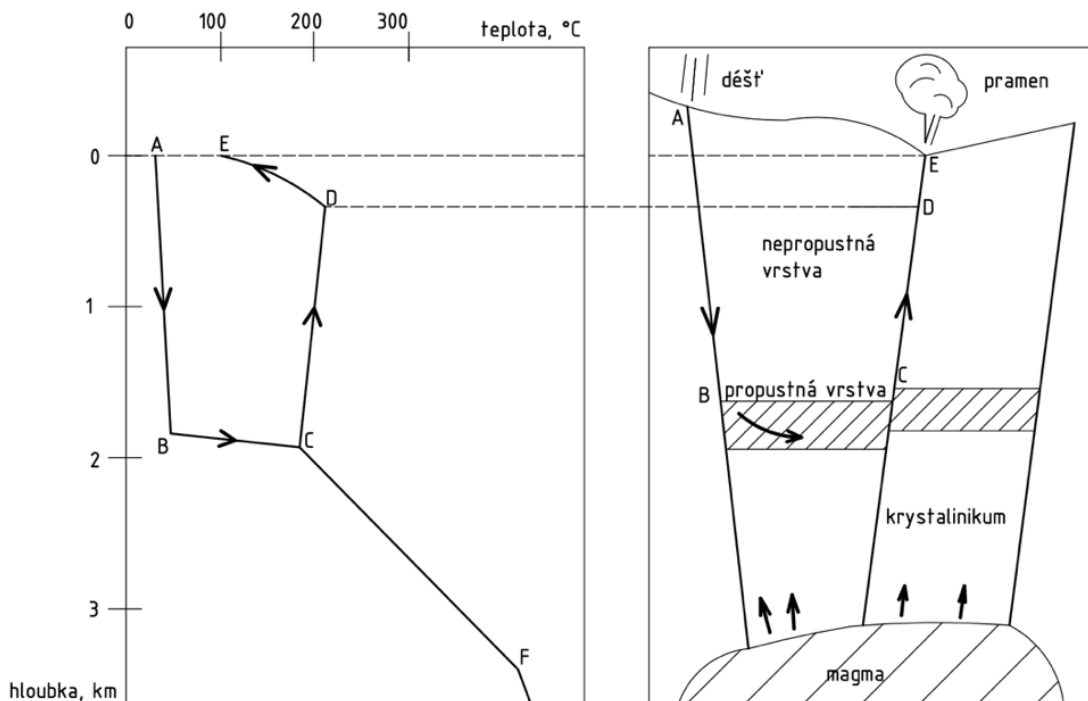
Vysokoteplotní zdroje s teplotou hornin a podzemní vody nebo páry výrazně nad $200 \text{ }^\circ\text{C}$, v některých případech až přes $300 \text{ }^\circ\text{C}$, se primárně používají k výrobě elektřiny, popř. v průmyslových procesech vyžadujících takto vysoké teploty. Zbytkové teplo se může využít pro vytápění. [3]

3.2 Geotermální systémy

Geotermálním systémem označujeme takovou oblast či zdroj, ze kterého se využívá geotermální energie. energii ze Země je možné získat nejčastěji využitím plynů, vodní páry či podzemní vody pod povrchem v zemské kůře, nebo využitím tepla nacházejícího se přímo v samotných horninách, což popisují dále v kapitole 3.4.2. [5]

V případě hydrotermálního systému se řeší několik kritérií pro komerční využitelnost zdroje. Mezi ty patří například dostatečná zásoba vody, objem zdroje tepla

a svrchní vrstva nepropustné horniny. [5] Tyto systémy se poté využívají pomocí vhodně řešených vrtů.



Obrázek 2: Hydrotermální systém – schéma, přepracováno dle [6]

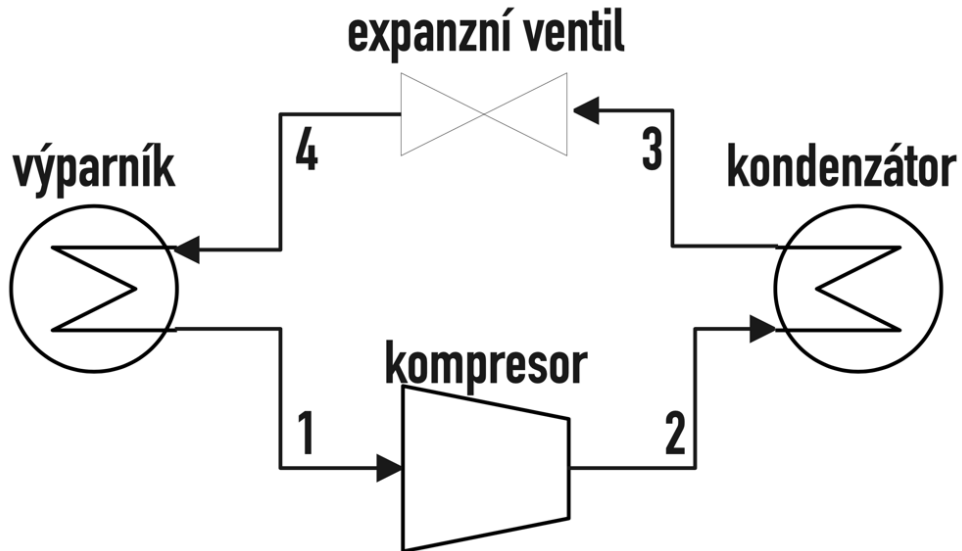
Na obrázku 2 je vyznačeno schéma hydrotermálního systému. Ve formě deště přichází studená voda v bodě A a prosakuje skrze zlomy a praskliny hluboko do podzemí. Tam se setkává s ohřátou horninou v bodě B. Voda se ohřívá, zmenšuje se její hustota a poté v bodě C stoupá vzhůru zpátky k zemskému povrchu, dokud nedosáhne bodu varu v bodě D. Takto vzniklá pára se na povrchu země projeví jako bahnité jezírko, termální pramen jako na obrázku 2 v bodě E, nebo jako doutnání.

3.3 Technologie pro využití geotermální energie

Geotermální energie se využívá k vytápění, nebo k výrobě elektrické energie v geotermálních elektrárnách či teplárnách. Účel a technologie pro využití závisí na vlastnostech geotermálního zdroje.

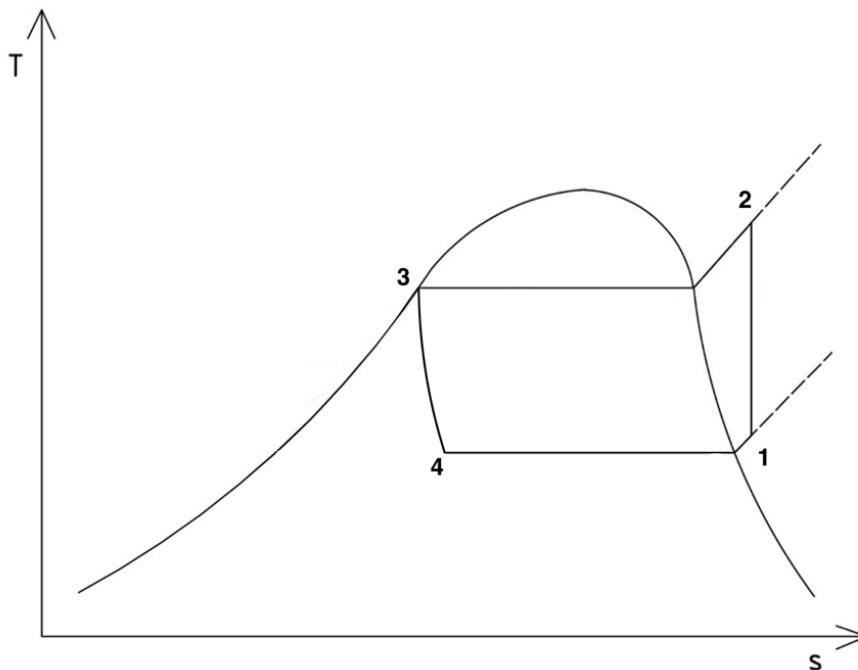
3.3.1 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je zařízení, které zvyšuje teplotu vycházející z geotermálního zdroje na úroveň potřebnou pro vytápění či ohřev pitné vody pro hygienické účely. Za zdroj nízkopotenciální tepelné energie můžeme považovat energii z vody, nebo země. [7]



Obrázek 3: Schéma TČ, přepracováno dle [7]

Na straně u zdroje energie tepelného čerpadla se nachází výměník (výparník) tepla. Prostřednictvím výparníku se do tepelného čerpadla dostává nízkopotenciální teplo, které dále pokračuje přes kompresor (1-2). V kompresoru probíhá adiabatická komprese. Poté se chladivo v okruhu dostává do kondenzátoru (2-3), kde probíhá izobarická komprese, a přes expanzní ventil (3-4) s izoentalpickým škrcením páry zpět do výparníku a celý cyklus se opakuje. Ve výměníku (výparníku) probíhá izobarická expanze (4-1). [8]



Obrázek 4: T-s diagram TČ, přepracováno dle [9]

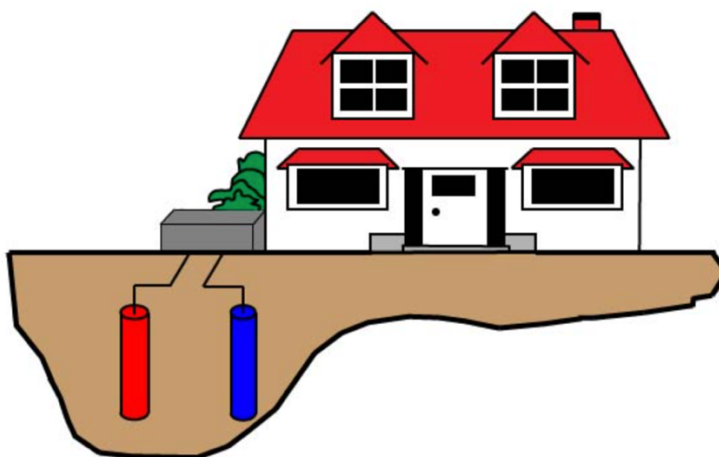
Tepelné čerpadlo je výhodné především svými nízkými provozními náklady, bezobslužným provozem, nízkými nároky na údržbu a úsporou elektrické energie. Možnou nevýhodou je však vyšší pořizovací cena. [10]

Tepelné čerpadlo země/voda využívá tepelnou energii prostřednictvím zemního kolektoru. Teplo je cirkulačním okruhem vedeno do výparníku tepelného čerpadla pomocí teplotonosné kapaliny. V systému se používá nemrznoucí a ekologicky nezávadná kapalina. Pracovní kapalina se ve výparníku ochlazuje a v podzemním vrtu znovu ohřívá geotermálním teplem. [7], [11]



Obrázek 5: TČ země/voda [11]

Tepelné čerpadlo voda/voda odebírá teplo z geotermální, nebo z podzemní vody. Voda je pomocí čerpadla čerpána do výměníku a po ochlazení je vrácena zpět pod povrch. Pracuje na podobném principu jako tepelné čerpadlo země/voda. [12]



Obrázek 6: TČ voda/voda [11]

Tento typ tepelných čerpadel dosahuje nejvyšších topných faktorů. Tento systém také umožňuje využití odpadního tepla v technologických procesech a nároky na využitý prostor nejsou příliš vysoké. [11]

Pomocí tepelného čerpadla lze prostor i chladit. Chlazení může být buď pasivní, nebo aktivní.

Pasivní, bezkompresorový způsob, využívá přirozeného oběhu tepla z teplejšího do chladnějšího prostředí. Tento způsob zajišťuje větší tepelnou pohodu, jelikož cirkulace vzduchu je zcela přirozená, nehrozí přítomnost nepříjemného ledového vzduchu a díky tomu, že je kompresor vypnutý, je toto řešení ekonomicky výhodnější.

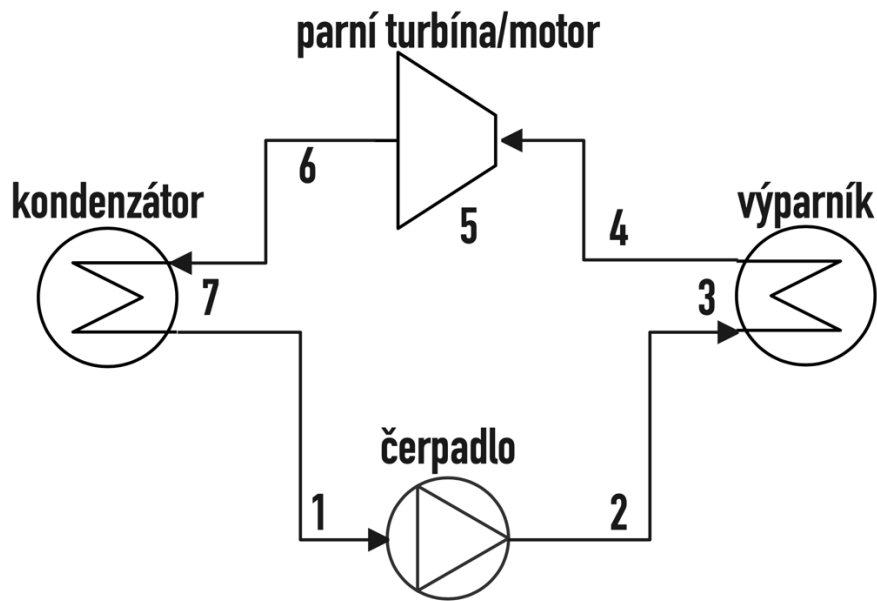
Aktivní, kompresorový způsob, je vlastně reverzním chodem tepelného čerpadla. Tím se zajistí dostatečný chladicí výkon a možnost dosažení nižších teplot při chlazení. Z místnosti se prostřednictvím podlahového či stropního topení odebírá teplo do chladného média a předává se zpět do původního zdroje tepla.

Aktivní způsob chlazení napomáhá regeneraci vrtu, jelikož zpět do vrtu (do zdroje energie) dodává více tepelné energie, než z něj odebírá. [13], [14]

3.3.2 Organický Rankinův cyklus

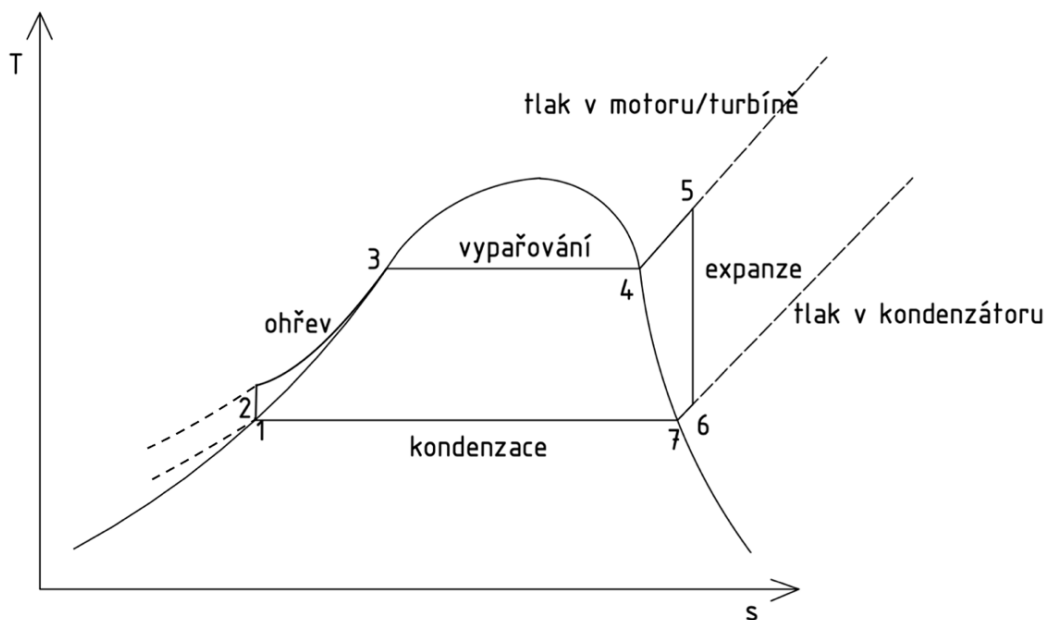
Organický Rankinův cyklus využívá geotermálního nízkopotenciálního tepla k odpařování chladiva ve výparníku. Pracuje na stejném principu jako Rankinův cyklus. Rozdílem je však teplotní médium. Organický Rankinův cyklus využívá jako pracovní látku např. chladiva (R134a), tedy média, která se odpařují již při nižších teplotách. [15] Organický Rankinův cyklus potřebuje jako zdroj tepla zdroj s teplotou vyšší než 80 °C a je využíván převážně pro výrobu elektrické energie. [16]

Na obrázku 7 níže je možné vidět zjednodušené schéma ORC. Do čerpadla vstupuje chladivo, které má nízký tlak a je v kapalném stavu (1). V čerpadle (1-2) se ohřeje a přechází do výparníku (2), kde vznikne přehřátá pára (3-4). Po přehřátí páry chladiva dojde k expanzi v parní turbíně/motoru (5). Zda se do okruhu zapojí parní turbína, nebo motor, je dáno především použitím. Parní motor pracuje s menším hmotnostním průtokem přehřáté páry, proto není nutné použití rozměrnějších zařízení, u nižších výkonů mají parní motory větší termodynamickou účinnost a pořizovací náklady nejsou tak vysoké jako v případě parní turbíny. [17] Po průchodu parní turbínou/motorem vstupuje přehřátá pára do kondenzátoru, kde proběhne ochlazení přehřátých par chladiva (6-7) a kondenzace (7-1).



Obrázek 7: Schéma ORC, přepracováno dle [18]

Výhodou ORC je možnost využití nízkopotenciálního tepla, teplotní médium nepůsobí korozi jednotlivých součástí, účinnost jednotky je stálá při rozdílných provozních parametrech a celá jednotka je snadná na údržbu. Na druhou stranu existuje několik nevýhod, mezi které patří například vyšší počáteční investice. [19]



Obrázek 8: T-s diagram ORC, přepracováno dle [18]

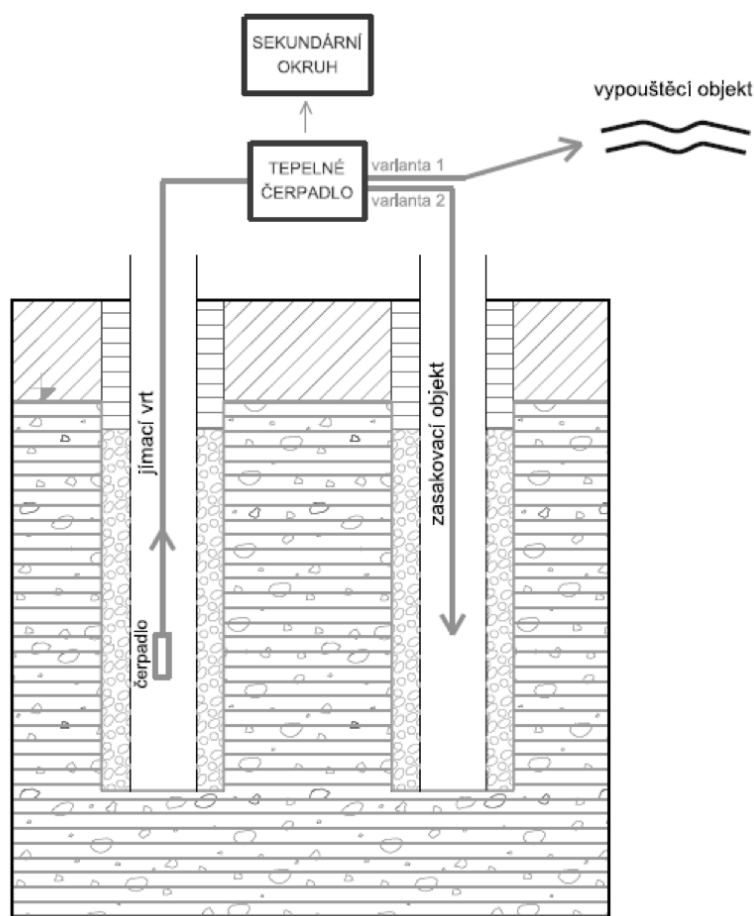
3.4 Způsoby odebrání geotermální energie

3.4.1 Mělké vertikální vrty

Mělký vrt tvoří smyčky potrubí, které jsou zapuštěny do hloubky 50-300 m [20], v případě hlubokých vrtů jde o vrty až do hloubky v řádech jednotek kilometrů. Podzemní geotermální teplo je z horninového prostředí pod zemí předáváno pracovnímu médiu a dále do okruhu tepelného čerpadla či geotermální elektrárny.

Mělké vrty mohou být zdrojem energie pro tepelná čerpadla voda/voda či země/voda. Volba typu tepelného čerpadla pak závisí na skutečnosti, zda je z vrtu odebrána podzemní voda či nikoli.

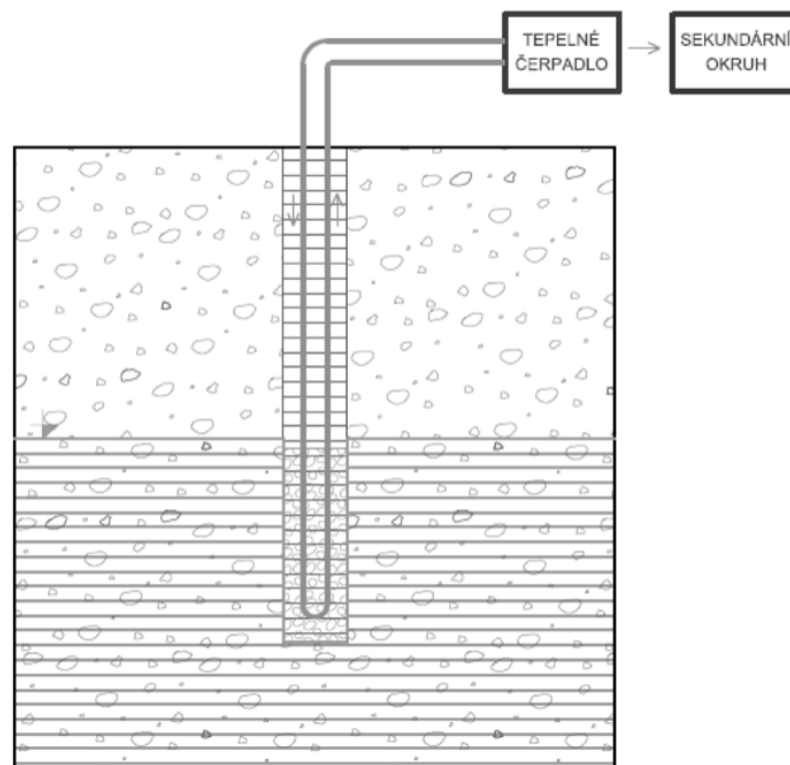
Pokud se podzemní voda odebrá, primární okruh tepelného čerpadla je otevřený. To znamená, že se pomocí ponorného čerpadla odčerpá podzemní voda, jež se přivede do výměníku a odtud se opět odvádí zpět buď do zasakovacího objektu, anebo se vypouští do povrchových vod. Na obrázku 9 je znázorněn primární okruh tepelného čerpadla voda/voda. [12]



Obrázek 9: Schéma odběru geotermální energie pro TČ voda/voda [12]

V případě, že nedochází k odběru podzemních vod a primární okruh tepelného čerpadla je uzavřený, jde o tepelné čerpadlo země/voda. Potrubím obíhá chladivo, jež přenáší tepelnou energii do výměníku tepelného čerpadla. [12] Prostor mezi potrubím a stěnou vrtu je vyplněn injektážní směsí, která zaručí, že se potrubí napojí na okolní horninu. Injektážní směs nesmí obsahovat vzduchové mezery, pukliny a musí zajišťovat přenos tepla a ochranu potrubí. Nejčastěji se jedná o suspenzi bentonitu, cementu, písku a vody. [21] Udává se, že na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je nutné provést asi 12 m hloubky vrtu. Toto řešení se využívá především pro aplikace s nižším tepelným výkonem, jelikož hloubení vrtů je velmi nákladné. Konečná cena se pohybuje v řádech jednotek tisíců za 1 m dle stavu podloží a požadovaného průměru vrtu. [22]

Na obrázku 10 je znázorněn okruh od geotermálního zdroje do tepelného čerpadla země/voda.



Obrázek 10: Schéma odběru geotermální energie pro TČ země/voda [12]

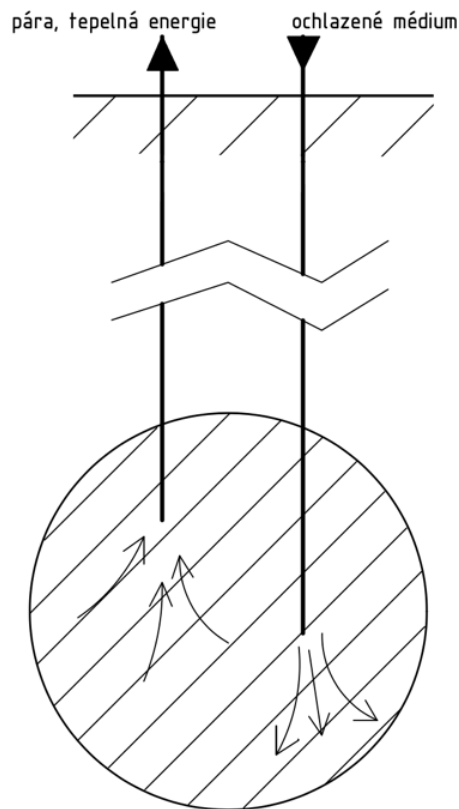
3.4.2 Metoda Hot Dry Rock (HDR)

Metoda Hot Dry Rock využívá energii hornin, které nepropouští vodu. V těchto horninách se uměle vytvoří praskliny, čímž vzniká prostor pro tepelný výměník, a hornina se tak stane propustnou. Do vytvořených prasklin se zavede vhodná tekutina a ta je buď na povrchu přeměněna na páru, nebo se její tepelná energie odebírá přímo ve výměníku.

Tento systém je vytvořen pomocí dvou či více hlubokých vrtů, kdy systém pracuje na principu uzavřeného cyklu. [4]

Po vyčerpání tepelné energie z vhodné tekutiny a jejím následném ochlazení se tekutina vrací zpět do vrtů. Tato metoda má velký potenciál, protože nezatěžuje životní prostředí skleníkovými plyny, výroba elektrické energie nezávisí na podnebných podmínkách a ani není potřeba hydrotermálního zdroje. [15]

Systém Hot Dry Rock se provádí pomocí dvou vrtů, které jsou od sebe vzdáleny alespoň 1 kilometr a jsou propojeny jednou společnou puklinou, což lze vidět na obrázku 11. Další možností je systém tvořen více vrty, které jsou od sebe vzdáleny asi 300 metrů a jsou spojeny více puklinami. Tyto pukliny jsou tvořené vháněním tekutiny do vrtů pod vysokým tlakem. [4]



Obrázek 11: Metoda HDR, přepracováno dle [6]

3.4.3 Přímý odběr

Dalším možným způsobem využití mělké geotermální energie je přímý odběr vody z termálního pramene pro okamžité využití bez dalšího zpracování. Voda se odebírá např. pomocí čerpadla, pokud má pramen dostatečnou teplotu, tedy teplotu, kterou v systému potřebujeme, a vhodné složení.

3.5 Vedení pracovního média

Pracovní médium je ze zdroje do tepelného čerpadla dopravováno pomocí potrubí, na které jsou kladeny vysoké nároky. Musí být odolné vůči korozi, rázům při montáži, v případě delšího vedení vůči hydraulickým rázům a také musí být pružné, pevné a poskytovat vhodné schopnosti přenosu tepla nebo být odolné vůči usazování minerálních látek. Potrubí je tedy převážně vyrobeno z plastu – lineárního či síťovaného polyethylenu, polypropylenu, nebo polyvinylchloridu. [23] To z důvodu mnohdy nevhodného složení zdrojové vody v případě tepelného čerpadla voda/voda.

Potrubí celého okruhu je tepelně izolováno, aby docházelo k co nejmenším ztrátám.

Potrubí chladivového okruhu je vyrobeno nejčastěji z mědi, desky výměníků z nerezové oceli. [7]

3.6 Geotermální energie ve světě

Nejvhodnější lokalitou na světě pro využití geotermální energie je jednoznačně Island, kde je až 85 % všech domácností vytápěno právě touto energií. V hlavním městě Reykjavíku díky podzemní vodě o teplotě přes 80 °C a jejímu správnému využití nezamrzají v zimě chodníky a silnice. [4]



Obrázek 12: Mapa geotermálních anomálií ve světě [24]

Na obrázku 12 lze vidět další země s vysokým potenciálem pro využití geotermální energie. Patří mezi ně Filipíny, Nový Zéland či Itálie, Spojené státy americké a státy Jižní Ameriky. Tmavě červené body na mapě vyznačují lokace s již existujícími geotermálními elektrárnami. [24]

3.7 Geotermální energie v České republice

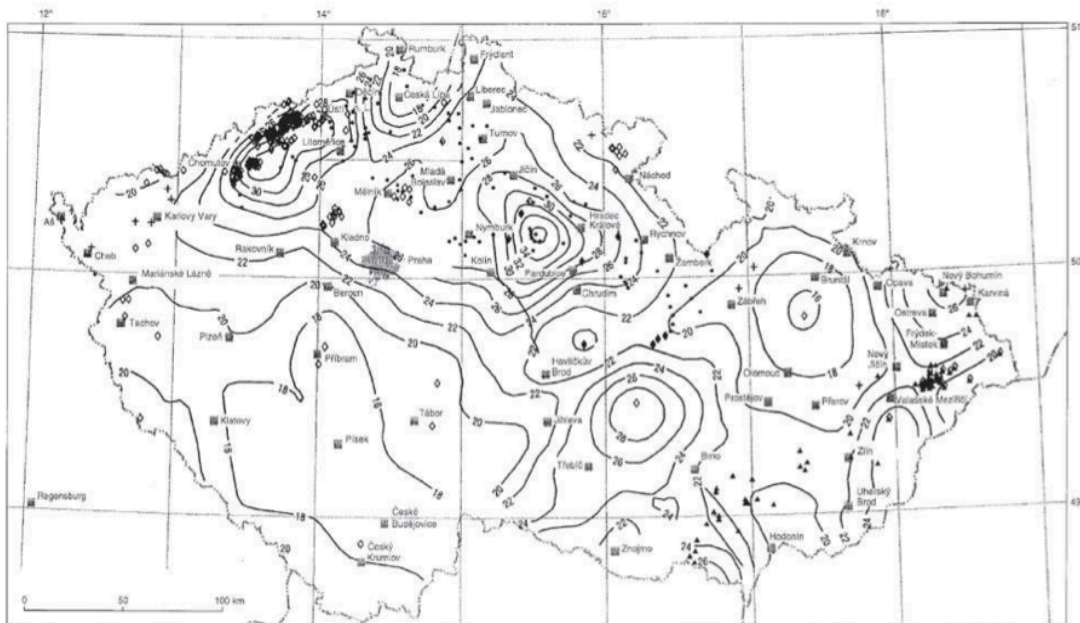
Česká republika využívá geotermální energii spíše v omezeném množství. Je to dáno tím, že na svém území oblastmi, které byly vyhodnoceny jako vhodné pro využití geotermální energie, příliš neoplývá. I v těch nejvhodnějších lokalitách je ideální teplota pro využití energie Země až několik kilometrů pod povrchem, což se pro využití jeví jako způsob velmi nákladný a nepříliš perspektivní.

Od roku 1999 v České republice probíhá výzkum geotermální energie, kdy bylo vytvořeno přes 3 500 vrtů, které mapují vhodnost či nevhodnost území pro využití geotermální energie. Řešitelé zkoumají teplotní gradient, podloží a na základě těchto poznatků stanovují tepelný tok a další ukazatele vhodnosti území. [5], [25]

Hydrotermální zdroje se v České republice nacházejí jen výjimečně. Nejteplejší termální pramen se nachází v Karlových Varech a má 72 °C. [25] Složení takového pramenu však není vhodné pro účely využití geotermální energie, a tak se využívá jen pro lázeňství. Oproti špatné situaci s hydrotermálními zdroji si Česká republika stojí velmi dobře se zdroji HDR. Teplota pod povrchem země v hloubce 3,5-5 km by pro využití metody HDR měla dosahovat až 200 °C, což se některým místům v ČR daří. Pro tento způsob je také důležitý vyšší tepelný tok, kterým Česká republika na několika místech disponuje, a také skladba hornin pod povrchem. [26]

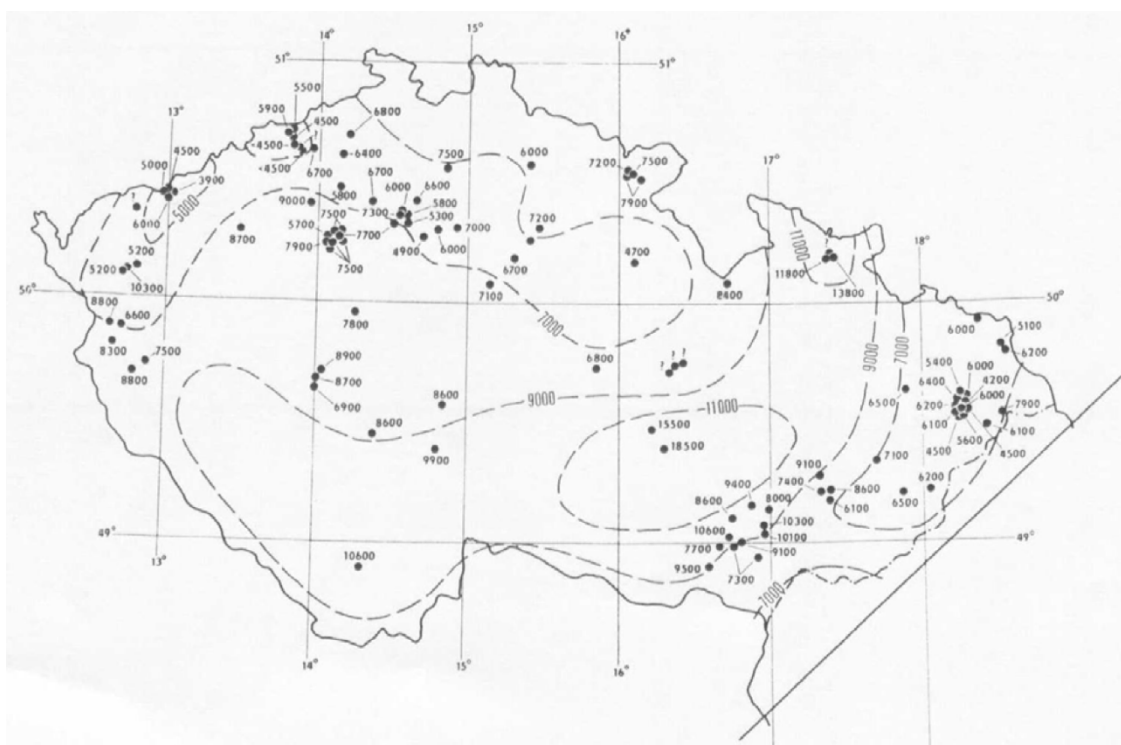
V současné době se geotermální energie na našem území využívá v severozápadních Čechách, a to v Děčíně k vytápění 10 000 domácností a Aquaparku [27] a v Ústí nad Labem k vytápění pavilónů v Zoologické zahradě. [28] V Litoměřicích byl vytvořen vrt hluboký 2 111 m, který má za cíl detailně prozkoumat podloží a teploty pod povrchem ve městě a do budoucna se na základě tohoto projektu počítá s výstavbou ekologické geotermální elektrárny. Odhady celkových nákladů šplhají až k 2,5 miliardám Kč. [29]

V České republice mají investoři vytipováno několik desítek oblastí, které by byly vhodné k výstavbě geotermálních elektráren. Problémem je však financování. Toto odvětví se považuje za rizikové z toho důvodu, že geotermální elektrárny na našem území nejsou prakticky vůbec rozšířené, takže s nimi banky nemají dostatek zkušeností a jsou proto zdrženlivé. [11]

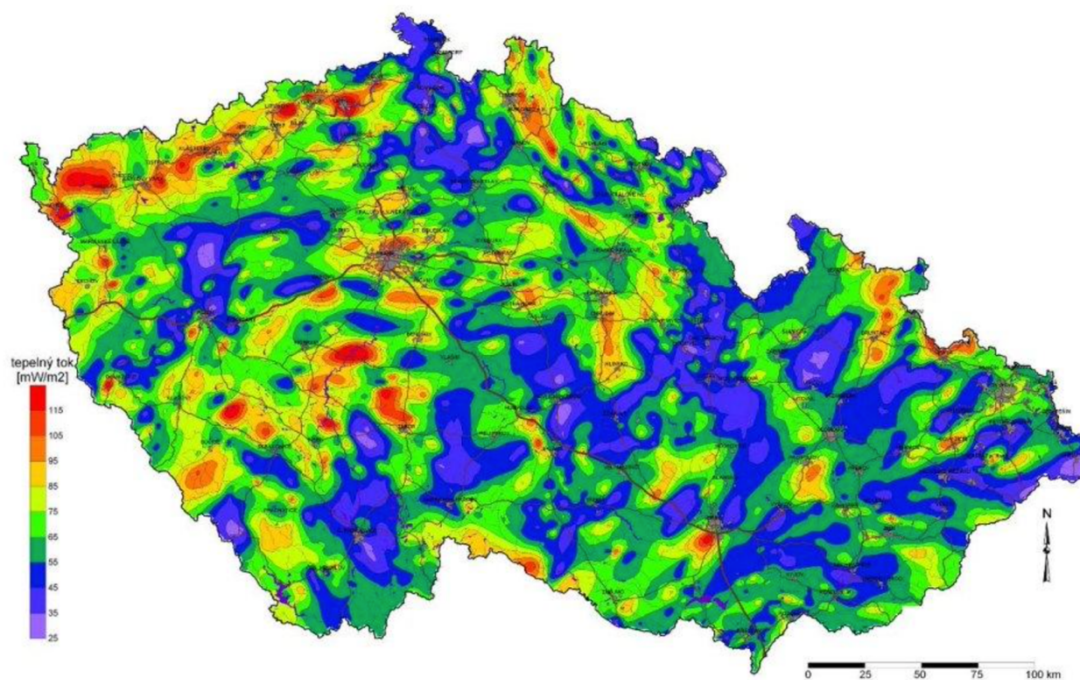


Obrázek 13: Mapa teplot 500 m pod zemským povrchem [5]

V hloubce 500 metrů pod povrchem se teplota na území České republiky pohybuje v rozmezí 18-34 °C. Vyšších teplot se dosahuje až v hloubkách několika kilometrů, například teploty 180 °C dosahuje okolí Litoměřic až v hloubce 4,5 kilometru.

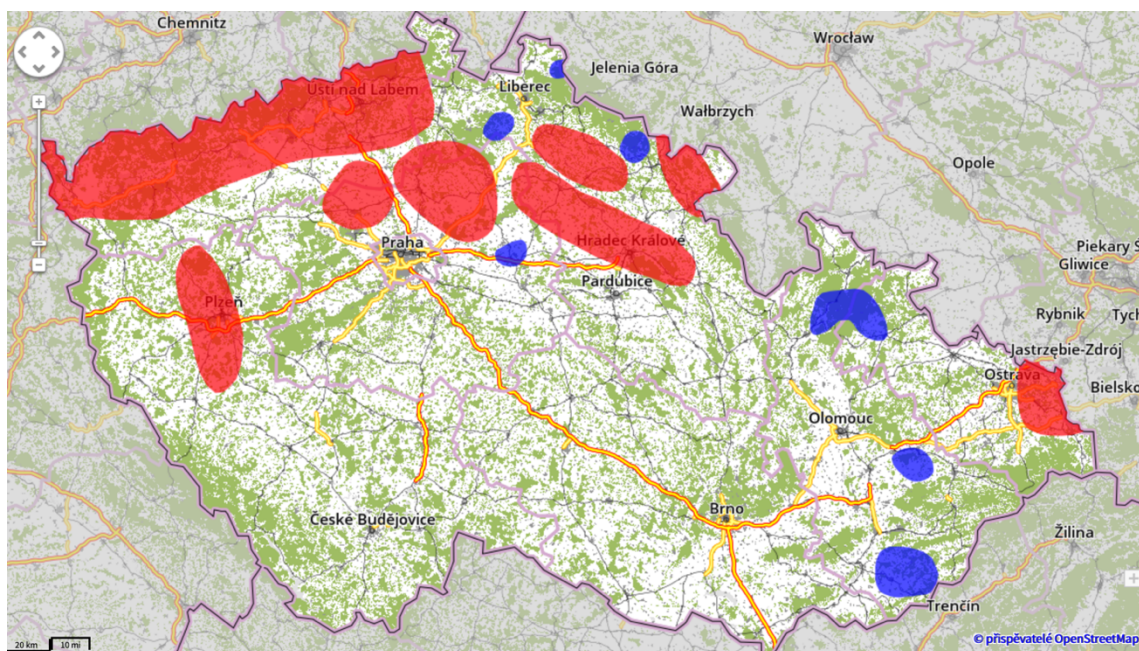


Obrázek 14: Mapa izohyps teploty 180 °C na území ČR [5]



Obrázek 15: Hodnoty tepelného toku na území ČR [26]

Tepelný tok neboli ukazatel hodnocení geotermální aktivity, je nejvyšší v oblasti severozápadních Čech a v okolí Hradce Králové. Na území České republiky se pohybuje v rozmezí 40-112 mW/m². Červenou barvou jsou na obrázku 15 zobrazeny oblasti s tepelným tokem vyšším než 115 mW/m², fialovou barvou pak tepelné toky menší než 30 mW/m².



Obrázek 16: Mapa geotermicky anomálních oblastí dle RESTEP [30]

RESTEP vyhodnotil oblasti pro využití geotermální energie na základě všech předchozích zpracování geotermálního potenciálu. Aby se docílilo co možná největší věrohodnosti dat, veškeré údaje musely být aktualizovány a upraveny. Červené oblasti byly vyhodnoceny jako vysoce pravděpodobné anomální oblasti a modré jako středně pravděpodobné. Vyhodnocení proběhlo na základě předpokladu, že v hloubce 5 km pod povrchem lze očekávat teplotu vyšší než 160 °C. [30]

4 Průmyslový areál

Průmyslovým areálem, pro který budu možnost využití geotermální energie navrhovat, je Zbirovia a.s. ve Zbirohu. Tento podnik se zabývá zpracováním ocelových polotovarů do hotových strojních výrobků. Součástí je i truhlárna.

V současné době je areál vytápěn pomocí plynových kotlů.

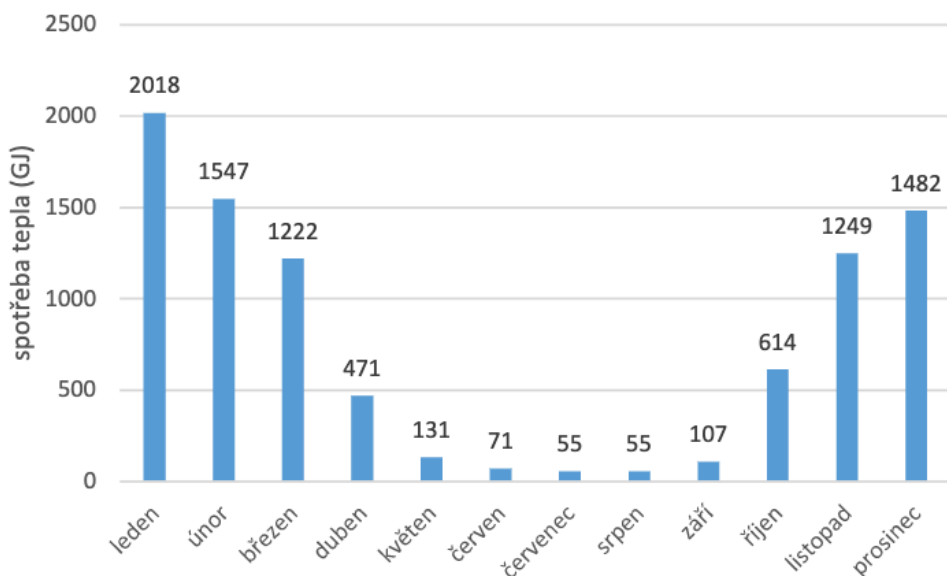
Ve Zbirovii se pracuje v jednosměnných provozech s výjimkou nástrojárny, kde denně probíhají směny dvě. V létě, v srpnu, je výroba přerušena, protože probíhá celozávodní dovolená. [31]

Tento areál volím z toho důvodu, že se jedná o takový typický průmyslový areál, který je možné najít na mnoha místech střední i východní Evropy.

4.1 Spotřeba tepelné energie v průmyslovém areálu

V průmyslovém areálu Zbirovia je velký rozdíl mezi spotřebou tepelné energie v letních a zimních měsících. To je dáno především tím, že drtivá většina tepla je využita na vytápění budov v areálu.

Navrhuji možnost využití geotermální energie tak, aby byla pokryta celá spotřeba tepla měsíců května až září. Jak lze usoudit z měsíční spotřeby tepla v areálu Zbirovia, pokud bych chtěla pokrýt spotřebu energie i dalších měsíců, zvolené tepelné čerpadlo by muselo mít dostatečně velký výkon a v měsících s minimální spotřebou (červen, červenec, srpen) by takto navržené tepelné čerpadlo bylo zbytečně velké.



Obrázek 17: Spotřeba tepla v areálu Zbirovia – průměr z let 2015-2019 [31]

Vzhledem k hodnotě spotřeby tepla v průběhu roku a její vysoké proměnlivosti v jednotlivých měsících, zvolím pro pokrytí spotřeby energie v období mimo hlavní sezónu, tedy od května do září, tepelné čerpadlo o výkonu 100 kW. Spolu s tímto tepelným čerpadlem bude v dalších měsících v jedné baterii v provozu další tepelné čerpadlo, které bude poskytovat dalších 400 kW pro pokrytí spotřeby. Společně pak budou obě tepelná čerpadla dodávat energii 500 kW i v dalších měsících, tedy od ledna do dubna a od října do prosince, jako doplňkový zdroj k jinému zdroji energie.

Tabulka 1: Spotřeba tepla areálu v [GJ/den]

měsíc	[GJ]	Počet dnů v měsíci	[GJ/den]
leden	2 018	31	65,1
únor	1 547	28	55,3
březen	1 222	31	39,4
duben	471	30	15,7
květen	131	31	4,2
červen	71	30	2,4
červenec	55	31	1,8
srpen	55	31	1,8
září	107	30	3,6
říjen	614	31	19,8
listopad	1 249	30	41,6
prosinec	1 482	31	47,8

5 Konkrétní potenciální zdroje energie

5.1 Hydrotermální zdroje

Jednotlivé termální prameny hodnotím pomocí výpočtu jejich tepelného výkonu, kde P_p je tepelný výkon pramene [W], \dot{Q}_{Vp} je stálá vydatnost pramene [m^3/s], ρ_p hustota vody při dané teplotě [kg/m^3], $c_{p,p}$ měrná tepelná kapacita [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$], t_{pramen} je stálá teplota pramene [$^\circ\text{C}$] a $t_{okolí}$ je dlouhodobý průměr ročních teplot naměřených na nejbližších meteorologických stanicích v okolí pramenů [$^\circ\text{C}$].

$$P_p = \dot{Q}_{Vp} \cdot \rho_p \cdot c_{p,p} \cdot (t_{pramen} - t_{okolí}) \quad (5.1)$$

Tento výpočet volím z toho důvodu, že jsem nenašla žádnou konkrétní metodiku, která by nějakým způsobem hodnotila vhodnost a využitelnost pramene pro zvolené účely. Do tohoto výpočtu jsem se pokusila zahrnout více kritérií zhodnocení pramenů, tedy vydatnost i teplotu.

Konkrétní termální prameny v následujících tabulkách 2, 3 a 4 se nachází na území Zlínského, Plzeňského a Středočeského kraje a informace o nich jsou dostupné v [32]. Dlouhodobý průměr ročních teplot na nejbližších meteorologických stanicích čerpám z [33].

Tabulka 2: Potenciální zdroje geotermální energie ve Zlínském kraji

Název	Chropyňský pramen	Sv. Anna
Vydatnost pramene [m^3/s]	0,025	0,000 05
Teplota pramene [$^\circ\text{C}$]	23	12
Meteorologická stanice	Holešov	Zlín
Průměrná roční teplota okolí [$^\circ\text{C}$]	9,8	8,67
Tepelný výkon	$P_p = 0,025 \cdot 998,2 \cdot 4\,182 \cdot (23 - 9,8) = 1,38 \text{ MW} \quad (5.2)$	$P_p = 0,000\,05 \cdot 999,9 \cdot 4\,206 \cdot (12 - 8,67) = 0,7 \text{ kW} \quad (5.3)$

Tabulka 3: Potenciální zdroje geotermální energie v Plzeňském kraji

Název	Prusíkův pramen	Čiperka
Vydatnost pramene [m ³ /s]	0,003	0,000 1
Teplota pramene [°C]	9	11
Meteorologická stanice	Konstantinovy lázně	Vikovice
Průměrná roční teplota okolí [°C]	7,14	8,52
Tepelný výkon	$P_p = 0,003 \cdot 999,9 \cdot 4\,206 \cdot (9 - 7,14) = 23,47 \text{ kW} \quad (5.4)$	$P_p = 0,0001 \cdot 999,9 \cdot 4\,206 \cdot (11 - 8,52) = 1,04 \text{ kW} \quad (5.5)$

Tabulka 4: Potenciální zdroje geotermální energie ve Středočeském kraji

Název	Bublák	Nesvačilská vyvěračka
Vydatnost pramene [m ³ /s]	0,015	0,031
Teplota pramene [°C]	13	11
Meteorologická stanice	Jíloviště	Neumětely
Průměrná roční teplota okolí [°C]	8,62	8,66
Tepelný výkon	$P_p = 0,015 \cdot 999,7 \cdot 4\,195 \cdot (13 - 8,62) = 275,53 \text{ kW} \quad (5.6)$	$P_p = 0,031 \cdot 999,9 \cdot 4\,206 \cdot (11 - 8,66) = 305,07 \text{ kW} \quad (5.7)$

Tabulka 5: Shrnutí potenciálních zdrojů energie s vyhodnocením

Název	Využitelný tepelný výkon pramenů [kW]	Zhodnocení
Chropyňský pramen	1 380	Vhodný zdroj s ideálním tepelným výkonem
Sv. Anna	0,7	Zanedbatelný tepelný výkon
Prusíkův pramen	23,47	Nižší výkon, nevhodné složení pro zvolené účely
Čiperka	1,04	Velmi nízký tepelný výkon
Bublák	275,53	Nepříliš vhodné složení
Nesvačilská vyvěračka	305,07	Vhodný

5.2 Složení pramenů

Složení pramene při volbě vhodného zdroje nesmí být opomenuto. Nevhodná kvalita vody pro účely využití geotermální energie by mohla způsobit škody na výměníku, příp. na celém tepelném čerpadle, pokud by okruh od pramene k tepelnému čerpadlu nebyl oddělený.

Tabulka 6: Maximální hodnoty chemického složení vody [34]

Sloučenina	Množství
Chloridy	300 mg/l
Dusičnany	100 mg/l
Sírany	70 mg/l
Volná kyselina uhličitá	20 mg/l
Železo a mangan	3 mg/l
Kyslík	2 mg/l
pH	6-9

6 Návrh technického provedení zařízení pro využití tepla z geotermálního zdroje

Návrh technického provedení zařízení pro využití a odebrání tepla z geotermálního zdroje, tedy z termálního pramene, budu provádět pro jeden zvolený zdroj. Cílem návrhu je vybrat zařízení, které bude co možná ekonomicky nejvýhodnější a zároveň maximálně efektivní.

Jelikož se přímo u mnou zvoleného průmyslového areálu nenachází žádný vhodný termální pramen, pomyslně si pro účel návrhu přesunu daný podnik ke vhodnému termálnímu zdroji.

6.1 Volba vhodného zdroje energie a technického zařízení

Vybrala jsem pramen v Chropyni, protože je tento pramen výkonově ideální pro zásobování malého průmyslového areálu. Po větší část roku je jeho výkon vyšší, než je potřeba.

Pro návrh využiji dvě tepelná čerpadla voda/voda o výkonu 100 kW a 392 kW, jak jsem již zmínila výše.

Složení pramene Chropyně:

Tabulka 7: Chemické složení pramene Chropyně [35]

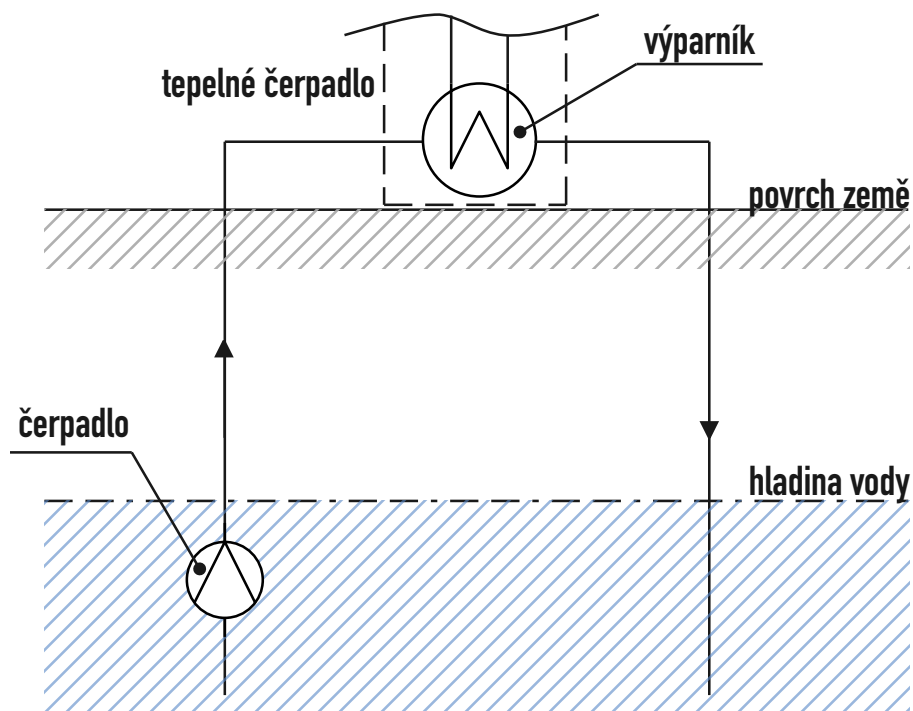
Sloučenina	Množství
Chloridy	993 mg/l
Dusičnany	0 mg/l
Železo a mangan	0,17 mg/l
Kyslík	2 mg/l
pH	7,36

Složení splňuje maximální přípustné hodnoty z Tabulky 6 až na zvýšený obsah chloridů.

Vzhledem ke složení pramene a vyššímu obsahu chloridů mohu využít ze tří možností odebrání energie z termálního pramene. Buď mohu oddělit okruh od geotermálního zdroje k tepelnému čerpadlu, aby se složením vody nepoškozoval výměník tepelného čerpadla, nebo mohu pro odebrání energie zvolit výměník z odolného materiálu. Takový výměník musí být vytvořen na míru a předpokládám, že toto řešení bude

příliš nákladné. Také mohou zvolit zapojení dalšího výměníku před tepelné čerpadlo, čímž bych zajistila ochranu výměníku tepelného čerpadla před usazováním minerálních látek. Toto řešení by však vyžadovalo další teplotní spád, což není z důvodu nižší teploty termálního pramene možné.

Volím tedy oddělený okruh od geotermálního zdroje k tepelnému čerpadlu. Při daném složení termálního pramene však musím vzít v úvahu potřebný teplotní spád mezi okruhem geotermálního zdroje k tepelnému čerpadlu a chladivovým okruhem.



Obrázek 18: Odběr tepelné energie zásobující tepelné čerpadlo, přepracováno dle [12]

Dalším důležitým aspektem při návrhu tepelného čerpadla je volba chladiva v chladivovém okruhu. Chladivo ovlivňuje efektivitu práce v daných podmínkách a je nositelem energie v tepelném čerpadle. Je nutné tedy volit chladivo, které je levné a zároveň nejméně zatěžuje životní prostředí.

Chladiva se dělí dle teplotních vlastností na azeotropní a zeotropní. Azeotropní se chovají jako čisté kapaliny. To znamená, že se během fázové přeměny jejich složení nemění. Oproti tomu zeotropní chladiva mají v průběhu fázové přeměny složení rozdílné. [7]

Chladiva a jejich dopad na životní prostředí se hodnotí dle ukazatele GWP (Global Warming Potential, Potenciál globálního oteplování), což je číslo, které říká, jaký vliv na oteplování Země má v atmosféře 1 kg daného chladiva v porovnání s 1 kg CO₂. [36]

Tabulka 8: Hodnota GWP chladiv [37]

Chladivo	GWP	ODP	cena (e-chladiva.cz)
R-22	1 810	0,05	omezeno EU od r. 2015
R410a	2 088	0	6 261 Kč/10 kg
R134a	1 430	0	3 528 Kč/10 kg
R-12	10 910	1	zakázáno

Dále je hodnocen také celkový dopad zařízení na skleníkový efekt TEWI (Total Equivalent Warming Impact). Tento ukazatel popisuje, jaké je celkové zatížení životního prostředí při provozu daného zařízení. Zohledňuje jak přímý, tak i nepřímý skleníkový efekt a číslo GWP. [36]

Poškození ozonové vrstvy se hodnotí koeficientem ODP (Ozone Depletion Potential). Základem je freon R11, které má koeficient ODP 1. Kolikrát je koeficient ODP daného chladiva menší než 1, tolikrát má nižší vliv na poškození ozonové vrstvy. [11]

Po zhodnocení všech faktorů volím chladivo R134a, které je levné, v dnešní době velmi dostupné a celkem ekologicky nezávadné.

Chladivo R134a, chemická značka $C_2H_2F_4$, je bezchlorové chladivo typu HFC, což znamená, že obsahuje v molekule atomy fluoru. Není jedovaté ani hořlavé, výbušné či agresivní vůči kovům. Je bezbarvé a azeotropní. Může být alternativou chladiv R-22, nebo R-12. [11]

Po volbě chladiva musím určit hodnotu požadovaných teplot na vstupu a výstupu tepelného čerpadla. Na vstupu do tepelného čerpadla je teplota zdroje energie, tedy teplota pramene v Chropyni, 23 °C. Výstupní teplotou z tepelného čerpadla musí být teplota alespoň 60 °C, aby se zajistila dostatečná hodnota teploty pro vytápění a ohřev pitné vody pro hygienické účely.

V dalších výpočtech budu uvažovat i zapojení chladicí funkce tepelného čerpadla a využití akumulární nádrže, která bude s tepelným čerpadlem úzce spolupracovat.

6.2 Tepelná čerpadla

6.2.1 Výběr vhodných tepelných čerpadel

Tepelné čerpadlo č. 1 bude v provozu po celý rok a musí mít výkon minimálně 100 kW. Jedním z možných modelů vhodného tepelného čerpadla je tepelné čerpadlo voda/voda Alpha-InnoTec WWP 1100X. Pro teploty 10 °C/50 °C a při zapojení dvou kompresorů má topný výkon 105,5 kW a topný faktor COP 3,8. [38]

Tepelné čerpadlo č. 2, jenž bude v provozu jen v období topné sezóny, je tepelné čerpadlo voda/voda OILON Chillheat P220 SU HC R134a.

Tabulka 9: Tepelné čerpadlo č.2 OILON Chillheat P220

Typ tepelného čerpadla	P220 SU HC R134a
Topný výkon	392 kW
Chladicí výkon	290 kW
Spotřeba elektrické energie	102 kW
COP	3,83
Teplota na vstupu do TČ	23 °C
Teplota na výstupu z TČ	60 °C

V tabulce jsou shrnuty informace, které mi poskytl výrobce OILON. V případě tepelného čerpadla č. 1 jsem informace od výrobce pro mé požadované parametry nedostala, proto při následujících výpočtech vycházím ze vstupních parametrů tepelného čerpadla č. 2.

6.2.2 Výpočet stavových veličin okruhů tepelných čerpadel

Po volbě dvou vhodných tepelných čerpadel voda/voda vypočítám stavové veličiny v chladivovém okruhu. Z informací od výrobce tepelného čerpadla č. 2 získávám hodnoty teplot na vstupu do výparníku v okruhu od geotermálního zdroje k tepelnému čerpadlu a také o výstupu z kondenzátoru v sekundárním okruhu.

Vzhledem ke skutečnosti, že jsem pro zásobování teplem průmyslového areálu zvolila dvě tepelná čerpadla, i tepelné čerpadlo č. 1 bude mít stejné počáteční podmínky výpočtu.

Okruh od geotermálního zdroje k tepelnému čerpadlu:

$$t_{IN,I} = 23 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6.1)$$

$$t_{OUT,I} = 15 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6.2)$$

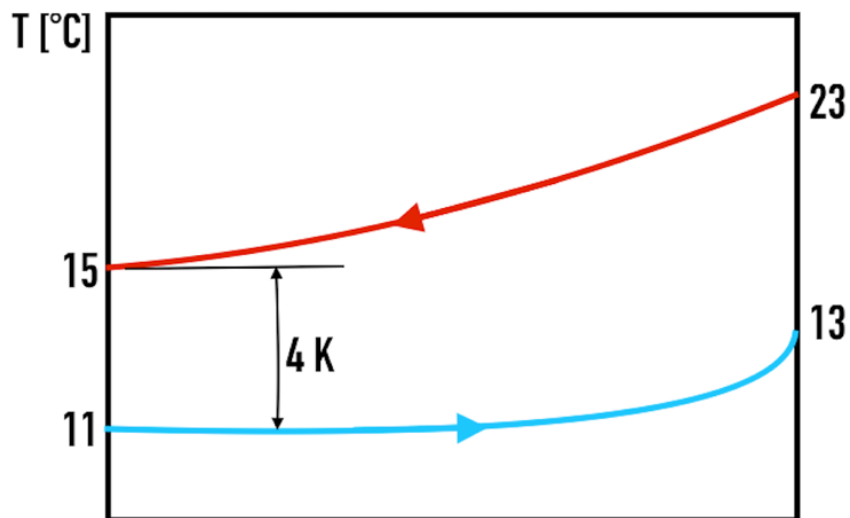
Sekundární okruh (vytápění a ohřev pitné vody pro hygienické účely):

$$t_{IN,II} = 40 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6.3)$$

$$t_{OUT,II} = 60 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6.4)$$

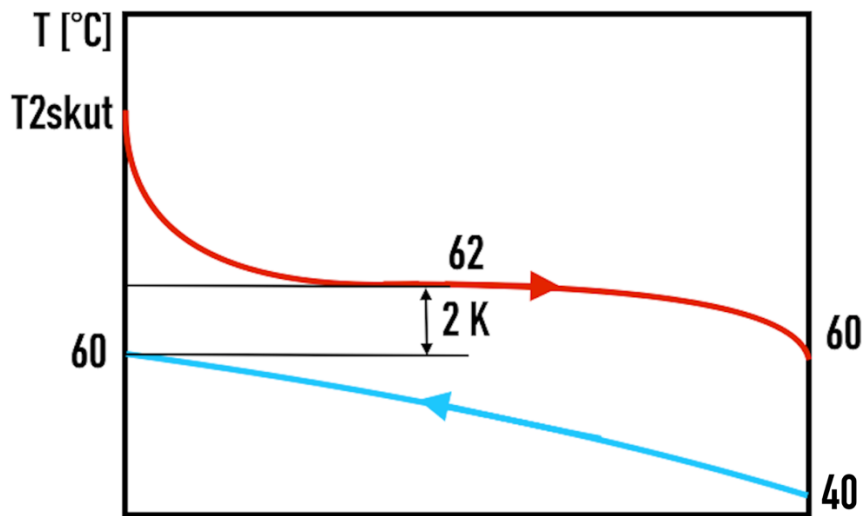
Ze znalosti průběhu teplot na výměníku s protiproudým zapojením a dle [17] jsem určila teploty chladivového okruhu na výparníku a kondenzátoru.

Výparník:



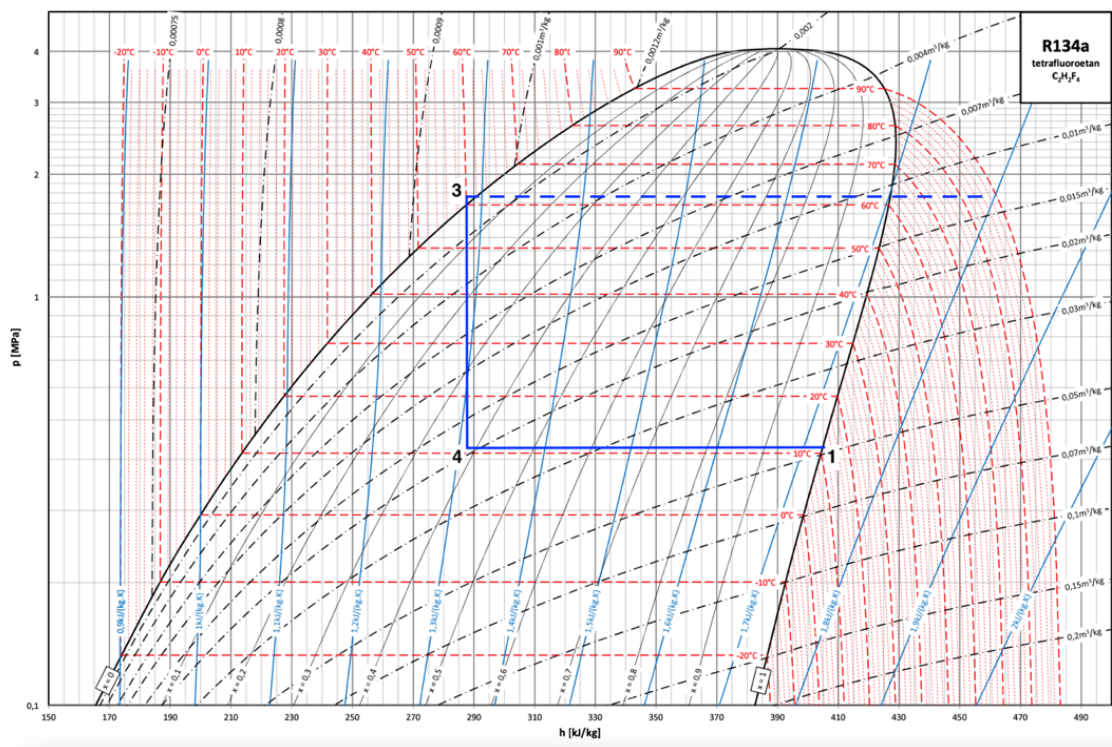
Obrázek 19: Průběh teplot na výparníku tepelného čerpadla

Kondenzátor:



Obrázek 20: Průběh teplot na kondenzátoru tepelného čerpadla

V souvislosti s určením jednotlivých teplot v oběhu zakreslují body 1, 3 a 4 do p-h diagramu. Tak získávám jejich entalpie a entropie.



Obrázek 21: p-h diagram pro určení bodu 2

Tabulka 10: Tabulka hodnot stavových veličin před určením bodu 2

Bod oběhu i	$p_{i,vyt.} [MPa]$	$h_{i,vyt.} [kJ \cdot kg^{-1}]$	$s_{i,vyt.} [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	$T_{i,vyt.} [^{\circ}C]$
1	0,458	408,3	1,729	13
2	1,764			
2skut	1,764			
3	1,764	287,9	1,290	60
4	0,458	287,9	1,310	11

Výparník:

Protože jsem zvolila oddělený okruh od geotermálního zdroje k tepelnému čerpadlu, stanovila tepelný spád na výparníku o 2 K více, než je dáno dle [17]. Přehřátí par chladiva nad mez sytosti volím 2 K.

$$\dot{Q}_{V,vyt.} = \dot{m}_{vyt.} \cdot (h_{1,vyt.} - h_{4,vyt.}) \quad (6.5)$$

Kondenzátor:

Na kondenzátoru volím podchlazení kapaliny na 2 K. Hodnotu teploty předchlazení přehřátých par určím z dalších výpočtů.

$$\dot{Q}_{K,vyt.} = \dot{m}_{vyt.} \cdot (h_{2,vyt.} - h_{3,vyt.}) \quad (6.6)$$

Expanzní ventil:

V expanzním ventilu probíhá izoentalpické škrcení páry, mohu tedy stanovit, že entalpie před a za expanzním ventilem se sobě rovnají.

$$h_{3,vyt.} = h_{4,vyt.} \quad (6.7)$$

Kompresor:

Na kompresoru probíhá přibližně adiabatická komprese. Nejprve vypočítám stavové veličiny pro bod 2 ideálního oběhu. Poté pomocí účinnosti pístového kompresoru určím hodnoty skutečného bodu 2.

$$\frac{T_{2,vyt.}}{T_{1,vyt.}} = \left(\frac{p_{2,vyt.}}{p_{1,vyt.}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (6.8)$$

$$\kappa = 1,16 \quad [39] (6.9)$$

$$\begin{aligned} T_{2,vyt.} &= T_{1,vyt.} \cdot \left(\frac{p_{2,vyt.}}{p_{1,vyt.}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 286,15 \cdot \left(\frac{1,764}{0,458} \right)^{\frac{1,16-1}{1,16}} \\ &= 344,64 \text{ K} = 71,5 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (6.10)$$

$$h_{2,vyt.} = 438 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \quad (6.11)$$

Stavové veličiny budou pro obě tepelná čerpadla stejné. Oběhy se budou lišit pouze hmotnostním tokem, výkony na jejich jednotlivých částech a skutečným bodem 2.

Tepelné čerpadlo č. 1:

$$\eta_{ie,1} = 72 \% = 0,72 \quad [7], [40] \quad (6.12)$$

$$\eta_{ie,1} = \frac{h_{2,vyt.} - h_{1,vyt.}}{h_{2skut,vyt.,1} - h_{1,vyt.}} \quad [41] \quad (6.13)$$

$$\begin{aligned} h_{2skut,vyt.,1} &= \frac{(h_{2,vyt.} - h_{1,vyt.}) + (\eta_{ie,1} \cdot h_{1,vyt.})}{\eta_{ie,1}} \\ &= \frac{(438 - 408,3) + (0,72 \cdot 408,3)}{0,72} \\ &= 449,55 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \end{aligned} \quad (6.14)$$

Tabulka 11: Stavové veličiny TČ č.1 pro vytápění

Bod oběhu <i>i</i>	$p_{i,vyt.,1} [MPa]$	$h_{i,vyt.,1} [kJ \cdot kg^{-1}]$	$s_{i,vyt.,1} [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	$T_{i,vyt.,1} [^{\circ}C]$
1	0,458	408,3	1,730	13
2	1,764	438,0	1,730	71,5
2skut	1,764	449,6	1,768	80
3	1,764	287,9	1,290	60
4	0,458	287,9	1,310	11

Požadovaný výkon na tepelném čerpadle č. 1 je 100 kW.

$$\dot{Q}_{K,vyt.,1} = \dot{m}_{vyt.,1} \cdot (h_{2,vyt.} - h_{3,vyt.}) = 100 \text{ kW} \quad (6.15)$$

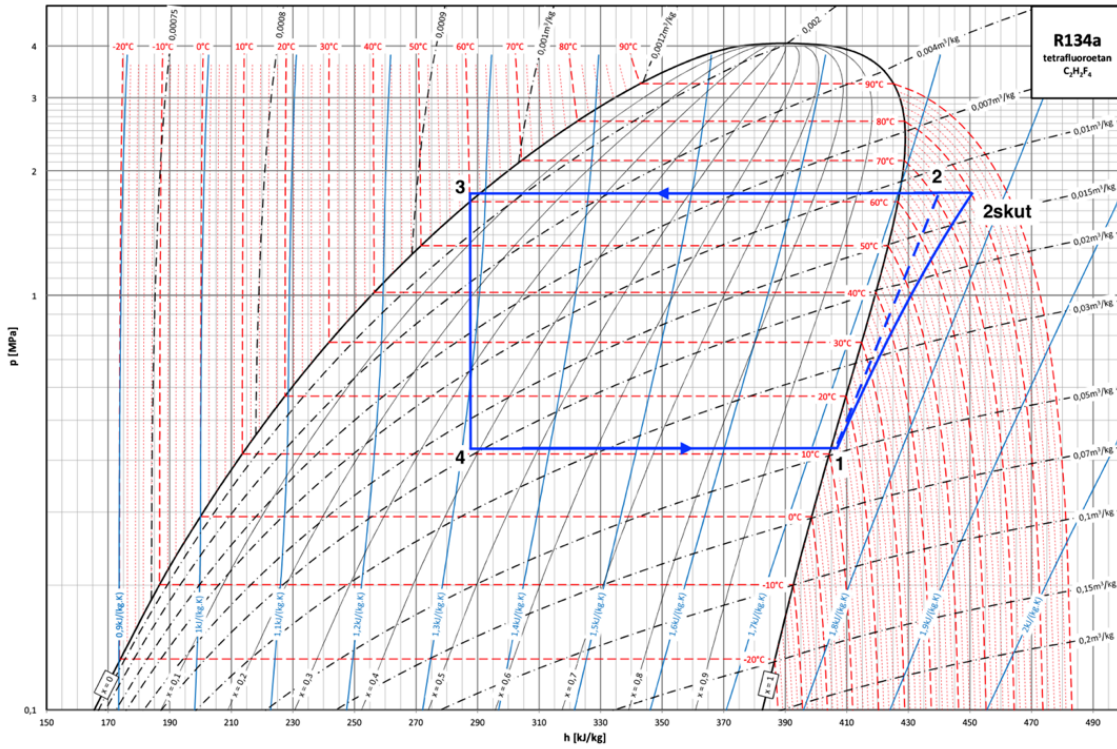
$$\dot{m}_{vyt.,1} = \frac{\dot{Q}_{K,1}}{h_{2,vyt.} - h_{3,vyt.}} = \frac{100}{438 - 287,9} = 0,67 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad (6.16)$$

$$\begin{aligned} P_{K,vyt.,1} &= \dot{m}_{vyt.,1} \cdot (h_{2,vyt.} - h_{1,vyt.}) \\ &= 0,67 \cdot (438 - 408,3) \\ &= 19,9 \text{ kW} \end{aligned} \quad (6.17)$$

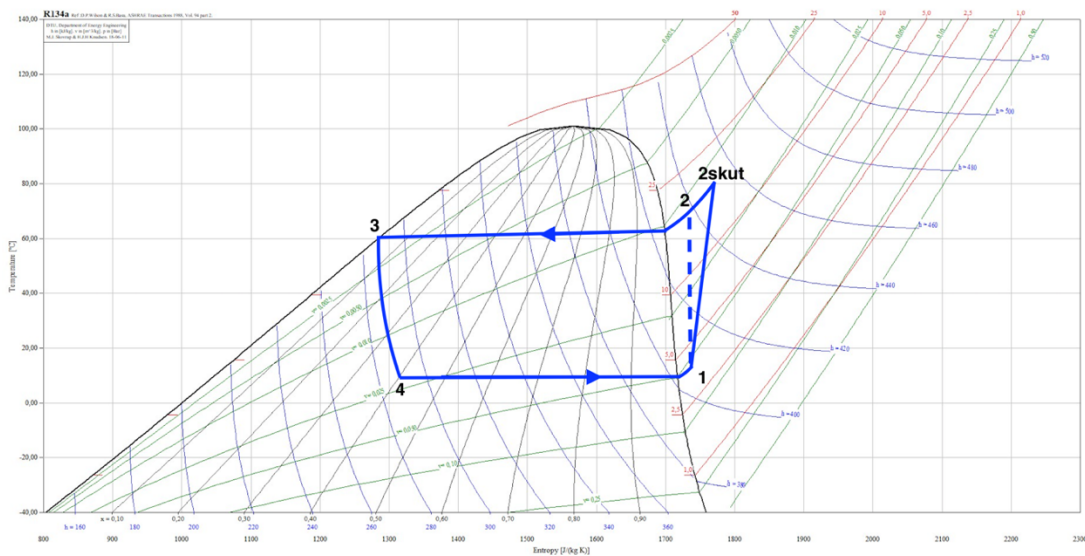
$$\begin{aligned} P_{K,skut,vyt.,1} &= \dot{m} \cdot (h_{2skut,vyt.,1} - h_{1,vyt.}) \\ &= 0,67 \cdot (449,6 - 408,3) = 27,7 \text{ kW} \end{aligned} \quad (6.18)$$

$$\dot{Q}_{K,vyt.,1} = \dot{Q}_{V,vyt.,1} + P_{K,skut,vyt.,1} \quad (6.19)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{V,vyt.,1} &= \dot{Q}_{K,vyt.,1} - P_{K,skut,vyt.,1} = 100 - 27,7 \\ &= 72,3 \text{ kW} \end{aligned} \quad (6.20)$$



Obrázek 22: p-h diagram TČ č.1 pro vytápění



Obrázek 23: T-s diagram TČ č.1 pro vytápění

Tepelné čerpadlo č. 2:

Jelikož má tepelné čerpadlo č. 2 větší výkon, lze očekávat i účinnost jeho kompresoru vyšší. Účinnost závisí především na typu kompresoru, velikosti či otáčkách. Volím tedy 78 %.

$$\eta_{ie,2} = 78 \% = 0,78 \quad [7], [40] \quad (6.21)$$

$$\eta_{ie,2} = \frac{h_{2,vyt.} - h_{1,vyt.}}{h_{2skut,vyt.,2} - h_{1,vyt.}} \quad [41] \quad (6.22)$$

$$\begin{aligned} h_{2skut,vyt.,2} &= \frac{(h_{2,vyt.} - h_{1,vyt.}) + (\eta_{ie,2} \cdot h_{1,vyt.})}{\eta_{ie,2}} \\ &= \frac{(438 - 408,3) + (0,78 \cdot 408,3)}{0,78} \\ &= 446,38 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \end{aligned} \quad (6.23)$$

Tabulka 12: Stavové veličiny tepelného čerpadla č.2 pro vytápění

Bod oběhu <i>i</i>	$p_{i,vyt.,2}$ [MPa]	$h_{i,vyt.,2}$ [kJ · kg ⁻¹]	$s_{i,vyt.,2}$ [kJ · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	$T_{i,vyt.,2}$ [°C]
1	0,458	408,3	1,730	13
2	1,764	438,0	1,730	71,5
2skut	1,764	446,38	1,753	76
3	1,764	287,9	1,290	60
4	0,458	287,9	1,310	11

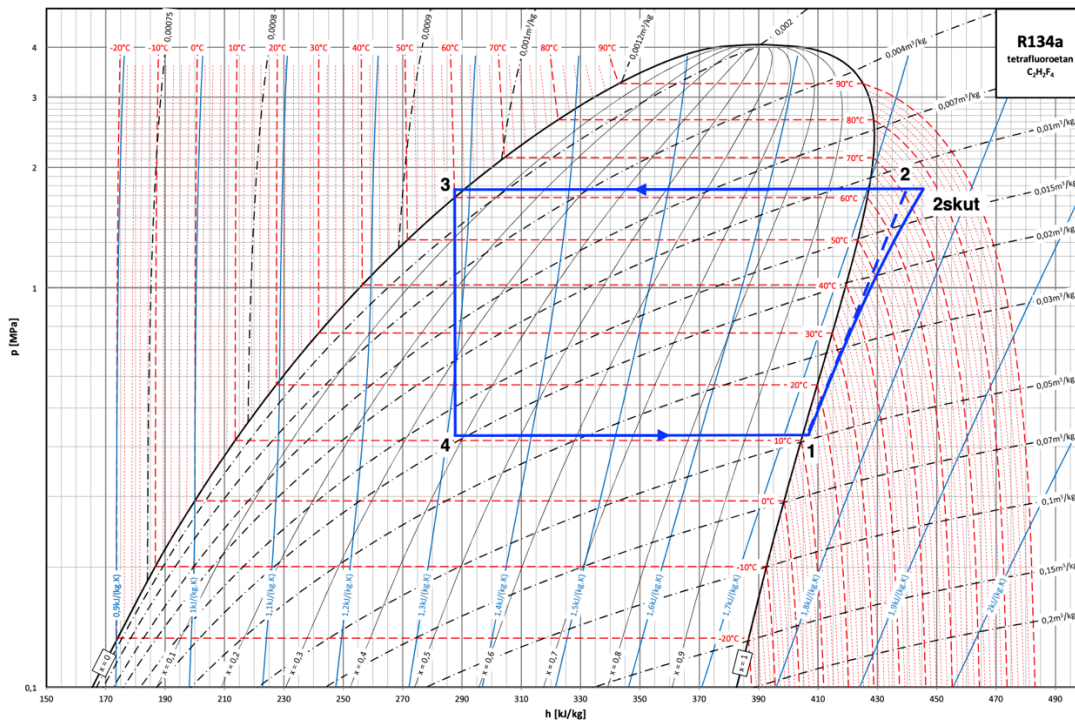
$$\begin{aligned} \dot{m}_{vyt.,2} &= \frac{\dot{Q}_{V,vyt.,2}}{h_{1,vyt.} - h_{4,vyt.}} = \frac{290}{408,3 - 287,9} \\ &= 2,41 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned} \quad (6.24)$$

$$\begin{aligned} P_{K,vyt.,2} &= \dot{m}_{vyt.,2} \cdot (h_{2,vyt.} - h_{1,vyt.}) \\ &= 2,41 \cdot (438 - 408,3) = 71,6 \text{ kW} \end{aligned} \quad (6.25)$$

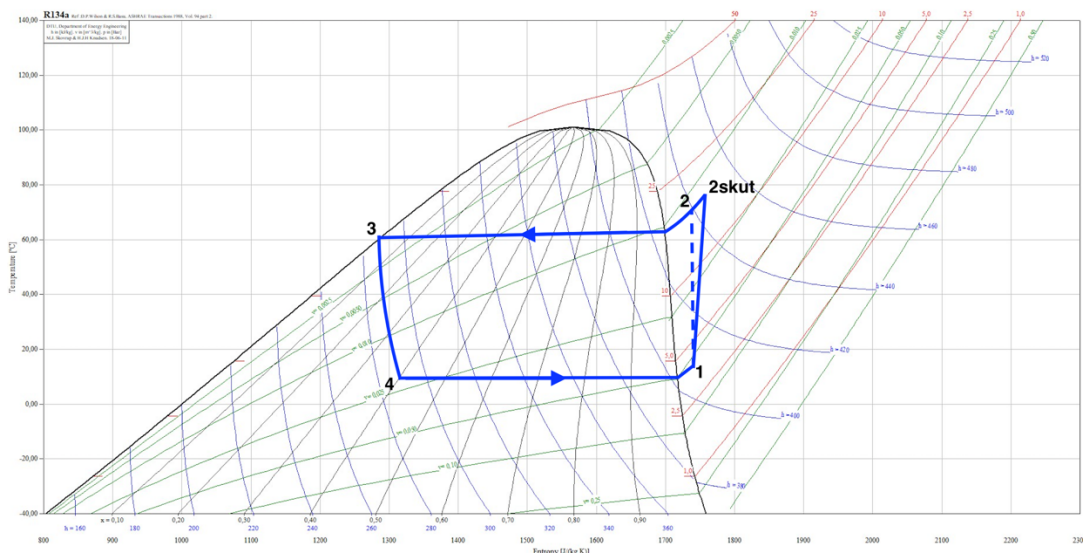
$$\begin{aligned} P_{K,skut,vyt.,2} &= \dot{m}_{vyt.,2} \cdot (h_{2skut,vyt.,2} - h_{1,vyt.}) \\ &= 2,41 \cdot (446,38 - 408,3) = 91,8 \text{ kW} \end{aligned} \quad (6.26)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{K,vyt.,2} &= \dot{Q}_{V,vyt.,2} + P_{K,skut,vyt.,2} \\ &= 290 + 91,8 = 381,8 \text{ kW} \end{aligned} \quad (6.27)$$

Výrobce udává hodnotu příkonu kompresoru 102 kW. Rozdíl výpočtu a hodnoty od výrobce může být způsoben např. nepřilíš přesným odečtením hodnot entalpií z p-h diagramu R134a a tabulek, nebo nesprávným určením účinnosti kompresoru.



Obrázek 24: p-h diagram TČ č.2 pro vytápění



Obrázek 25: T-s diagram TČ č.2 pro vytápění

6.2.3 Základní bilance provozu

Pro jednotlivé měsíce lze na základě průměrných naměřených hodnot spotřeby tepla v závodu v posledních letech při celodenním provozu tepelných čerpadel očekávat následující dodávky tepla z tepelných čerpadel za 24 hodin:

Tabulka 13: Očekávané dodávky energie z TČ za 24 hodin po dobu 1 roku

měsíc	Průměrná denní spotřeba tepla v areálu [kWh]	Dodaná energie z TČ [kWh]		Celková dodaná energie z TČ [kWh]	Potřebná energie z dalšího zdroje [kWh]
		TČ1	TČ2	TČ 1+2	
leden	18 083	2 400	9 163	11 563	6 520
únor	15 361	2 400	9 163	11 563	3 798
březen	10 945	2 400	8 545	10 945	-
duben	4 361	2 400	1 961	4 361	-
květen	1 167	1 167	-	1 167	-
červen	667	667	-	667	-
červenec	500	500	-	500	-
srpen	500	500	-	500	-
září	1 000	1 000	-	1 000	-
říjen	5 500	2 400	3 100	5 500	-
listopad	11 556	2 400	9 156	11 556	-
prosinec	13 278	2 400	9 163	11 563	1 715

V tabulce 10 počítám předpokládané dodávky tepla z TČ za 24 hodin. Tepelné čerpadlo č.1 dodává energii 2 400 kWh a tepelné čerpadlo č.2 dodává energii 9 163 kWh. Ve třetím a čtvrtém sloupci Tabulky 13 je znázorněno, ve kterých měsících bude dané TČ

v provozu a kolik energie by mělo systému dodávat. Poslední sloupec Tabulky 13 pak udává hodnotu potřebné energie z dalšího zdroje, která je nezbytná k úplnému pokrytí spotřeby tepla areálu.

6.2.4 Topný faktor COP tepelných čerpadel

Pro výpočet topného faktoru existuje několik různých metodik. Ty se liší tím, za jakých podmínek tepelné čerpadlo pracuje a s jakými ukazateli provozu se počítá. V této práci počítám s teplotami a s výkonem a příkonem. COP se v tomto případě pohybuje od 3,6 a 4,2 do 9.

Tepelné čerpadlo č.1:

$$COP_1 = \frac{T_{3,vyt.}}{T_{3,vyt.} - T_{IN,I}} = \frac{333,15 \text{ K}}{333,15 \text{ K} - 296,15 \text{ K}} = 9 \quad [11] \quad (6.28)$$

$$COP_1 = \frac{\dot{Q}_{K,vyt.,1} + P_{K,skut,vyt.,1}}{P_{K,skut,vyt.,1}} \cong \frac{100 \text{ kW} + 27,7 \text{ kW}}{27,7 \text{ kW}} \quad [11] \quad (6.29)$$

$$= 4,61$$

$$COP_1 = \frac{\dot{Q}_{K,vyt.,1}}{P_{K,skut,vyt.,1}} \cong \frac{100 \text{ kW}}{27,7 \text{ kW}} = 3,61 \quad [42] \quad (6.30)$$

Tepelné čerpadlo č.2:

$$COP_2 = \frac{T_{3,vyt.}}{T_{3,vyt.} - T_{IN,I}} = \frac{333,15 \text{ K}}{333,15 \text{ K} - 296,15 \text{ K}} = 9 \quad [11] \quad (6.31)$$

$$COP_2 = \frac{\dot{Q}_{K,vyt.,2} + P_{K,skut,vyt.,2}}{P_{K,skut,vyt.,2}} \cong \frac{381,8 \text{ kW} + 91,8 \text{ kW}}{91,8 \text{ kW}} \quad [11] \quad (6.32)$$

$$= 5,15$$

$$COP_2 = \frac{\dot{Q}_{K,vyt.,2}}{P_{K,skut,vyt.,2}} \cong \frac{381,8 \text{ kW}}{91,8 \text{ kW}} = 4,16 \quad [42] \quad (6.33)$$

$$COP_2 (OILON) = 3,84 \quad (6.34)$$

Provedla jsem porovnání výpočtů dle různých metodik s hodnotu stanovenou výrobcem tepelného čerpadla č. 2 a výpočet dle [10] je nejpřesnější.

6.2.5 Chladicí okruhy tepelných čerpadel

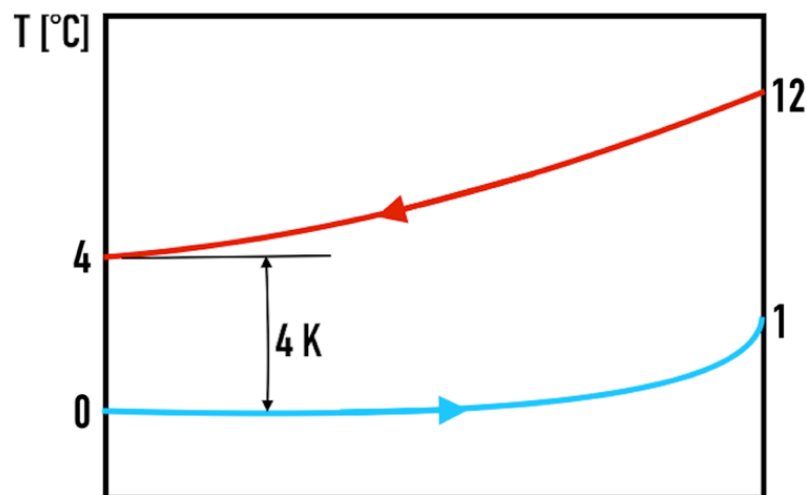
V případě průmyslového areálu bych volila aktivní způsob chlazení, jelikož si myslím, že tepelné zisky areálu budou vysoké – sluneční radiace, počet lidí uvnitř, výrobní procesy. Teploty v letních měsících dosahují až 45 °C na pracovištích. [31]

Při pasivním chlazení není zaručeno dosažení požadované vnitřní teploty, protože v budovách areálu nemusí být například správné a dostatečné základní stínící prostředky (žaluzie, závěsy).

Provozní parametry chladicího okruhu jsem stanovila na 4/12 °C.

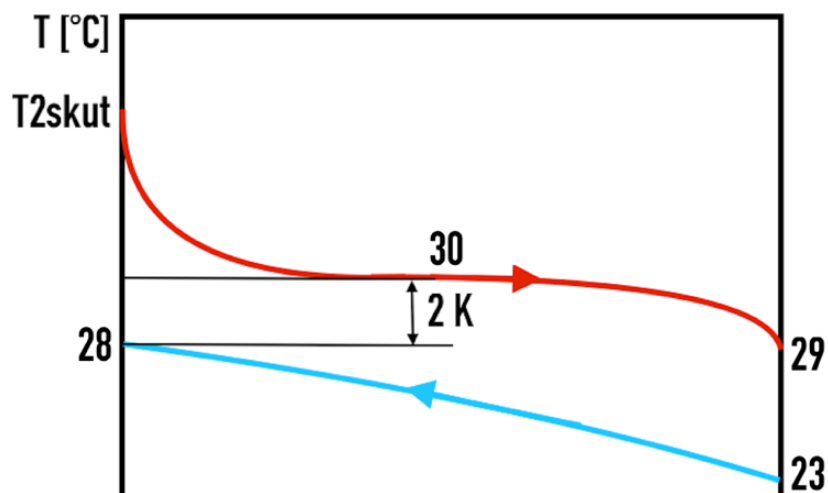
Ze znalosti teplotních průběhů na výparníku a kondenzátoru jsem dle [9] určila zbylé hodnoty potřebné pro další výpočet.

Výparník:

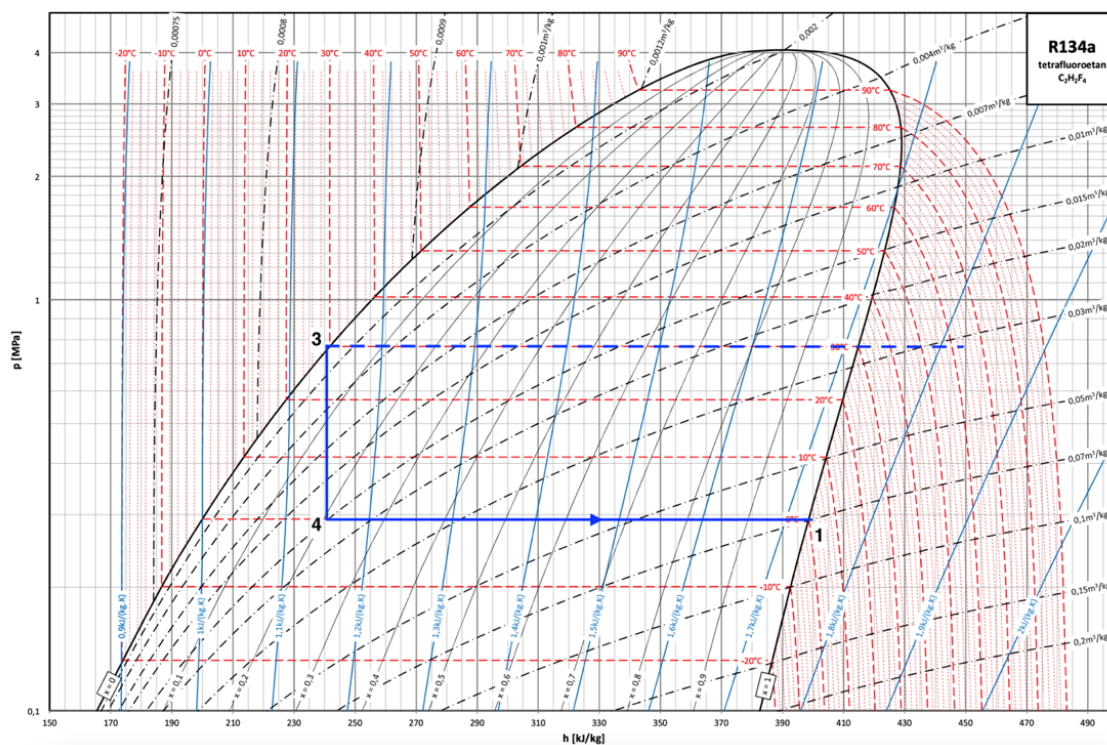


Obrázek 26: Průběh teplot na výparníku pro případ chlazení

Kondenzátor:



Obrázek 27: Průběh teplot na kondenzátoru pro případ chlazení



Obrázek 28: p-h diagram pro určení bodu 2 při chlazení

Nejprve jsem z p-h diagramu odečetla hodnotu entalpie bodu 1, který leží v oblasti přehřáté páry, má teplotu 1 °C a nachází se na izobaře 0,293 MPa.

$$h_{1,chl.} = 399 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \quad (6.35)$$

Dále bylo možné odečíst entalpii bodu 3 a 4, jelikož mezi nimi probíhá izoentaltické škrčení páry. Bod 3 se nachází na izobaře 0,771 MPa.

$$h_{3,chl.} = h_{4,chl.} = 242 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \quad (6.36)$$

Tabulka 14: Stavové veličiny před určením bodu 2 v případě chlazení

Bod oběhu <i>i</i>	$p_{i,chl.}$ [MPa]	$h_{i,chl.}$ [kJ · kg ⁻¹]	$s_{i,chl.}$ [kJ · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	$T_{i,chl.}$ [°C]
1	0,293	399	1,727	1
2	0,771			
2skut	0,771			
3	0,771	242	1,139	29
4	0,293	242	1,005	0

$$\frac{T_{2,chl.}}{T_{1,chl.}} = \left(\frac{p_{2,chl.}}{p_{1,chl.}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (6.37)$$

$$\kappa = 1,16 \quad [39] \quad (6.38)$$

$$\begin{aligned} T_{2,chl.} &= T_{1,chl.} \cdot \left(\frac{p_{2,chl.}}{p_{1,chl.}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 274,15 \cdot \left(\frac{0,771}{0,293} \right)^{\frac{1,16-1}{1,16}} \\ &= 313,29 \text{ K} = 40,1 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (6.39)$$

$$h_{2,chl.} = 425 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \quad (6.40)$$

Tepelné čerpadlo č.1:

$$\dot{Q}_{V,chl.,1} = \dot{m}_{chl.,1} \cdot (h_{1,chl.} - h_{4,chl.}) = 72 \text{ kW} \quad (6.41)$$

$$\dot{m}_{chl.,1} = \frac{\dot{Q}_{V,chl.,1}}{h_{1,chl.} - h_{4,chl.}} = \frac{72}{399 - 242} = 0,46 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad (6.42)$$

$$\eta_{ie,1} = 72 \% = 0,72 \quad (6.43)$$

$$\eta_{ie,1} = \frac{h_{2,chl.} - h_{1,chl.}}{h_{2skut,chl.,1} - h_{1,chl.}} \quad [41] \quad (6.44)$$

$$\begin{aligned} h_{2skut,chl.,1} &= \frac{(h_{2,chl.} - h_{1,chl.}) + (\eta_{ie,1} \cdot h_{1,chl.})}{\eta_{ie,1}} \\ &= \frac{(425 - 399) + (0,72 \cdot 399)}{0,72} \\ &= 435,1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \end{aligned} \quad (6.45)$$

Tabulka 15: Stavové veličiny chladicího oběhu TČ č.1

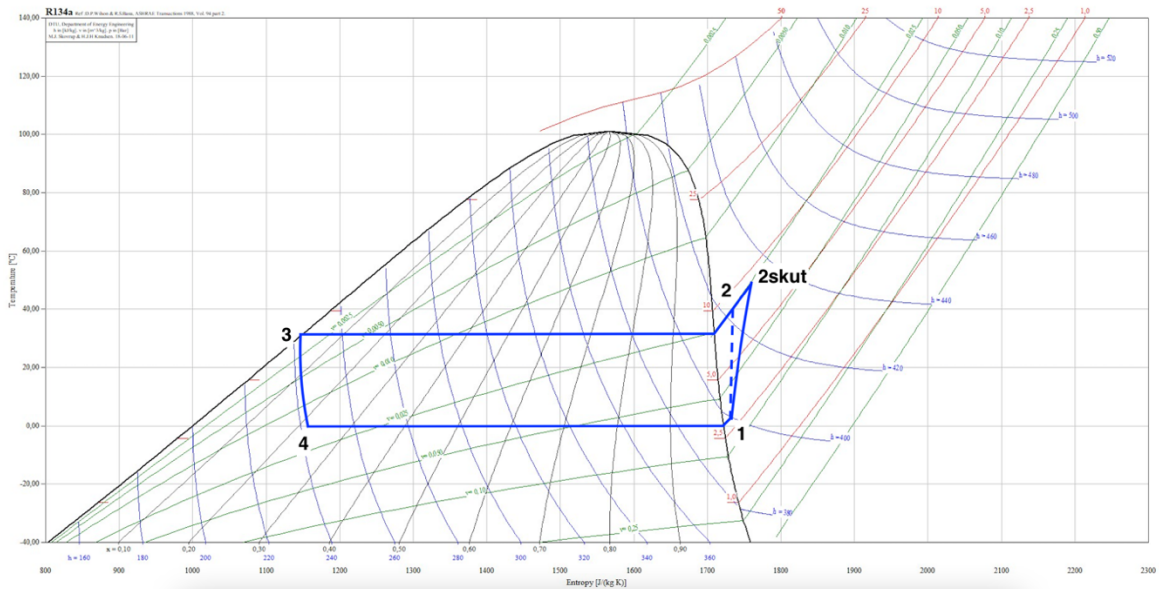
Bod oběhu <i>i</i>	$p_{i,chl.,1} [\text{MPa}]$	$h_{i,chl.,1} [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$	$s_{i,chl.,1} [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$	$T_{i,chl.,1} [^{\circ}\text{C}]$
1	0,293	399	1,727	1
2	0,771	425	1,752	40,1
2skut	0,771	435,1	1,784	50
3	0,771	242	1,139	29
4	0,293	242	1,145	0

$$\begin{aligned} P_{K,chl.,1} &= \dot{m}_{chl.,1} \cdot (h_{2,chl.} - h_{1,chl.}) \\ &= 0,46 \cdot (425 - 399) = 11,96 \text{ kW} \end{aligned} \quad (6.46)$$

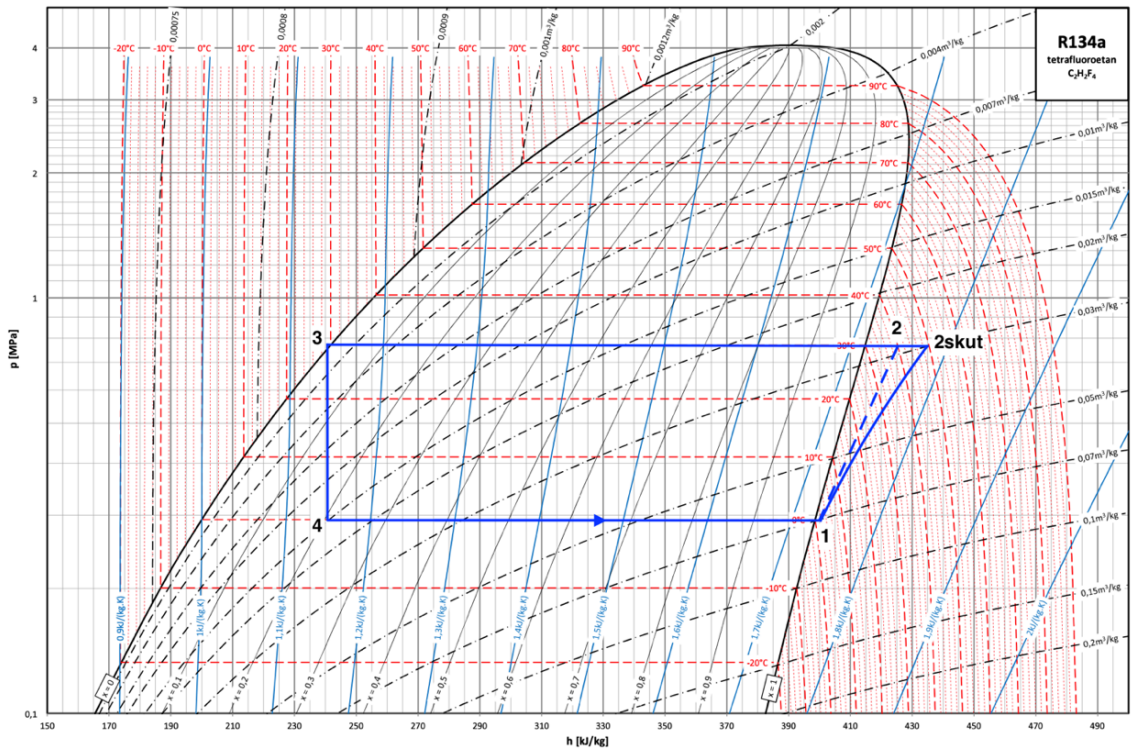
$$\begin{aligned} P_{K,skut} &= \dot{m}_{chl.,1} \cdot (h_{2skut} - h_{1,chl.}) \\ &= 0,46 \cdot (432,3 - 399) = 15,3 \text{ kW} \end{aligned} \quad (6.47)$$

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{K,chl,1} &= \dot{Q}_{v,chl,1} + P_{K,skut,chl,1} \\ &= 72 + 15,32 = 87,3 \text{ kW}\end{aligned}\tag{6.48}$$

$$\varepsilon_{ch,1} = \frac{\dot{Q}_{v,chl,1}}{P_{K,skut,chl,1}} \cong \frac{87,3 \text{ kW}}{15,3 \text{ kW}} = 5,71 \tag{42] (6.49)}$$



Obrázek 29: T-s diagram chladicího oběhu TČ č.1



Obrázek 30: p-h diagram chladicího oběhu TČ č.1

Tepelné čerpadlo č.2:

$$\dot{Q}_{V,chl.,2} = \dot{m}_{chl.,2} \cdot (h_{1,chl.} - h_{4,chl.}) = 290 \text{ kW} \quad (6.50)$$

$$\dot{m}_{chl.,2} = \frac{\dot{Q}_{V,chl.,2}}{h_{1,chl.} - h_{4,chl.}} = \frac{290}{399 - 242} = 1,85 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad (6.51)$$

$$\eta_{ie,2} = 78 \% = 0,78 \quad (6.52)$$

$$\eta_{ie,2} = \frac{h_{2,chl.} - h_{1,chl.}}{h_{2skut,chl.,2} - h_{1,chl.}} \quad [41] \quad (6.53)$$

$$\begin{aligned} h_{2skut,chl.,2} &= \frac{(h_{2,chl.} - h_{1,chl.}) + (\eta_{ie,2} \cdot h_{1,chl.})}{\eta_{ie,2}} \\ &= \frac{(425 - 399) + (0,78 \cdot 399)}{0,78} \\ &= 432,3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \end{aligned} \quad (6.54)$$

Tabulka 16: Stavové veličiny chladicího oběhu TČ č.2

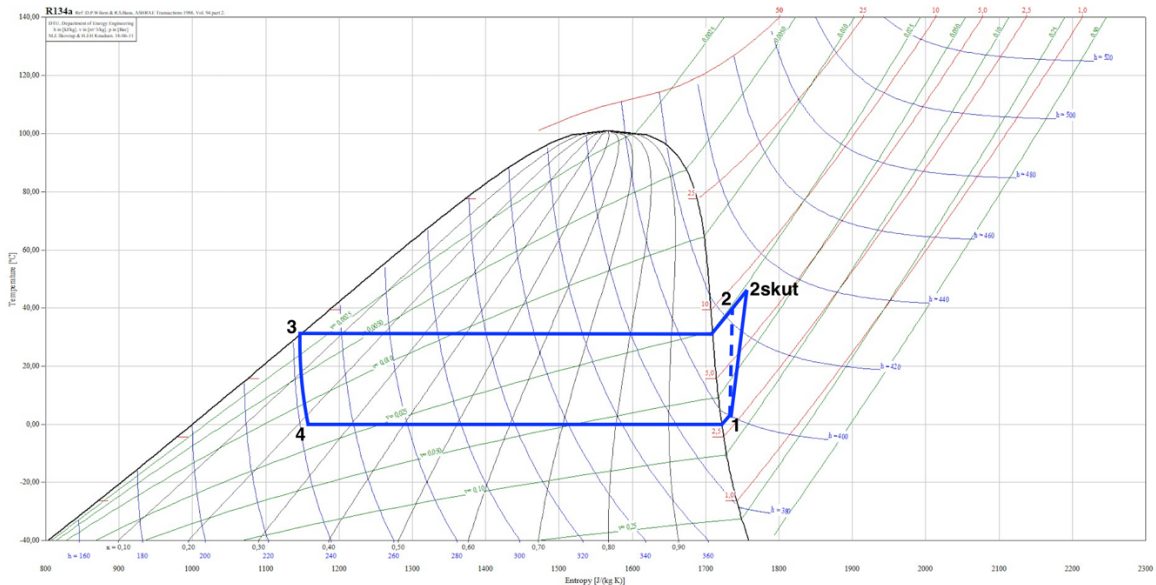
Bod oběhu <i>i</i>	$p_{i,chl.,2}$ [MPa]	$h_{i,chl.,2}$ [kJ · kg ⁻¹]	$s_{i,chl.,2}$ [kJ · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	$T_{i,chl.,2}$ [°C]
1	0,293	399	1,727	1
2	0,771	425	1,752	40,1
2skut	0,771	432,3	1,763	46
3	0,771	242	1,139	29
4	0,293	242	1,145	0

$$\begin{aligned} P_{K,chl.,2} &= \dot{m}_{chl.,2} \cdot (h_{2,chl.} - h_{1,chl.}) \\ &= 1,85 \cdot (425 - 399) = 48,1 \text{ kW} \end{aligned} \quad (6.55)$$

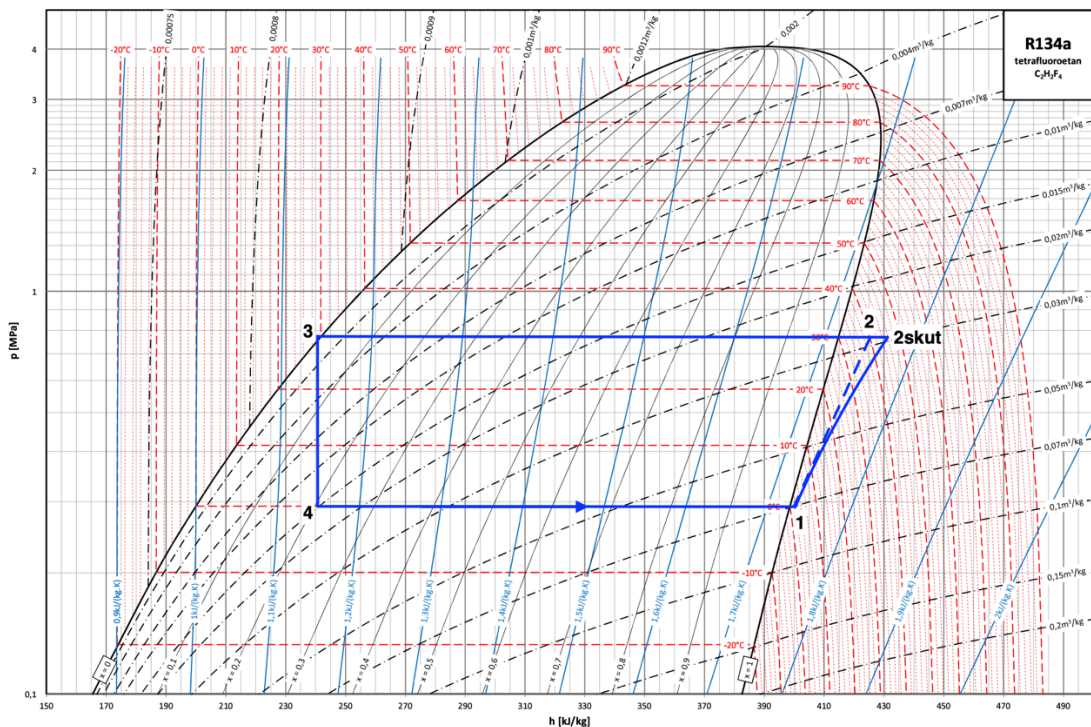
$$\begin{aligned} P_{K,skut,chl.,2} &= \dot{m}_{chl.,2} \cdot (h_{2skut,chl.} - h_{1,chl.}) \\ &= 1,85 \cdot (435,1 - 399) = 66,8 \text{ kW} \end{aligned} \quad (6.56)$$

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{K,chl,2} &= \dot{Q}_{V,chl,2} + P_{K,skut,chl,2} \\ &= 290 + 66,8 = 356,8 \text{ kW}\end{aligned}\quad (6.57)$$

$$\varepsilon_{ch,2} = \frac{\dot{Q}_{V,chl,2}}{P_{K,skut,chl,2}} \cong \frac{290 \text{ kW}}{66,8 \text{ kW}} = 4,34 \quad [42] (6.58)$$



Obrázek 31: T-s diagram chladicího okruhu TČ č.2



Obrázek 32: p-h diagram chladicího okruhu TČ č.2

6.2.6 Akumulační nádrž

Akumulační nádrž bude v provozu v případě, pokud bude nutné pokrýt spotřebu při denní odběrové špičce, tedy v období s nejvyšší denní spotřebou energie.

Při zapojení tepelného čerpadla s akumulací mohou nastat tři situace.

První situací je, že tepelné čerpadlo bude v provozu společně s akumulací a to tehdy, pokud bude spotřeba areálu vyšší, než je výkon tepelného čerpadla. V případě, že spotřeba areálu přes den klesne pod hodnotu výkonu tepelného čerpadla, bude tepelné čerpadlo akumulaci nabíjet, areál bude tedy zásobován pouze samotným tepelným čerpadlem. Poslední situací je akumulace, která sama pokrývá spotřebu areálu bez využití tepelného čerpadla. Spotřeba areálu by musela být příliš nízká, aby byl výkon akumulace dostatečný pro pokrytí spotřeby areálu.

Vzhledem k průměrné denní spotřebě energie v průmyslovém areálu z Tabulky 13 je zřejmé, že akumulaci budou moci využít pouze mimo zimní měsíce, tedy od března do října. Od prosince do února je spotřeba energie vyšší, než dokáže tepelné čerpadlo vyrobit. Tepelné čerpadlo by tak nedokázalo akumulaci nabít.

Průměrná denní spotřeba energie je v březnu a listopadu, dubnu a říjnu, květnu a září a červnu, červenci a srpnu přibližně stejná.

Denní odběrový diagram mi poskytl Zbirovia.



Obrázek 33: Denní odběrový diagram energie s předpokládaným výkonem TČ

Denní odběrovou křivku ze 14.4.2020 aproximuji pomocí polynomu 6. stupně a získávám rovnici křivky:

$$P(t) = 13\,660t^6 - 64\,757t^5 + 101\,890t^4 - 64\,026t^3 + 11\,719t^2 + 1\,757,2t + 62,974 \quad (6.59)$$

Žlutou čarou jsem vyznačila předpokládaný výkon TČ vypočtený dle průměrné denní spotřeby tepla ve Zbirovii dle Tabulky 13. K získání optimálního objemu akumulární nádrže pro daný den je potřeba, aby se obsah červené plochy, tedy množství tepla, které tepelné čerpadlo dokáže do akumulární nádrže dodat, rovnal obsahu zelené plochy, což je množství tepla, které je třeba do areálu z akumulární nádrže dodat. Toho docílím výpočtem požadovaného výkonu TČ v daném dni.

Obsah červené plochy:

$$\begin{aligned} & - \int_0^{0,05} (13\,660t^6 - 64\,757t^5 + 101\,890t^4 - 64\,026t^3 + 11\,719t^2 \\ & \quad + 1\,757,2t + 62,974)dt + P_{pož.} \cdot (0,05 - 0) \\ & = 0,05 \cdot P_{pož.} - 5,74 \end{aligned} \quad (6.60)$$

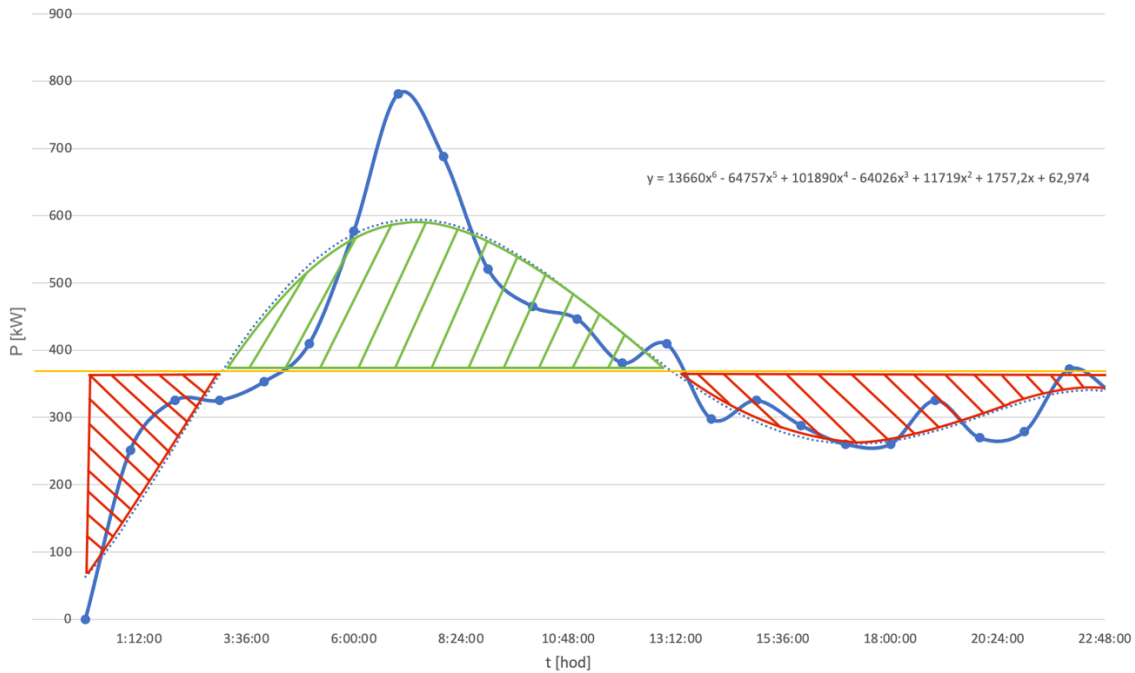
Obsah zelené plochy:

$$\begin{aligned} & \int_{0,05}^1 (13\,660t^6 - 64\,757t^5 + 101\,890t^4 - 64\,026t^3 + 11\,719t^2 \\ & \quad + 1\,757,2t + 62,974)dt - P_{pož.} \cdot (1 - 0,05) \\ & = 372,58 - 0,95 \cdot P_{pož.} \end{aligned} \quad (6.61)$$

Požadovaný výkon:

$$0,05 \cdot P_{pož.} - 5,74 = 372,58 - 0,95 \cdot P_{pož.} \quad (6.62)$$

$$P_{pož.} = \frac{(372,58 + 5,74) \text{ kWh}}{1 \text{ h}} = 378,32 \text{ kW} \quad (6.63)$$



Obrázek 34: Denní odběrový diagram energie v závodě

Objem akumulční nádrže při požadovaném výkonu (obsah nové zelené plochy):

$$Q_{AN} = \int_{0,13}^{0,55} (13\,660x^6 - 64\,757x^5 + 101\,890x^4 - 64\,026x^3 + 11\,719x^2 + 1\,757,2x + 62,974) dx - 378,32 \cdot (0,55 - 0,13) = 214,52 - 158,89 = 55,63 \text{ kWh} \quad (6.64)$$

$$V_{AN} = \frac{Q_{AN}}{c_{p,v} \cdot (t_{IN,AN} - t_{OUT,AN})} = \frac{55,63 \cdot 3,6 \cdot 10^6}{4180 \cdot (60 - 55)} = 9\,582,2 \text{ l} = 9,6 \text{ m}^3 \quad (6.65)$$

Prodejci udávají doporučený objem akumulční nádrže 15-20 l/kW výkonu tepelného čerpadla. [11]

$$V_{AN,dop.} = (15 \div 20) \cdot 378,32 = 5\,674,8 \div 7\,566,4 \text{ l} = 5,7 \div 7,6 \text{ m}^3 \quad (6.66)$$

Stejný výpočet dle rovnic 6.60 až 6.65 jsem použila i pro ostatní měsíce:

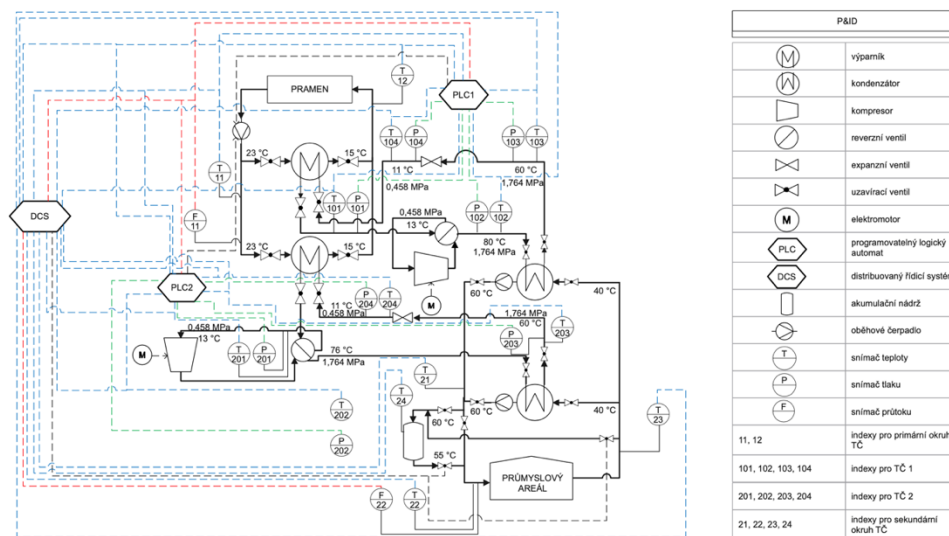
Tabulka 17: Objem akumulární nádrže pro jednotlivé měsíce

měsíc	vypočtený objem akumulární nádrže
březen, listopad	20,9 m ³
duben, říjen	9,6 m ³
květen, září	3,7 m ³
červen, červenec, srpen	3,7 m ³
průměr	8,84 m³

Protože vypočtený rozdíl objemu akumulární nádrže v jednotlivých měsících je velký, volím akumulární nádrž s průměrným objemem 9 m³. Tím zajistím dostatečné pokrytí spotřeby tepla v areálu od dubna do října. V ostatních měsících roku, tedy od listopadu do března bude nutné, aby nejvytíženější hodiny dne pokrýval i jiný zdroj tepelné energie.

6.2.7 Pipe and Instrumentation Diagram

Pipe and Instrumentation Diagram zobrazuje kompletní schéma okruhu od zdroje, přes tepelné čerpadlo, až po průmyslový areál. V P&ID je zobrazeno potrubí, instrumentace s možností chladicího pracovního režimu a veškeré podrobnosti nutné ke správnému zapojení a porozumění okruhu.

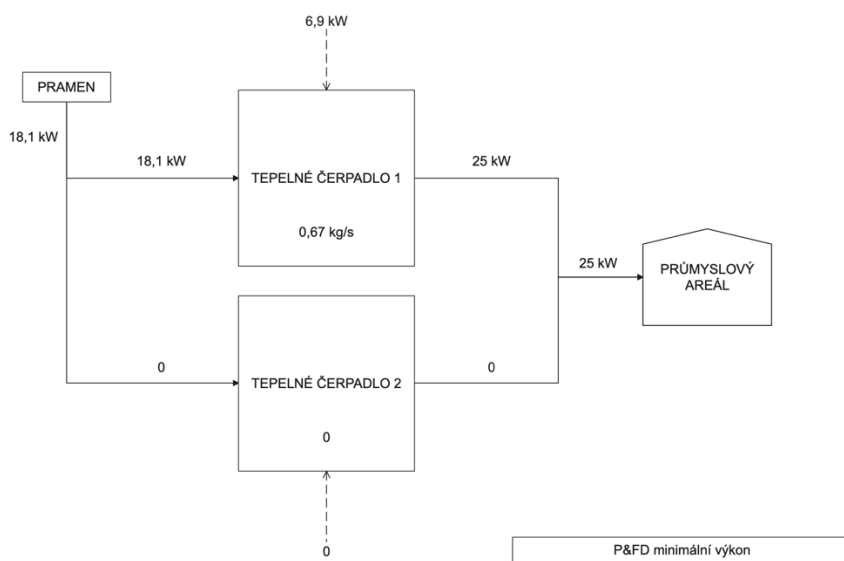


Obrázek 35: P&ID v plné kvalitě v příloze

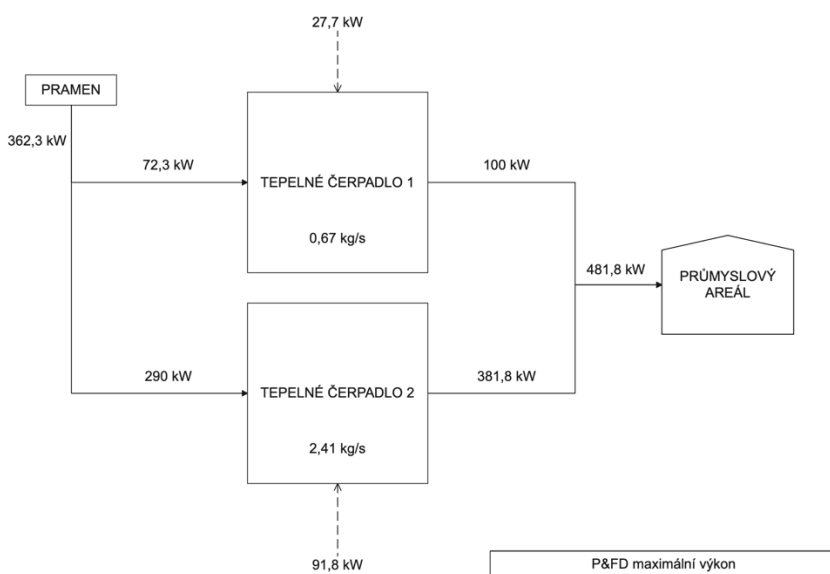
6.2.8 Power and Flow diagram

Power and Flow diagram vyobrazuje energetickou bilanci a hmotnostní tok médií v okruhu.

Protože rozdíly ve spotřebě energie v průmyslovém areálu jsou velké, v průběhu roku nastanou situace, kdy bude výkon baterie tepelných čerpadel minimální, tedy v červenci a v srpnu. Opačnou situací bude maximální výkon baterie tepelných čerpadel, kdy na plný výkon bude v provozu jak tepelné čerpadlo č.1, tak i tepelné čerpadlo č.2. To nastane například v období od října do března.



Obrázek 36: Minimální výkon baterie tepelných čerpadel



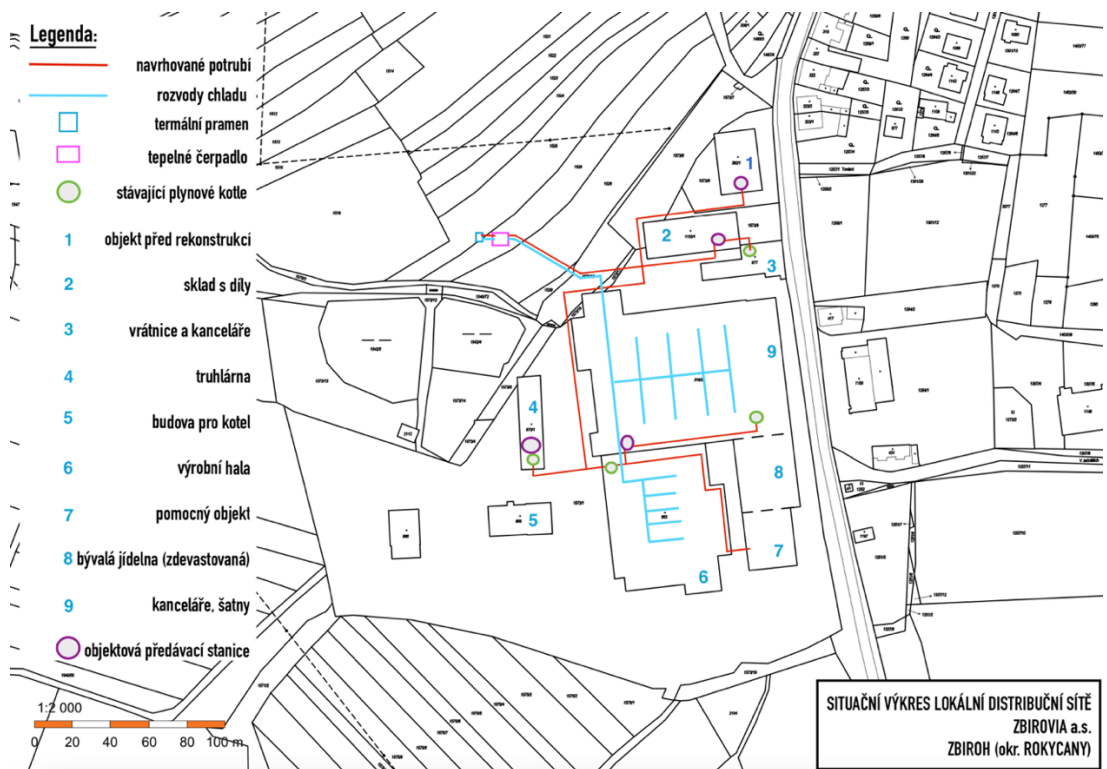
Obrázek 37: Maximální výkon baterie tepelných čerpadel

6.2.9 Situační výkres lokální distribuční sítě

Pro názornost přikládám jak situační výkres lokální distribuční sítě, tak i ortofotografii daného průmyslového areálu.



Obrázek 38: Ortofotografie průmyslového areálu [43]



Obrázek 39: Situační výkres lokální distribuční sítě v plné kvalitě v příloze

7 Ekonomické posouzení navrženého technického řešení

Počáteční investice:

- Tepelné čerpadlo č.1: 900 000 Kč [44]
- Teplené čerpadlo č.2: 1 900 000 Kč [45]
- Akumulační nádrž o objemu 8 m³: 180 000 Kč [46]

Ceny ostatních nákladů se odvíjejí od konkrétní situace. Záleží tedy, v jakém stavu je okolí termálního pramene, kolik metrů potrubí bude nutné k propojení s průmyslovým areálem a jaké instrumentace bude třeba využít. Následující náklady tak pouze odhaduji. Předpokládám, že termální pramen se bude nacházet 1 km od závodu a cena za jeden metr veškerých stavebních úprav včetně montáže bude stát 11 000 Kč.

- Instrumentace k tepelným čerpadlům: 2 000 000 Kč
- Stavební úpravy v místě termálního pramene vč. potrubí a montáže:
11 000 000 Kč

$$\begin{aligned} IN &= 900\,000 + 1\,900\,000 + 180\,000 \\ &+ 2\,000\,000 + 11\,000\,000 = 15\,980\,000 \text{ Kč} \end{aligned} \tag{7.1}$$

Cena tepla: 450 Kč/GJ [31]

Cena elektřiny: 1,12 Kč/kWh [31]

Tabulka 18: Ekonomické zhodnocení spotřeby tepla dle jednotlivých měsíců

měsíc	spotřeba tepla [GJ]	cena tepla [Kč]	vyrobena tepla z TČ [GJ]	cena spotřebované el. energie [Kč]	ušetřeno [Kč]
leden	2 018	908 100	1 290	99 577	808 523
únor	1 547	696 150	1 166	89 940	606 210
březen	1 222	549 900	1 222	94 396	455 504
duben	471	211 950	471	38 177	173 773
květen	131	58 950	131	11 221	47 729
červen	71	31 950	71	6 205	25 745
červenec	55	24 750	55	4 809	19 941
srpen	55	24 750	55	4 809	19 941
září	107	48 150	107	9 308	38 842
říjen	614	276 300	614	48 955	227 345
listopad	1 249	562 050	1249	96 287	465 763
prosinec	1 482	666 900	1290	99 577	567 323
SOUČET	9 022	4 059 900	7 721	603 261	3 456 639

Doba návratnosti:

$$DN = \frac{IN}{RU} = \frac{15\,980\,000}{3\,456\,639} = 4,7 \text{ let} \quad (7.2)$$

Uspořené náklady:

$$\begin{aligned} UN &= (D\check{Z} - DN) \cdot RU = (15 - 4,7) \cdot 3\,456\,639 \\ &= 35\,603\,381 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (7.3)$$

Z výpočtů uvedených výše je zřejmé, že daný návrh technického řešení s návratností 4,7 let a předpokládanou životností 15 let je ekonomicky výhodný. Nevýhodou tohoto řešení může být vysoká počáteční investice projektu, který však v průběhu dalších let ušetří průmyslovému záводу až 36 milionů korun. Výpočet je stanoven pro 24hodinový provoz tepelných čerpadel.

8 Zhodnocení výsledků

V první části práce jsem definovala obnovitelné zdroje energie, konkrétně pak geotermální energii. Vysvětlila jsem pojem geotermální systém a představila jsem technologie pro využití geotermální energie. Znázornila jsem, na jakém principu pracují tepelná čerpadla, a popsala jsem typy tepelných čerpadel, jež využívají právě geotermální energii. Dalším technologickým zařízením, které jsem ve své práci uvedla, je Organický Rankinův cyklus. Pomocí schématického vyobrazení okruhu jsem vysvětlila, na jakém principu pracuje. Pro obě technologická zařízení jsem zmínila oblast jejich použití a shrnula jsem jejich hlavní výhody a nevýhody. V rámci kapitoly o geotermální energii jsem se věnovala i způsobům, jak geotermální energii ze zdroje odebírat. Zde jsem se věnovala popisu vertikálních vrtů, přímého odběru energie a metody Hot Dry Rock.

V další části práce jsem zpracovala rešerši potenciálu geotermální energie na území České republiky. Z hlediska teploty pod povrchem země, Česká republika neoplývá velkým množstvím míst, jež by byla hodnocena jako velmi vhodná pro využití geotermální energie. Z toho důvodu jsem se snažila nalézt zdroj geotermální energie na povrchu země, který bude disponovat, pokud možno, stálou teplotou v průběhu roku. Takovým zdrojem energie jsou termální prameny. I přes nepříznivou situaci s hydrotermální energií na území České republiky se mi podařilo vyhledat několik vhodných termálních pramenů pro zásobování malého průmyslového areálu.

Dále jsem představila průmyslový areál Zbirovia a.s. ve Zbirohu, jehož se týkalo navržení technologického zařízení pro zásobování teplem. Tento areál jsem si musela pomyslně přesunout ke zvolenému termálnímu prameni, jelikož v okolí závodu se žádný vhodný zdroj nenacházel.

Další kapitolu jsem věnovala již samotnému návrhu technického provedení zařízení pro využití tepla. Po zhodnocení spotřeby tepla v areálu v průběhu roku jsem se rozhodla, že využiji dvou tepelných čerpadel o výkonech 100 kW a 392 kW, jež budou zapojena společně do jedné baterie. To z toho důvodu, že rozdíl mezi spotřebou tepla v letních a zimních měsících je velký a pořízení jednoho většího tepelného čerpadla by bylo zbytečně nákladné. Pro obě tepelná čerpadla jsem vypočítala hodnotu stavových veličin okruhu na základě parametrů poskytnutých výrobcem. Jednotlivé body jsem pak znázornila do T-s a p-h diagramů. Vypočítala jsem také COP obou tepelných čerpadel a porovnávala ho s hodnotou uvedenou výrobcem. Jelikož teploty v průmyslovém areálu v letních měsících dosahují až 45 °C, považila jsem za vhodné navrhnout využití tepelných

čerpadel k realizaci chladicího okruhu. Opět jsem vypočetla hodnoty stavových veličin v jednotlivých bodech okruhu a dané body jsem znázornila do T-s a p-h diagramů. Průmyslový areál nemá v průběhu dne stálý odběr energie, a tak jsem k systému navrhla i akumulární nádrž, která pokrývá spotřebu energie v odběrových špičkách. Celý systém jsem zakreslila do Pipe and Instrumentation diagramu, který znázorňuje jednotlivé části tepelných čerpadel, potrubí a vybranou instrumentaci s možností chladicího pracovního režimu. Sestavila jsem i Power and Flow diagram. Ten se věnuje energetické bilanci a hmotnostním tokům médií v okruhu. Power and Flow diagram jsem sestavila pro dvě situace, pro minimální a maximální výkon celé soustavy. V měřítku 1:2 000 jsem pak vypracovala situační výkres navrhované lokální distribuční sítě.

Poslední část práce se týkala zhodnocení a porovnání navrženého zdroje tepla se zdroji využívajícími fosilní paliva. S předpokládanou životností 15 let a vypočtenou návratností projektu 4,7 let uspořené náklady dosahují až 36 milionů korun.

9 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navržení zařízení na principu tepelného čerpadla, které bude umožňovat zásobování průmyslového areálu teplem. Jako zdroj geotermální energie pro tepelné čerpadlo jsem zvolila termální pramen, který měl dostatečný tepelný výkon pro pokrytí spotřeby energie průmyslového areálu po většinu roku.

V případě, že by v budoucnu proběhl hydrogeologický průzkum v okolí zvoleného termálního pramene a potvrdil by skutečnost, že je možné jeho využití k účelům zásobování teplem, má domněnka o tom, že geotermální energie má v České republice větší potenciál, než se na první pohled může zdát, by byla potvrzena.

Tato práce by dále mohla být rozšířena například o návrh zdroje elektrické energie, který by zásoboval tepelná čerpadla a celý systém a zásobování průmyslového areálu by tak mohlo být energeticky nezávislé.

10 Seznam použitých zdrojů

- [1] *Právní předpisy: Zákon č. 165/2012 Sb.* [online]. [cit. 2020-10-04]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-165-2012-sb-o-podporovanych-zdrojich-energie-a-o-zmene-nekterych-zakonu>
- [2] *Podíl obnovitelných zdrojů energie na hrubé konečné spotřebě energie 2010-2018* [online]. 2019 [cit. 2020-10-04]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2019/12/Podil-OZE-na-hrube-konecne-spotrebe-energie-2010-2018_1.pdf
- [3] Obnovitelné zdroje energie. *Biom.cz* [online]. [cit. 2020-10-05]. Dostupné z: https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/obnovitelne_zdroje_energie_energeticka_agentura_zlinskeho_kraje.pdf
- [4] VOBOŘIL, David. Geotermální energie. In: *OEnergetice* [online]. 2015 [cit. 2020-10-05]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/geotermalni-energie/>
- [5] MYSLIL, Vlastimil; KUKAL, Zdeněk; POŠMOURNÝ, Karel a FRYDRYCH, Václav. *GEOTERMÁLNÍ ENERGIE: Ekologická energie z hlubin Země – současné možnosti využívání* [online]. XV. 2007 [cit. 2020-10-10]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/4BE8C2DA7BE810F6C125725900456E0A/\\$file/planeta4_korektura3.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/4BE8C2DA7BE810F6C125725900456E0A/$file/planeta4_korektura3.pdf)
- [6] DiPIPPPO, Ronald. *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact* [online]. Second Edition. 2007 [cit. 2021-1-9]. ISBN 978-0-7506-8620-4. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/reader.action?docID=330197>
- [7] DVOŘÁK, Zdeněk; KLAZAR Luděk a PETRÁK, Jiří. *Tepelná čerpadla*. Praha: SNTL, 1987. ISBN 04-232-87.

- [8] SRDEČNÝ, Karel; TRUXA, Jan. *Tepelná čerpadla*. 1. vydání. Praha: EkoWATT, 2009. ISBN 978-80-87333-02-0.
- [9] MATUŠKA, Tomáš. *Základy tepelných čerpadel* [online]. [cit. 2021-3-14]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P5-tepelna_cerpadla_zaklady.pdf
- [10] LACHNIT, Petr. *Tepelné čerpadlo: Výhody a nevýhody* [online]. [cit. 2020-10-9]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/3537.tepelne-cerpadlo-vyhody-a-nevyhody>
- [11] DŘÍMAL, Petr. *Tepelná čerpadla, geotermální energie* [online]. 2016. ISBN 978-80-88058-05-2 [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/93/02.html>
- [12] *TEPELNÁ ČERPADLA PRO VYUŽITÍ ENERGETICKÉHO POTENCIÁLU PODZEMNÍCH VOD A HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ Z VRTŮ* [online]. [cit. 2021-4-16]. Dostupné z: https://www.mmr.cz/getattachment/de48ed46-14a6-4259-824a-6e8eb96cd352/Tepelna-cerpadla-srpen_2019_aktualni.pdf.aspx?lang=cs-CZ&ext=.pdf
- [13] GT ENERGY S.R.O. *Projektuj tepelná čerpadla 5. díl – Chlazení tepelným čerpadlem* [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/20869-projektuj-tepelna-cerpadla-5-dil-chlazení-tepelnym-cerpadlem>
- [14] *Umí tepelné čerpadlo i chladit?* [online]. [cit. 2021-5-23]. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/chlazení-tepelnym-cerpadlem-zeme--voda>
- [15] MOTLÍK, Jan. *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice*. Praha: ČEZ, 2007. ISBN 978-80-239-8823-9.
- [16] *Organic Rankine Cycle* [online]. [cit. 2020-10-9]. Dostupné z: <https://www.exergy-orc.com/technology>

- [17] ŠKORPÍK, Jiří. 28. *PÍSTOVÝ PARNÍ MOTOR (PARNÍ STROJ)* [online]. [cit. 2020-10-9]. Dostupné z: <https://www.transformacni-technologie.cz/28.html>
- [18] CENGEL, Yunus A. a BOLES, Michael A. *THERMODYNAMICS: An Engineering Approach* [online]. Fifth Edition. The McGraw-Hill Companies, 2004 [cit. 2021-5-11]. ISBN 9780079132383. Dostupné z: [http://joinville.ifsc.edu.br/~evandro.dario/Termodinâmica/Material%20Didático/Livro%20-%20Cengel/Thermodynamics%20An%20Engineering%20Approach%20-%20Cengel,%20Boles%20\(5th%20ed%202006\).pdf](http://joinville.ifsc.edu.br/~evandro.dario/Termodinâmica/Material%20Didático/Livro%20-%20Cengel/Thermodynamics%20An%20Engineering%20Approach%20-%20Cengel,%20Boles%20(5th%20ed%202006).pdf)
- [19] *Geothermal solutions* [online]. [cit. 2020-10-9]. Dostupné z: <https://www.turboden.com/solutions/1052/geothermal>
- [20] *Vrt pro tepelné čerpadlo* [online]. [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.gerotop.cz/hloubkove-vrty-pro-tepelna-cerpadla>
- [21] *INJEKTÁŽE PRO GEOTERMÁLNÍ VRTY* [online]. [cit. 2021-6-10]. Dostupné z: <https://www.ge-tra.cz/katalog/tesneni-vyplachove-latky/injektaze-pro-geotermalni-vrty>
- [22] *K čemu slouží a kolik stojí vrty pro tepelná čerpadla?* [online]. [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/vytapeni-a-vetrani/tepelna-cerpadla/k-cemu-slouzi-a-kolik-stoji-vrty-pro-tepelna-cerpadla/>
- [23] *GEOHERMAL GROUND LOOP PIPING SYSTEMS* [online]. [cit. 2021-6-10]. Dostupné z: <https://plasticpipe.org/building-construction/bcd-geo.html>
- [24] *Worldwide potential of geothermal energy* [online]. [cit. 2021-6-10]. Dostupné z: <https://www.edengeothermal.com/about/geothermal-energy/>
- [25] BLAŽKOVÁ, Miroslava. *Metodika k hodnocení geotermálního potenciálu v modelovém území Podkrušnohoří* [online]. [cit. 2020-11-20]. Dostupné z: <http://fzp.ujep.cz/projekty/wd-44-07-1/dokumenty/aktivity/A411.pdf>

- [26] VOBOŘIL, David. *Geotermální energie v ČR* [online]. 2015 [cit. 2021-1-10]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/geotermalni-energie-v-cr>
- [27] *Geotermální zdroj v Děčíně* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.mvv.cz/geotermalni-zdroj-v-decine.html>
- [28] *Zhodnocení efektu projektu využití geotermální energie pro vytápění ZOO v Ústí nad Labem* [online]. 2007 [cit. 2021-6-14]. Dostupné z: https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Zhodnoceni_efektu_projektu_vyuziti_geotermalni_energie_pro_vytapeni_ZOO_v_Usti_nad_Labem_2220047234.pdf
- [29] MYSLIL, Vlastimil; BURDA, Jiří; ČTYROKÁ, Jiřina; DRÁBKOVÁ, Jana; POŠMOURNÝ, Karel; TÁBORSKÝ, Zdeněk a ŽÁČEK, Vladimír. *PRVNÍ HLUBINNÝ GEOTERMÁLNÍ VRT V ČESKÉM MASIVU* [online]. Praha, 2008 [cit. 2021-5-10]. ISSN 0514-8057. Dostupné z: <http://www.geology.cz/img/zpravyvyzkum/fulltext/2007-64.pdf>
- [30] *RESTEP* [online]. [cit. 2020-11-02]. Dostupné z: <https://restep.vumop.cz/>
- [31] SLÁMA, Pavel; MUŽÍK, Václav; TÍMR, Jan; PÁRTL, Otakar; DVOŘÁK, Jindřich a BUREŠOVÁ, Lucie. *Technicko – ekonomické hodnocení variant energetické soustavy typového řešení TR 4 – malá průmyslová provozovna*. Praha, 2020.
- [32] *Národní registr pramenů a studánek* [online]. [cit. 2021-6-14]. Dostupné z: <https://www.estudanky.eu/>
- [33] *Územní teploty. Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>)

- [34] ARNOLD, Vladimír; DEMJANOVÁ, Lenka; JÁNSKÝ, Pavel; LANCOŠ, Josef a RYSKA, Norbert. *Tepelná čerpadla* [online]. Tábor, 2013 [cit. 2021-3-9]. Dostupné z: http://zelenymost.cz/files/tepelna_cerpadla.pdf
- [35] *Chropyňský pramen* [online]. [cit. 2021-2-16]. Dostupné z: <https://www.veronica.cz/mapa-studanek?i=2080>
- [36] *Znalosti chladicí techniky ve 3 částech: Úvod do chladicích zařízení. Základy a hlavní komponenty chladicí techniky. Správné měření na chladicích zařízeních.* [online]. [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: http://www.ekotez.cz/pub///Prakticka_prirucka_chlazení_testo.pdf
- [37] *Refrigerant Table: Explanation and Glossary of Terms* [online]. [cit. 2021-4-16]. Dostupné z: https://www.hrai.ca/uploads/userfiles/files/refrigerant_table_June2019.pdf
- [38] *Wasser/Wasser Professionell Wärmepumpen* [online]. [cit. 2021-6-10]. Dostupné z: <https://www.manualslib.de/manual/72799/Alphainnotec-Wwp-Serie.html#product-WWP%201100X>
- [39] *Freon 134a: Thermodynamic Properties (SI Units)* [online]. [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.freon.com/en/-/media/files/freon/freon-134a-si-thermodynamic-properties.pdf?rev=697e8a1992204979abac0323cef32133>
- [40] MOSHFEGHIAN, Mahmood. *How to Estimate Compressor Efficiency?* [online]. 2015 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <http://www.jmcampbell.com/tip-of-the-month/2015/07/how-to-estimate-compressor-efficiency/>
- [41] KOLARČÍK, Kamil; KAMINSKÝ, Jaroslav a VRTEK, Mojmír. *KOMPRESORY* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2021-12-11]. Dostupné z: https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/01_Stavba-a-provoz-stroju_1-3/1_IUT/002_Kompresory---Kolarcik-a-kol---P3.pdf

- [42] *Topný faktor COP - účinnost tepelného čerpadla* [online]. [cit. 2020-12-11]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/topny-faktor-cop-ucinnost-tepelneho-cerpadla>
- [43] *Nahlížení do katastru nemovitostí* [online]. [cit. 2021-6-14]. Dostupné z: <https://nahlizenidokn.cuzk.cz/>
- [44] *OCHSNER Heat pumps: Price list 2017* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: https://www.accubel.be/pdf/Liste-de-prix/Ochsner_liste-prix_EXPORT_2017_EN.pdf
- [45] *Industrial heat pumps. OILON* [online]. [cit. 2021-6-15]. Dostupné z: <https://oilon.com/en-gb/products-gb/industrial-heat-pumps/>
- [46] *AKUMULAČNÍ NÁDRŽE PS* [online]. [cit. 2021-6-15]. Dostupné z: <http://www.tepelna-cerpadla-pardubice.cz/akumulacni-nadrze-ps.html>

11 Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1: Vývoj podílu OZE na konečné spotřebě v letech 1960-2018 v ČR [2]	12
Obrázek 2: Hydrotermální systém – schéma, přepracováno dle [6].....	15
Obrázek 3: Schéma TČ, přepracováno dle [7].....	16
Obrázek 4: T-s diagram TČ, přepracováno dle [9].....	16
Obrázek 5: TČ země/voda [11].....	17
Obrázek 6: TČ voda/voda [11]	17
Obrázek 7: Schéma ORC, přepracováno dle [18].....	19
Obrázek 8: T-s diagram ORC, přepracováno dle [18].....	19
Obrázek 9: Schéma odběru geotermální energie pro TČ voda/voda [12]	20
Obrázek 10: Schéma odběru geotermální energie pro TČ země/voda [12].....	21
Obrázek 11: Metoda HDR, přepracováno dle [6].....	22
Obrázek 12: Mapa geotermálních anomálií ve světě [24]	23
Obrázek 13: Mapa teplot 500 m pod zemským povrchem [5]	25
Obrázek 14: Mapa izohyps teploty 180 °C na území ČR [5]	25
Obrázek 15: Hodnoty tepelného toku na území ČR [26].....	26
Obrázek 16: Mapa geotermicky anomálních oblastí dle RESTEP [30]	27
Obrázek 17: Spotřeba tepla v areálu Zbirovia – průměr z let 2015-2019 [31].....	28
Obrázek 18: Odběr tepelné energie zásobující tepelné čerpadlo, přepracováno dle [12].	34
Obrázek 19: Průběh teplot na výparníku tepelného čerpadla	37
Obrázek 20: Průběh teplot na kondenzátoru tepelného čerpadla.....	38
Obrázek 21: p-h diagram pro určení bodu 2	38
Obrázek 22: p-h diagram TČ č.1 pro vytápění	42
Obrázek 23: T-s diagram TČ č.1 pro vytápění	42
Obrázek 24: p-h diagram TČ č.2 pro vytápění	44
Obrázek 25: T-s diagram TČ č.2 pro vytápění	44
Obrázek 26: Průběh teplot na výparníku pro případ chlazení	47
Obrázek 27: Průběh teplot na kondenzátoru pro případ chlazení.....	47
Obrázek 28: p-h diagram pro určení bodu 2 při chlazení	48
Obrázek 29: T-s diagram chladicího oběhu TČ č.1	51
Obrázek 30: p-h diagram chladicího oběhu TČ č.1	51
Obrázek 31: T-s diagram chladicího okruhu TČ č.2	53
Obrázek 32: p-h diagram chladicího okruhu TČ č.2	53

Obrázek 33: Denní odběrový diagram energie s předpokládaným výkonem TČ.....	54
Obrázek 34: Denní odběrový diagram energie v závodě.....	56
Obrázek 35: P&ID v plné kvalitě v příloze.....	57
Obrázek 36: Minimální výkon baterie tepelných čerpadel.....	58
Obrázek 37: Maximální výkon baterie tepelných čerpadel.....	58
Obrázek 38: Ortofotografie průmyslového areálu [43].....	59
Obrázek 39: Situační výkres lokální distribuční sítě v plné kvalitě v příloze.....	59
Tabulka 1: Spotřeba areálu v GJ/den.....	29
Tabulka 2: Potenciální zdroje geotermální energie ve Zlínském kraji.....	30
Tabulka 3: Potenciální zdroje geotermální energie v Plzeňském kraji.....	31
Tabulka 4: Potenciální zdroje geotermální energie ve Středočeském kraji.....	31
Tabulka 5: Shrnutí potenciálních zdrojů energie s vyhodnocením.....	32
Tabulka 6: Maximální hodnoty chemického složení vody.....	32
Tabulka 7: Chemické složení pramenu Chropyně.....	33
Tabulka 8: Hodnota GWP chladiv.....	35
Tabulka 9: Tepelné čerpadlo č.2 OILON Chillheat P220.....	36
Tabulka 10: Tabulka hodnot stavových veličin před určením bodu 2.....	39
Tabulka 11: Stavové veličiny TČ č.1 pro vytápění.....	41
Tabulka 12: Stavové veličiny tepelného čerpadla č.2 pro vytápění.....	43
Tabulka 13: Očekávané dodávky energie z TČ za 24 hodin po dobu 1 roku.....	45
Tabulka 14: Stavové veličiny před určením bodu 2 v případě chlazení.....	48
Tabulka 15: Stavové veličiny chladicího oběhu TČ č.1.....	50
Tabulka 16: Stavové veličiny chladicího oběhu TČ č.2.....	52
Tabulka 17: Objem akumulční nádrže pro jednotlivé měsíce.....	57
Tabulka 18: Ekonomické zhodnocení spotřeby tepla dle jednotlivých měsíců.....	61

12 Seznam příloh

Příloha 1: Situační výkres lokální distribuční sítě

Příloha 2: Pipe and Instrumentation Diagram