



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

NÁVRH ZEMNÍHO TEPELNÉHO ČERPADLA S PŘÍMÝM VÝPAREM CHLADIVA

HEAT PUMPS WITH DIRECT EVAPORATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Mário Gerát

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	Bc. Mário Gerát
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Technika prostředí
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh zemního tepelného čerpadla s přímým výparem chladiva

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Problémem nízkoenergetické a pasivní výstavby je nedostatečná nabídka zdrojů tepla o nízkém výkonu (jednotky kW). Rodinné domy, postavené v tomto standardu, jsou tak vytápěny buď naddimenzovanými zdroji tepla s akumulací tepelné energie, popř. elektricky, což zvyšuje jejich spotřebu tzv. primární energie a tedy i produkci skleníkových plynů. Jedinou cestou, jak snížit spotřebu primární energie je zvýšit využití obnovitelných zdrojů energie. To je zejména v zimních měsících problém, který se však dá vyřešit využitím tepelných čerpadel o výkonu odpovídajícím potřebě objektu a dostatečné účinnosti (COP 3).

Cíle diplomové práce:

Cílem je navrhnout tepelné čerpadlo systému země – voda o výkonu 3 kW, určené k vytápění objektů s nízkou potřebou tepla. Tepelné čerpadlo bude pracovat s chladivem s nízkým GWP. Součástí návrhu je i řešení zemního výměníku pro získávání tepla ze země pomocí přímého odparu chladiva.

Seznam doporučené literatury:

ŽERAVÍK, Antonín. Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]. Přerov: Antonín Žeravík, 2003, 311 s. : il. ISBN 80-239-0275-X.

ROUSSEAU, Clément, Louis LAMARCHE a Stanislaw KAJL. Modeling and Experimental Validation of a Transient Direct Expansion Heat Pump. International Journal of Renewable Energy Development [online]. Semarang: Diponegoro University, 2017, 6(2), 145-155 [cit. 2018-10-26]. DOI:

10.14710/ijred.6.2.145-155. ISSN 22524940. Dostupné z:

<http://search.proquest.com/docview/1984324629/>

ZHOU, Jinzhi, Xudong ZHAO, Xiaoli MA, Zhongzhu QIU, Jie JI, Zhenyu DU a Min YU. Experimental investigation of a solar driven direct-expansion heat pump system employing the novel PV/micro-channels-evaporator modules. Applied Energy [online]. Elsevier, 2016, 178(C), 484-495 [cit. 2018-1-26]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.06.063. ISSN 0306-2619.

Chladicí a klimatizační technika. Praha: Svaz chladicí a klimatizační techniky, 2012, 181 s. : il., barev. fot., tabulky.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá návrhom zemného tepelného čerpadla s priamym výparom chladiva. Prvá časť je venovaná technológii tepelných čerpadiel, chladiacemu obehu a zdrojom nízkopotenciálneho tepla. V druhej časti sa popisuje tepelné čerpadlo zem-voda, jeho hlavné komponenty, rozdelenia chladív a systém priameho vyparovania chladiva. V poslednej časti sa nachádza návrh jednotlivých komponentov tepelného čerpadla a riešenie zemného tepelného výmenníka pre priamy výpar chladiva.

ABSTRACT

Master thesis is focused on design of ground heat pump with direct evaporation. First part is dedicated to description of heat pump technology, cooling circulation and sources of low-potential heat. Heat pump ground-water, its main components, classification of refrigerant and systems of direct evaporation are all described in the second part. The last part consists of design of each individual component of heat pump and solution of ground heat exchanger for direct evaporation of refrigerant.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

tepelné čerpadlo, chladivo, kompresor, kondenzátor, výparník, priame vyparovanie

KEYWORDS

heat pump, refrigerant, compressor, condenser, evaporator, direct evaporation

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

GERÁT, M. *Návrh zemního tepelného čerpadla s přímým výparem chladiva*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 59 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Hejčík, Ph.D..

POĎAKOVANIE

Ďakujem Ing. Jiřimu Hejčikovi, Ph.D. za strávený čas na odborných konzultáciách, cenné rady a priateľský prístup pri vypracovaní diplomovej práce.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Jiří Hejčíka, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 23. 5. 2019

.....

Mário Gerát

OBSAH

1. ÚVOD	15
2. TEPELNÉ ČERPADLÁ	17
2.1 Princíp tepelného čerpadla	17
2.2 Pracovný cyklus tepelného čerpadla	18
2.3 Vykurovací faktor tepelného čerpadla COP	19
2.4 Zdroje NPT	20
2.4.1 Vonkajší vzduch – TČ vzduch-voda	20
2.4.2 Geotermálne teplo – TČ zem-voda	21
2.4.3 Podzemná voda – TČ voda-voda	22
2.4.4 Povrchová voda – TČ voda-voda	22
2.4.5 Odpadné teplo	22
2.5 Pohon tepelných čerpadiel	22
3. TEPELNÉ ČERPADLO ZEM – VODA	23
3.1 Kolektory	23
3.1.1 Plošný kolektor	23
3.1.2 Slučky – V, H	24
3.1.3 Vertikálny kolektor	25
3.1.4 Geotermálny kôš	26
3.2 Kompresory	26
3.2.1 Piestový kompresor	28
3.2.2 Rotačný kompresor	28
3.2.3 Skrutkový kompresor	29
3.2.4 Špirálový scroll kompresor	29
3.3 Výmenníky tepla	29
3.3.1 Trubkové výmenníky tepla	30
3.3.2 Doskové výmenníky tepla	30
3.4 Expanzný ventil	31
3.4.1 Termostatický expanzný ventil	31
3.4.2 Vnútorne a vonkajšie vyrovnanie tlakov	32
3.4.3 Elektronické expanzné ventile	33
3.5 Systém priameho vyparovania chladiva	34
3.5.1 Inštalácia zemného kolektoru	34
3.5.2 Prepojenie zemného kolektoru a TČ	35
3.6 Chladivá	36
3.6.1 Rozdelenie chladív podľa fyzikálnych vlastností	37
3.6.2 Rozdelenie chladív podľa chemického zloženia	37
4. NÁVRH ZEMNÉHO TČ S PRIAMYM VÝPAROM CHLADIVA	39
4.1 Výber chladiva	39
4.1.1 R290	39
4.1.2 R134a	39
4.1.3 R407A	39
4.2 Voľba kompresora	40
4.3 Voľba kondenzátora	42
4.4 Návrh výparníka	43
4.4.1 Výpočet teploty zeminy	43
4.4.2 Výpočet dĺžky výparníka	44

4.5	Voľba expanzného ventilu.....	46
4.6	Dimenzovanie potrubia	47
4.7	Voľba ostatných komponentov.....	48
4.7.1	Zberač kvapalného chladiva	48
4.7.2	Filterdehydrátor	49
4.7.3	Priehľadítko	50
4.7.4	Odlučovač oleja.....	50
4.8	Schéma tepelného čerpadla	52
5.	ZÁVER.....	53
6.	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	55
7.	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, OBRÁZKOV A TABULIEK	57
7.1	Zoznam použitých skratiek a symbolov	57
7.2	Zoznam tabuliek	57
7.3	Zoznam obrázkov	57
8.	PRÍLOHY	59
	Príloha č. 1	59

1. ÚVOD

Domácnosti sú jedným z najväčších spotrebiteľov primárnej energie. Väčšia časť tejto energie sa spotrebuje na vykurovanie, zvyšok pripadá na prípravu teplej vody, osvetlenie a spotrebiče. Pri pasívnych a nízkoenergetických domoch sú tieto pomery obrátené a vykurovanie tvorí v celkovej bilancii ani nie jednu tretinu. Pri tak malej spotrebe je vhodné využívať lacné, účinné zdroje s maximálnym využitím obnoviteľnej energie.

Jedným z problémov nízkoenergetickej a pasívnej výstavby je nedostatočná ponuka zdrojov tepla s malým výkonom. Rodinné domy postavené v tomto prevedení sú väčšinou vykurované predimenzovanými zdrojmi tepla s akumuláciou tepelnej energie alebo elektricky. To má za následok zvyšovanie spotreby primárnej energie, ako aj produkciu skleníkových plynov. Cesta, ako znížiť spotrebu primárnej energie, je zvýšiť využitie obnoviteľných zdrojov energie. Tento problém sa dá riešiť využitím tepelných čerpadiel s výkonmi odpovedajúcimi potrebám objektov a dostatočnou účinnosťou $COP=3$.

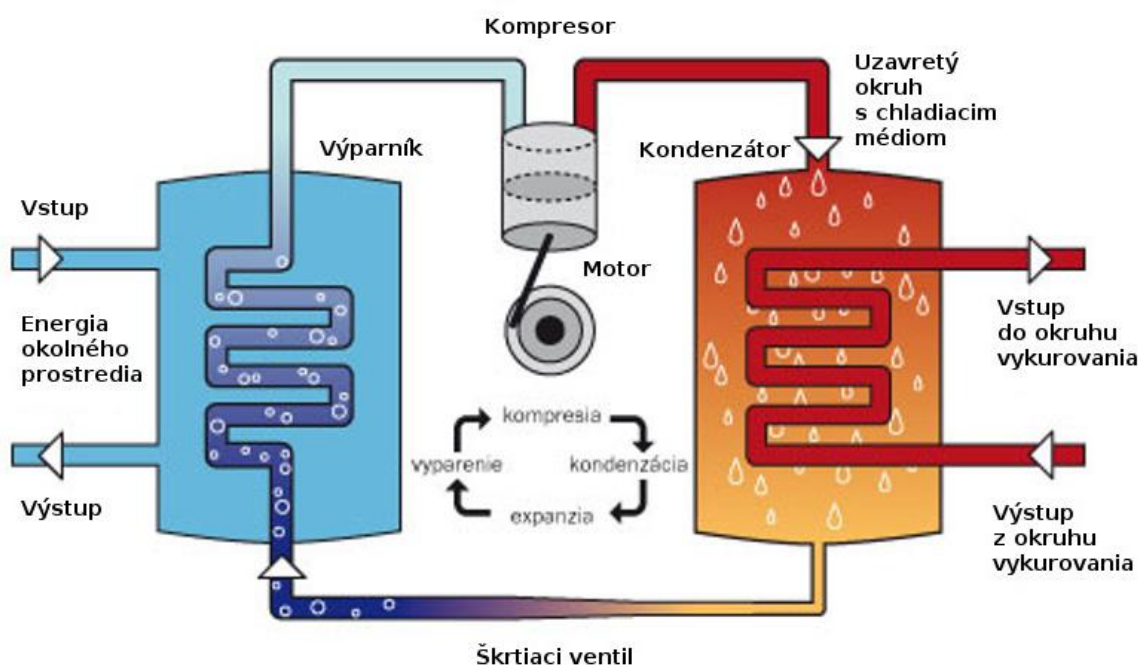
Hlavným cieľom tejto diplomovej práce je navrhnúť tepelné čerpadlo systému zem-voda o výkone 3 kW, určené k vykurovaniu objektov s nízkou potrebou tepla. Okrem technických a energetických kritérií je dôraz kladený aj na environmentálne hľadisko, predovšetkým z pohľadu používaných materiálov a technológií. Tepelné čerpadlo by preto malo pracovať s chladivom s nízkym GWP (Global Warming Potential), koeficient označujúci vplyv látok na takzvaný skleníkový efekt. Súčasťou návrhu je aj riešenie zemného výmenníka pre získavanie tepla zo zeme pomocou priameho výparu chladiva.

2. TEPELNÉ ČERPADLÁ

Okolo nás sa nachádza obrovské množstvo nízkopotenciálnej energie. Je to teplo obsiahnuté vo vzduchu, v zemi (geotermálne teplo), v povrchovej alebo podzemnej vode. Toto teplo je obnoviteľným a ekologickým energetickým zdrojom. Pre svoju nízku teplotu je bežným spôsobom nevyužiteľné. Tepelné čerpadlá (TČ) dokážu previesť toto teplo na teplo s teplotou využiteľnou pre vykurovanie alebo ohrev vody. Výsledná energia nie je čerpadlom vyrobená, je len prečerpaná na vyššiu teplotnú úroveň, z čoho vychádza aj názov tepelné čerpadlo. [1]

2.1 Princíp tepelného čerpadla

Princíp tepelného čerpadla je rovnaký, ako princíp chladiaceho zariadenia. Jedna strana chladí a druhá strana hreje. Na primárnej strane tepelného čerpadla, teda vstupnej strane je výparník (výmenník tepla). Do výparníku sa pomocou teplonosného média (voda, vzduch, nemrznúca zmes) zvonku privádza nízkopotenciálne teplo a do druhej strany sa cez trysku termostatického expanzného ventilu, pod veľkým tlakom, vstrekuje kvapalné chladivo. Tlak za termostatickým expanzným ventilom je nižší, preto sa chladivo rýchlo odparuje, čo má za následok, že výparník sa podchladzuje na teplotu nižšiu, ako je teplota prostredia, z ktorého je teplo odoberané. Teplo z chladnejšej strany je tak schopné ohrievať podchladený plyn, ktorý je nasávaný kompresorom. Plyn sa v kompresore stlačí a rýchlo ohreje. K energii nesenej plynom sa pridá časť energie vo forme stratového tepla, vzniknutého pri trení pohyblivých plôch a tepla z elektromotoru. Plyn z kompresoru, ktorý dosiahne vyššiu teplotu ako je teplota vo vykurovacom systéme, je vedený do kondenzátora (výmenník tepla), ktorým prúdi teplá voda používaná na vykurovanie. Plyn predá teplo vykurovacej vode a skvapalnie. Kvapalina putuje do expanzného ventilu a celý cyklus sa opakuje. Energia medzi výmenníkmi sa prevádza pomocou cirkulujúcej pracovnej látky (chladiva), ktorá mení svoje skupenstvo. [1]



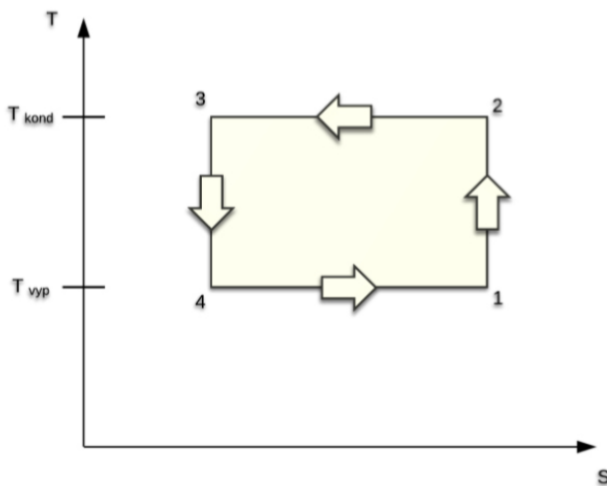
Obr. 1 - Principiálne schéma TČ. [2]

Základom tepelného čerpadla je uzatvorený okruh naplnený chladivom, ktorý má štyri hlavné časti:

- Výparník – primárny okruh
- Kondenzátor – sekundárny okruh
- Kompresor
- Škrtiaci ventil

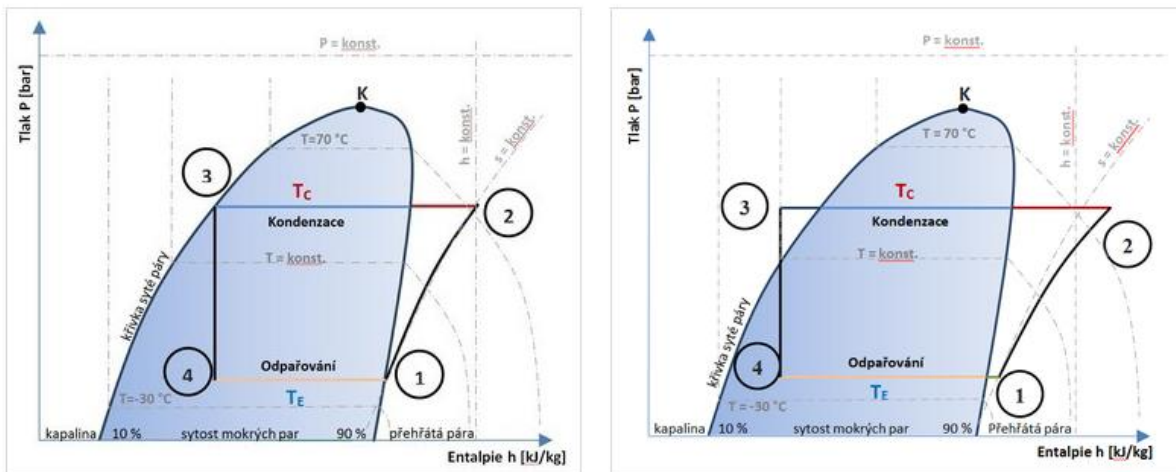
2.2 Pracovný cyklus tepelného čerpadla

Obr. 2 znázorňuje teoretický pracovný cyklus tepelného čerpadla. Jedná sa o Carnotov cyklus znázornený v T-S diagrame.



- T – teplota
- S – entropia
- 1→2 – adiabatická kompresia
- 2→3 – kondenzácia chladiva
- 3→4 – adiabatická expanzia
- 4→1 – vyparovanie chladiva

Obr. 2 - Teoretický pracovný cyklus TČ.



Obr. 3 - Rankin-Clausiov cyklus TČ. Vľavo (ideálny), vpravo (reálny). [3]

Na obr. 3 je porovnaný ideálny a reálny Rankin-Clausiov obeh pre tepelné čerpadlá v p-h diagrame. V reálnom obehu je odchyľka krivky 1–2 od ideálneho stavu (konštantná entropia) spôsobená tepelnými stratami a ziskami pri prestupe tepla z chladiva do kompresoru alebo ziskom odpadného tepla z pohonu kompresoru. Krivka sýtej pary zobrazuje prechod chladiva z kvapalného stavu, na stav prehriatej pary.

T_E – vyparovacia teplota T_C – kondenzačná teplota

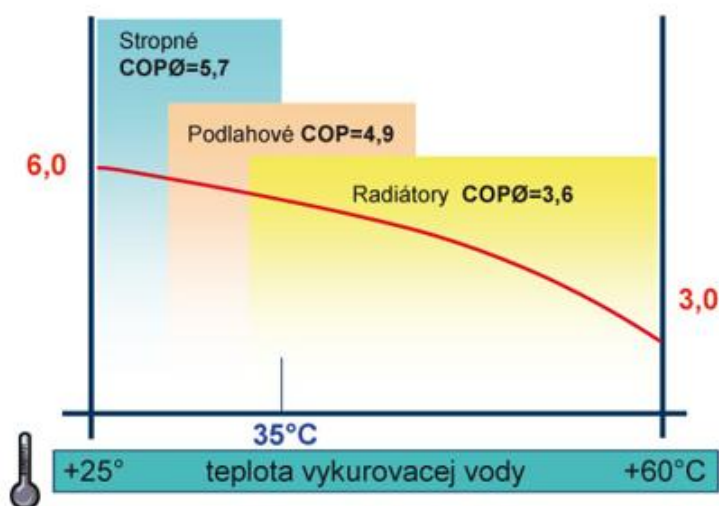
2.3 Vykurovací faktor tepelného čerpadla COP

Aby dokázalo tepelné čerpadlo prečerpať nízkoenergetické teplo, je potrebné mu dodať energiu (najčastejšie elektrickú). Energia odobraná z prírody je väčšinou (1,5 - 4)x vyššia, ako spotreba energie pre pohon. Pre zistenie energetickej výhodnosti (účinnosti) tepelného čerpadla je zavedený takzvaný vykurovací faktor COP (Coefficient of performance). Je to pomer energie výstupnej (vyprodukované teplo predané vykurovaciemu systému) a energie vstupnej (energia potrebná pre pohon čerpadla). Celková výstupná energia je vyššia ako energia dodaná do čerpadla. [1]

$$e = \frac{Q_{OUT}}{Q_{EL}} = \frac{(Q_{IN} + Q_{EL})}{Q_{EL}} = \frac{T_{OUT}}{(T_{OUT} + T_{IN})} \quad (2.1)$$

- e - COP = vykurovací faktor
- T_{IN} - teplota zdroja tepla [K]
- T_{OUT} - teplota na výstupe [K]
- Q_{IN} - energia získaná z NPT
- Q_{EL} - energia potrebná pre pohon TČ
- Q_{OUT} - výsledná energia

Ak sa zvyšuje rozdiel teplôt na vstupnej a výstupnej strane TČ, vykurovací faktor COP sa znižuje. COP je vždy vyšší ako 1. Znamená to, že je výhodné použiť zdroje tepla s čo najvyššou teplotou a dodávať čo najnižšiu teplotu do vykurovacej sústavy. Keďže teplotu zdroja tepla nie je možné ovplyvniť, je snaha použiť vykurovací systém s čo najnižšou vykurovacou teplotou, ako je napríklad podlahové vykurovanie. Pri výbere TČ je COP jeden z najdôležitejších faktorov. Jeho hodnota sa pohybuje podľa druhu tepelného čerpadla, podmienok používania a voľby vykurovacieho systému.

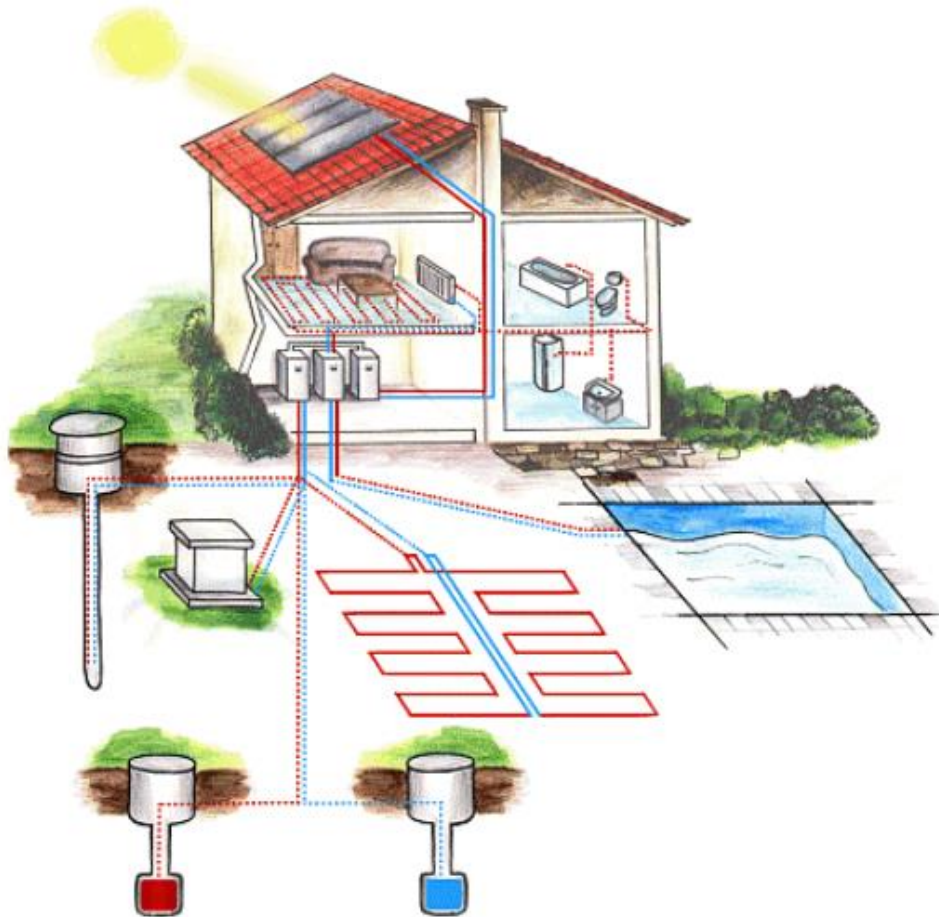


Obr. 4 - Hodnoty COP pri TČ voda/voda. [4]

Obr. 4 ukazuje priebeh hodnôt COP pri prevádzke tepelného čerpadla voda/voda s použitím rôznych druhov vykurovacích systémov počas sezóny. Je vidieť, že pri aplikácii tohto čerpadla je najvhodnejší systém stropného vykurovania.

2.4 Zdroje NPT

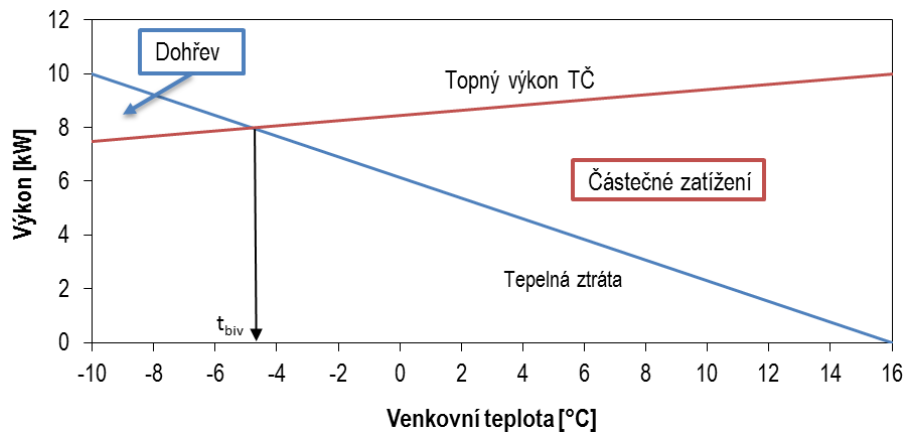
Tepelné čerpadlá sa rozdeľujú podľa zvoleného nízkopotenciálneho zdroja tepla (NPT). Voľba NPT má veľký vplyv na vlastnosti a konštrukciu TČ. Najobvyklejšie zdroje tepla sú vzduch, geotermálne teplo, voda a odpadné teplo. V jednotlivých typoch tepelných čerpadiel prvé slovo znamená zdroj tepla a druhé slovo teplonosné médium, do ktorého sa predáva teplo. Zaoberať sa budeme len čerpadlami, ktorých teplonosné médium je voda.



Obr. 5 - Zdroje NPT pre tepelné čerpadlo. [5]

2.4.1 Vonkajší vzduch – TČ vzduch-voda

Ide o prakticky neobmedzený zdroj tepla. Teplo, ktoré je zo vzduchu odobrané, je následne do vzduchu vrátené tepelnými stratami objektu. Z toho vyplýva, že ide o najekologickejší zdroj tepla. Nevýhodou je, že s klesajúcou teplotou vonkajšieho prostredia, klesá aj COP tepelného čerpadla. Obvykle je inštalovaný záložný zdroj, ktorý pri nižších vonkajších teplotách pokryje potrebnú energiu na vykurovanie, čo je znázornené na obr. 6. Efektívne využitie tepelného čerpadla je do $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Primárnu časť tvorí výparník (väčšinou lamelový trubkový výmenník), ktorý je doplnený ventilátorom pre lepší prenos tepla zo vzduchu. Pri nižších teplotách sa na výparníku tvorí námraza, čo znižuje COP. Riešením je, že čerpadlo prechádza do reverzného režimu (ohrev výparníku). [6]

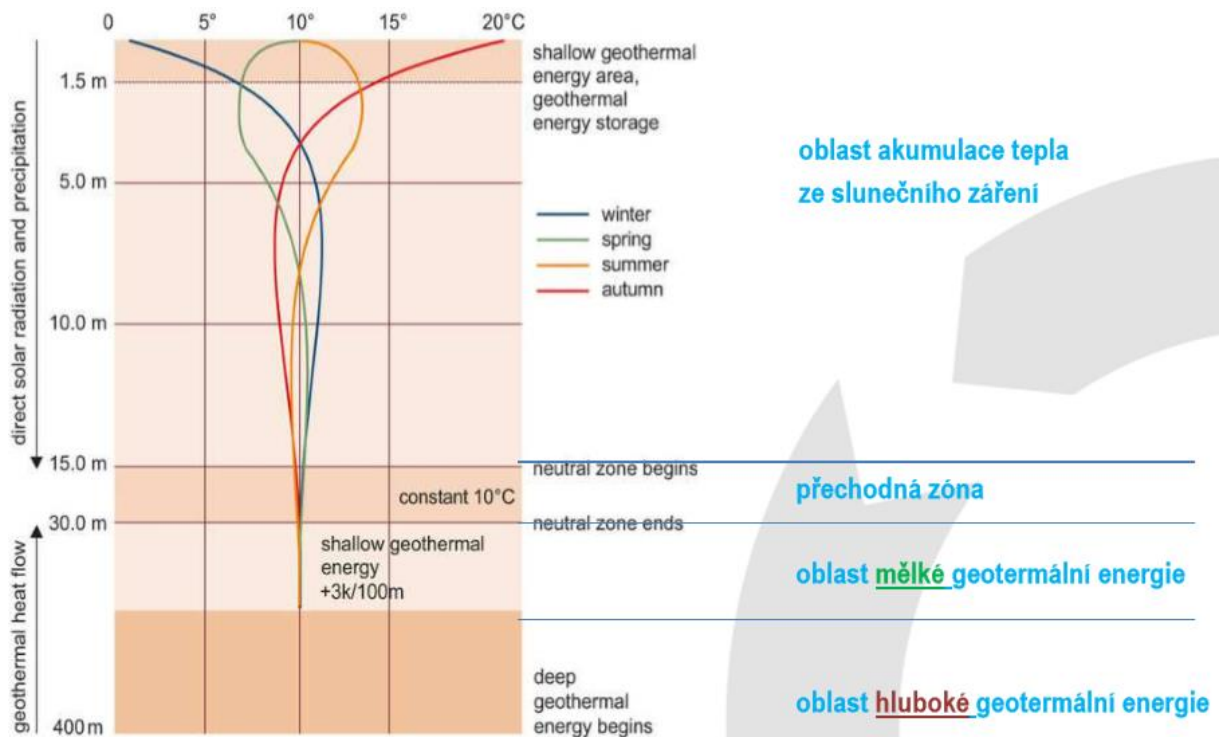


Obr. 6 - Vplyv vonkajšej teploty na výkon TČ vzduch/voda. [3]

Obr. 6 znázorňuje tepelnú stratu objektu 10 kW pri výpočtovej teplote $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota t_{biv} (bivalentná teplota) určuje rozhranie vypínania alebo zapínania prídavného zdroja tepla.

2.4.2 Geotermálne teplo – TČ zem-voda

Zemský povrch sa vplyvom slnečného žiarenia akumuluje. Teplo, ktoré obsahuje sa získava nepriamo, za pomoci výmenníka tepla (kolektoru). Kolektor sa skladá z plastových trubiek, ktoré sa ukladajú do zeme. Je možné odoberať energiu z povrchu zeme (plošný kolektor) alebo z hĺbky (vrty). Ide o uzatvorený výmenník na primárnej strane TČ, ktorý je naplnený nemrznúcou zmesou poháňanou cirkulačným čerpadlom. Výhodou tohto systému je čistota nemrznúcej zmesi. Nie je teda potreba čistenia výmenníka a používania filtrov. Na pohon nemrznúcej zmesi stačí čerpadlo o nízkych výkonoch. S odoberaním tepla z pôdy je spojený pokles teploty zemného masívu v okolí kolektoru. Znamená to, že teplota v okolí kolektoru (cca $0\text{ }^{\circ}\text{C}$) je nižšia ako teplota zeme v mieste, kde neprebíha inštalácia kolektoru (cca $12\text{ }^{\circ}\text{C}$). Priebeh teplôt v zemi v závislosti na ročnom období je znázornený na obr. 7. [6]



Obr. 7 - Priebeh teplôt v zemi v závislosti na ročnom období. [7]

2.4.3 Podzemná voda – TČ voda-voda

Voda zo studne je najlepším zdrojom tepla pre TČ. Jej teplota je v priebehu roka relatívne stála +8 až +10 °C, čo značí že výkon TČ bude stály aj počas zimných mesiacov. Voda sa po ochladení nesmie vracat' späť do studne (z dôvodu vychladenia studne) či kanalizácie (znehodnotenie vody na povrchu). Je potrebná takzvaná vsakovacia studňa, ktorá je dostatočne vzdialená od odberovej studne. Toto teplo z podzemnej vody sa môže využívať v miestach, kde je dostatok spodnej vody, ktorá má vhodné zloženie a je čistá. Studne, ktoré spĺňajú požadované parametre nie je možné zhotoviť všade a ich náklady sú vcelku vysoké. [6]

2.4.4 Povrchová voda – TČ voda-voda

Metód získavania tepla z povrchovej vody je viacero :

- priamy odber tečúcej vody
- nepriamy odber tepla z tečúcej vody
- nepriamy odber tepla zo stojatej vody

Povrchová voda musí spĺňať rovnaké požiadavky ako podzemná voda. Pri väčšine prípadov býva problém s teplotou vody. Teplota sa v priebehu roka mení a v zimných mesiacoch klesne na hodnotu nevyužiteľnú pre tepelné čerpadlá. Ochladenie stojatej vody nesmie prekročiť určitú hodnotu z dôvodu ekológie. Preto nie je tento spôsob odberu tepla príliš rozšírený. [1]

2.4.5 Odpadné teplo

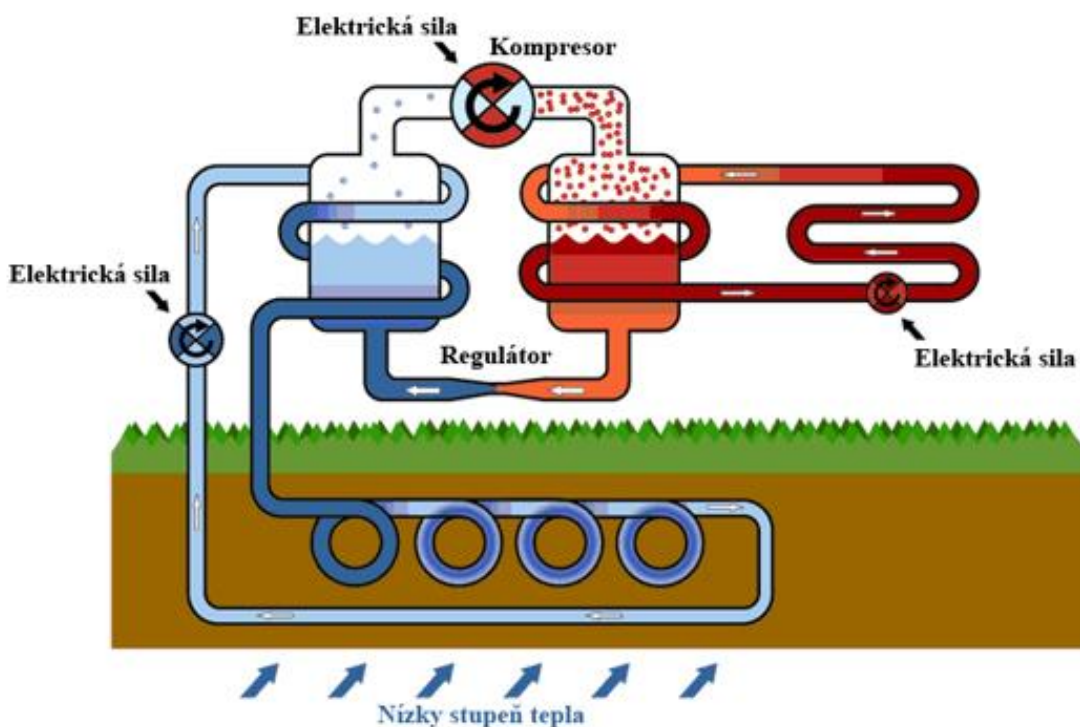
Pri rôznych technologických procesoch vzniká teplo, ktoré môže byť za určitých podmienok využívané ako zdroj NPT. Väčšinou sa jedná o vykurovanie veľkých hál, priemyslových objektov a na prípravu teplej úžitkovej vody. Riešenie získania tepla z týchto procesov je pri každom prípade individuálne.

2.5 Pohon tepelných čerpadiel

Tepelné čerpadlo potrebuje pre svoj chod určité množstvo energie, ktorá je dodávaná podľa typu pohonnej jednotky. TČ môže byť poháňané spaľovacím motorom (naftovým alebo plynovým), ktorý vyžaduje častú údržbu a veľa ďalších komponentov. Životnosť kompresoru často preyšuje životnosť motoru. Nevyhovuje ani hlučnosť motoru, vibrácie a výfukové plyny. V našich podmienkach je výhodnejšie použiť konštrukciu TČ s elektromotorom v hermetickom prevedení s kompresorom v jednej nádobe. Elektromotor je konštrukčne jednoduchší, má vysokú životnosť a spoľahlivosť. Jeho hlučnosť je v porovnaní so spaľovacím motorom veľmi nízka a taktiež sa využíva stratové teplo z elektromotoru, ktoré sa pomocou pár chladiva privádza do vykurovacieho systému. Elektromotor nevyžaduje takmer žiadnu údržbu a nedochádza ani k úniku chladiva. [1]

3. TEPELNÉ ČERPADLO ZEM – VODA

Pri TČ zem-voda sa teplo odoberá z pôdy kvapalinou, ktorá prúdi v trubkách uložených v zemi (zemný kolektor). Kvapalina je poháňaná vodným čerpadlom do primárneho výmenníku (výparník), kde sa teplo predá funkčnému okruhu TČ. Vo funkčnom okruhu je chladiace médium ohriate teplotou zeminy, ktorá je aj v zimnom období vyššia ako teplota chladiaceho média vo výparníku. Princíp tepelného čerpadla je ďalej popísaný v kapitole 2.1.



Obr. 8 - Princíp TČ zem-voda. [8]

3.1 Kolektory

Tepelné čerpadlo zem-voda využíva ako zdroj tepla geotermálne teplo. Teplo je odobrané za pomoci už spomenutých výmenníkov, nazývaných kolektory. Systémov uloženia výmenníkov do zeme je viac :

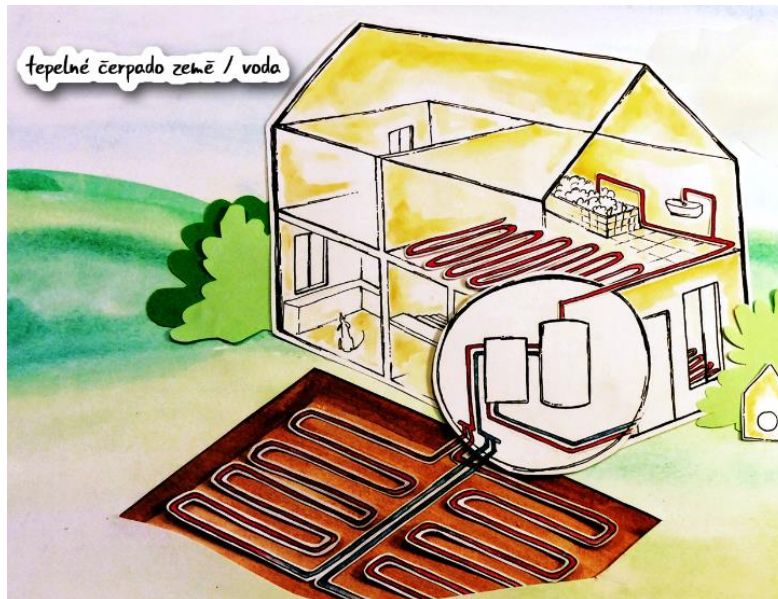
- plošné kolektory
- slučky – V, H
- vertikálne kolektory (vrty)
- geotermálne koše

Kolektory sú plnené nemrznúcou zmesou, ktorej sa bez ohľadu na jej zloženie hovorí solanka. Ide o ekologicky nezávadnú lacnú látku, ktorá nie je jedovatá.

3.1.1 Plošný kolektor

Plošný kolektor je systém trubiek, ktoré sa ukladajú do zeme v hĺbke 1,2 až 1,5 m a vo vzdialenosti asi 60 až 80 cm od seba. Ich dĺžka nemá presahovať 200 m. Jednotlivé okruhy by mali byť rovnako dlhé. Tieto okruhy sa pred vstupom do tepelného čerpadla stretávajú v zberači. Ak je to možné, kolektory uložené v zemi by mali byť z jedného kusu. K predĺženiu

hadíc slúžia špeciálne plastové zvracie spojky. Výkon, ktorý zemný kolektor dosahuje sa pohybuje v medziach 20 až 25 W/m² plochy zeme. Plocha, z ktorej sa teplo odoberá by mala byť (3-4)x väčšia, ako je veľkosť vykurovanej plochy. [1]



Obr. 9 - Plošný zemný kolektor [8]

Jedným z hlavných faktorov pri návrhu kolektorového systému je extrakčná kapacita pôdy. Podľa počtu užívaných hodín tepelného čerpadla sa počet užívaných hodín definuje zvlášť pre vykurovanie (1800 užívaných hodín) a vykurovanie a ohrev TUV spolu (2400 užívaných hodín) podľa normy VDI 4640. [9]

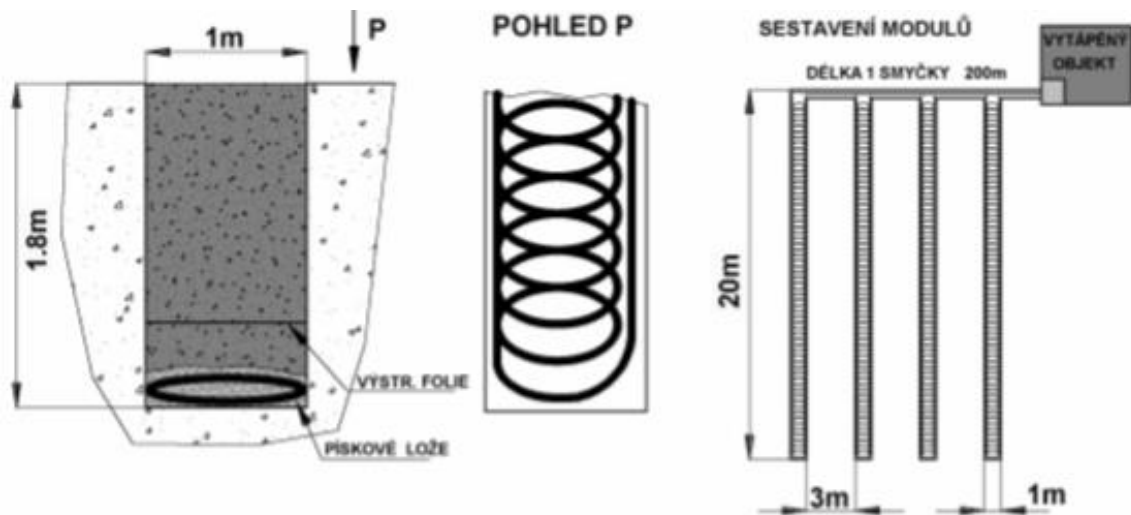
Tabuľka 1 - Maximálna extrakčná kapacita pôdy podľa normy VDI 4640. [9]

Typ podlahy	Max. špecifická extrakčná kapacita pri 1800 prov. h/ročne	Max. špecifická extrakčná kapacita pri 2400 prov. h/ročne
Suchá, nesoudržná pôda	10 W/m ² a 5 W/bm	8 W/m ² a 4 W/bm
Soudržná, vlhká pôda	20–30 W/m ² a 15 W/bm	16–24 W/m ² a 12 W/bm
Vodou nasycený piesok/štěr	40 W/m ² a 20 W/bm	32 W/m ² a 16 W/bm

Systém s plošným kolektorom vyžaduje dostatočne veľký pozemok a nákladné výkopové práce. Pôda nad zemným kolektorom býva na jar viac vychladnutá, čo má dopad na pestovanie plodín a korene stromov.

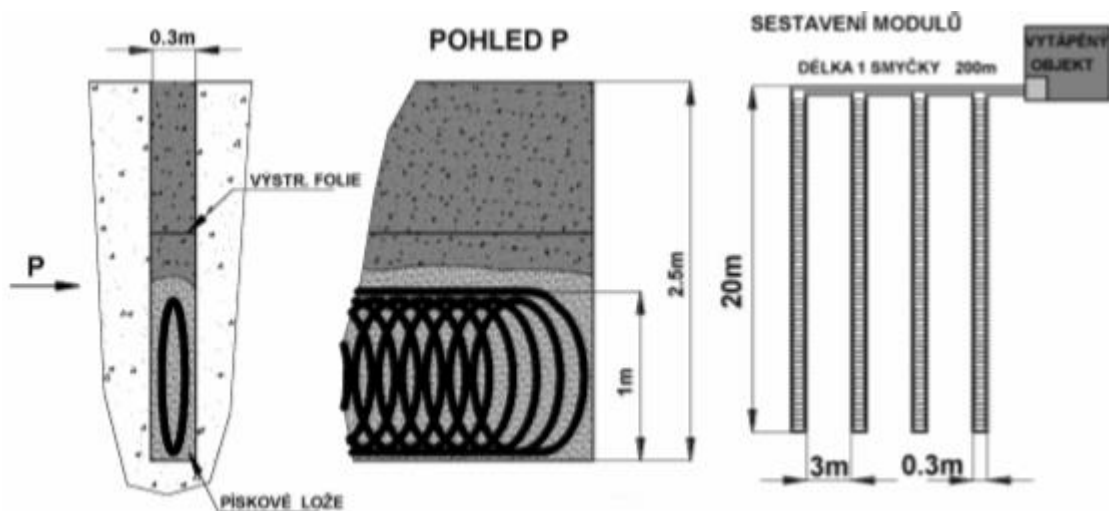
3.1.2 Slučky – V, H

Jedná sa o špeciálny typ zemného kolektoru uloženého do výkopu v tvare slučiek. Slučky vzniknú rozťahnutím zvinutej hadice a v mieste kríženia sa zviažu. Slinky **H**-horizontálne sa ukladajú do výkopu širokého 1 m, v dĺžke asi 20 m a výkopy sú od seba vzdialené 3 až 5 m. Hĺbka výkopu je 1,2 až 1,8 m. Výkon jednej sekcie u prevedenia H je približne 1,5 kW, pri plošnej hustote výkonu zo zeme 20 W/m² a dĺžke 200 m.



Obr. 10 - Zemný kolektor – slučky typu H. [10]

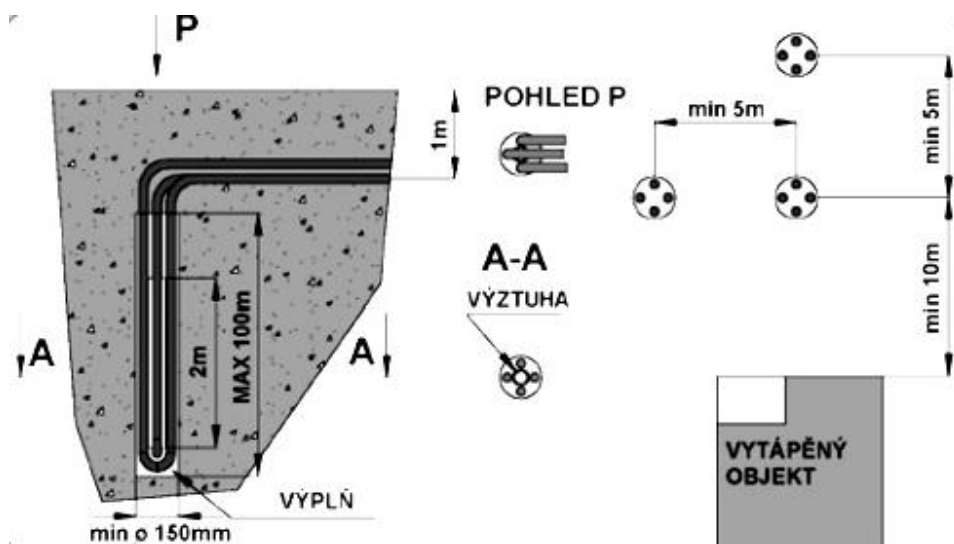
Druhý typ uloženia slučiek je v prevedení V – vertikálne, kedy je výkop hlbší a užší. Dĺžka výkopu je rovnaká ako pri prevedení H, cca 20 m. Hĺbka výkopu 2 až 2,5 m, šírka 0,3 m a výkopy sú od seba vzdialené 3 až 4 m. Pri slučkách v prevedení tvaru V je výkon jednej sekcie pri rovnakej plošnej hustote tepelného toku vyšší, počíta sa až (1,8 – 2) kW. [1]



Obr. 11 - Zemný kolektor – slučky typu V. [10]

3.1.3 Vertikálny kolektor

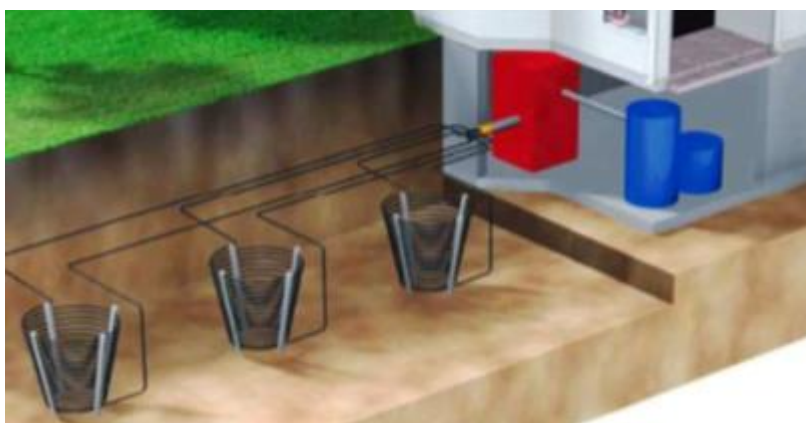
Pre inštaláciu vertikálneho kolektoru sú vytvorené hlboké zemné vrty, do ktorých je vložený plastový výmenník. Vrty majú pomerne malý priemer cca 150 mm a po vložení kolektoru sú vyplnené vhodnou hmotou. Výmenník tvoria dve alebo štyri hadice, ktoré sú na konci pripojené k špeciálnej hlavici. Vďaka tejto hlavici sa z nich vytvorí jedna alebo dve slučky tvaru U. V závislosti na geologickej situácii a požadovanom výkone sa určuje hĺbka vrtu (50 až 120 m). Priestor v okolí hadíc je vyplnený plastickou zmesou na kompenzáciu tlaku. V spodnej časti býva statický tlak v prípade vody 1,2 MPa. Doporučená rozteč vrtov je minimálne 5 až 10 m. Hĺbka vrtov a dĺžka kolektorov závisí hlavne na zložení podlažia a množstve podzemnej vody.



Obr. 12 - Uloženie vertikálneho kolektoru v zemi. [10]

3.1.4 Geotermálny kôš

Jednou z variant uloženia kolektoru do zeme je aj využitie geotermálnych energetických košov. Aplikujú sa v prípadoch, kde nie je možné z akéhokoľvek dôvodu vytvárať hlbinné vrty alebo nie je priestor pre klasický zemný kolektor. Odber tepla prebieha vo vrchných geologických vrstvách, kde ešte dochádza k regenerácii slnečným žiarením a nasiaknutím povrchovej vody. Dobrá účinnosť sa ukazuje v oblastiach s výskytom vyššej hladiny spodnej vody. Vďaka kónickému tvaru koša je možné pre aplikáciu využiť bežné dostupné technológie.



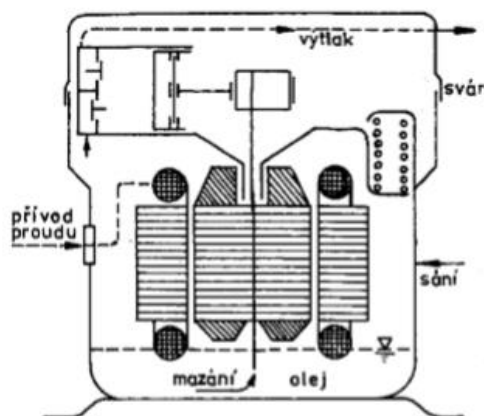
Obr. 13 - Geotermálny energetický kôš. [4]

3.2 Kompresory

Pary chladiva vzniknuté vo výparníku sa stlačia a silne zahrejú. Po zahriatí vedú do kondenzátoru, kde sa skvapalnia a odovzdávajú teplo vykurovacej vode. K stlačeniu pár slúži v TČ kompresor. Pre správny chod tepelného čerpadla sú dôležité tlaky a teploty na sacom a výtlačnom potrubí kompresoru. Pri nasávaní pár sa teploty pohybujú v rozmedzí $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a na výtlaku $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tlaky závisia na pracovných podmienkach a použitom chladive. Obvyklé rozmedzie tlakov na saní je $(0,1 - 0,5)\text{MPa}$ a na výtlaku $(0,5 - 2,5)\text{MPa}$. Kompresory dokážu prekročiť aj tlaky 3MPa , a preto sú do nich inštalované pretlakové ventily. Objem nasávaných pár vzťahnutý k tlaku na sacom hrdle sa nazýva sací výkon. Udáva sa v $[\text{m}^3/\text{hod}]$. [1]

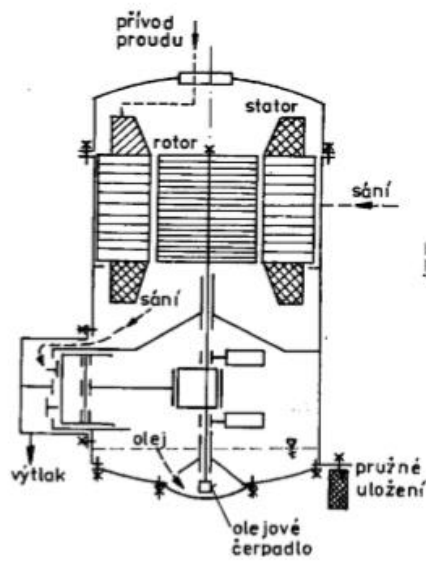
Existujú rôzne druhy prevedenia kompresorov [1] :

- **Hermetické prevedenie** – kompresor a elektromotor sú na spoločnej hriadeli a v jednej nádobe. Z nádoby vedie len sacie a výtlačné potrubie, čím je zabezpečená úplná tesnosť a nemôže dochádzať k úniku chladiva.



Obr. 14 - Schéma hermetického kompresoru. [10]

- **Polohermetické prevedenie** – v hermetickej skrini sa nachádza kompresor aj elektromotor, vďaka čomu nie sú potrebné žiadne tesnenia. Ventilová doska kompresoru, kľuková skriňa a elektromotor sú dostupné pomocou demontovateľných vík. Väčšinou piestové kompresory pre väčšie chladiace zariadenia.

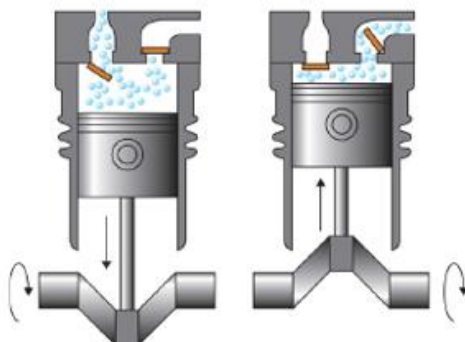


Obr. 15 - Schéma polohermetického kompresoru. [10]

- **Otvorené prevedenie** – v skrini sa nachádza len kompresor. Hriadeľ je utesnená proti úniku chladiva, vychádza zo skrine von k pohonnej jednotke, ktorou okrem elektromotoru môže byť aj spaľovací motor.

3.2.1 Piestový kompresor

Piestové kompresory sú najviac rozšírené hlavne v chladiacich zariadeniach. Väčšina kompresorov tohoto typu využíva pre pohyb piestu kľukový mechanizmus alebo excenter. Vyrábajú sa však aj kompresory so šikmou kruhovou doskou, ktorá sa otáča okolo stredu a svojím pohybom umožňuje vratný pohyb jedného alebo viacerých piestov. Kompresor nasáva pary chladiva, ktorými je chladený elektromotor. Nevýhodou týchto kompresorov je, že neznesú bez poškodenia nasatie kvapalného chladiva. Z toho dôvodu sa do sacieho potrubia zaraďuje odlučovač kvapalného chladiva. Taktiež sú vybavené poistnými prvkami ako tepelná ochrana vinutia motoru (keď sa motor prehreje, vypne sa) alebo pretlaková poistka. Hlučnosť piestových kompresorov je väčšina ako u kompresorov scroll. [6]



Obr. 16 - Princíp piestového kompresoru. [11]

3.2.2 Rotačný kompresor

Rotačné kompresory sú zostrojené tak, aby bol odstránený vratný pohyb piestu typický pre piestové kompresory. Zaraďujú sa sem kompresory s rotujúcim piestom, lamelové, Rootsove kompresory, swingujúce kompresory a ďalšie. V TČ sa využívajú najmä dvojité rotačné kompresory. Tvoria ich dve pevné komory a v každej z nich sa otáča excentrická vačka. Vačka stláča chladivo v spolupráci s pohyblivou komorovou priehradkou. Vačky sú uložené na jednej hriadeli v protiľahlej polohe. Kompresor má tichý chod, malé vibrácie a vysokú účinnosť, ktorá sa dá plynule regulovať frekvenčným meničom.



Obr. 17 - Dvojité rotačný kompresor. [12]

3.2.3 Skrutkový kompresor

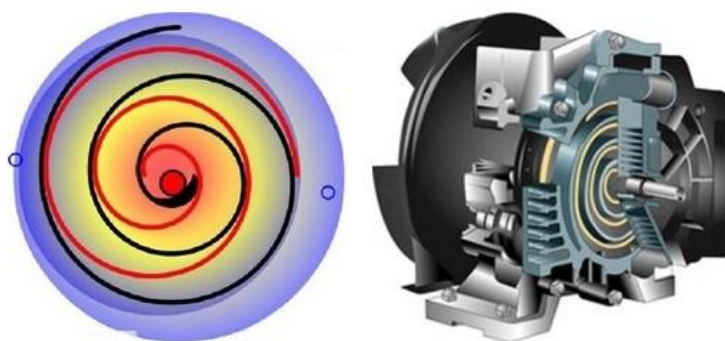
Základom sú dva skrutkové rotory, ktoré sa po sebe odvaľujú. Sú dostupné v prevedení s mazivom a bez maziva, jednorotorové a dvojrotorové. Tieto kompresory sa používajú pre vysoké výkony. [6]



Obr. 18 - Skrutkový kompresor. [13]

3.2.4 Špirálový scroll kompresor

Jedná sa o najviac používaný kompresor v TČ. Tvoria ho dve kovové špirály, vložené do seba. Horná špirála je pevná a v jej strede je umiestnený otvor prepojený s výtlačným potrubím. Spodná časť sa odvaľuje po vrchnej špirále v smere z obvodu do stredu špirály pomocou excentra. Plynové kapsy, ktoré vznikajú v miestach s rozličným zakrivením, smerom ku stredu zmenšujú svoj objem, a zahrievajú sa. K stlačovaniu pár chladiva dochádza len v jednom smere, a tak nie je pri scroll kompresoroch uvádzaný škodlivý priestor, ktorý u piestových kompresoroch znižuje účinnosť. Oproti piestovým kompresorom majú nižšie vibrácie, čo sa prejaví aj na nižšej hlučnosti. Sú odolné proti nasávaniu kvapalného chladiva a z konštrukčnej stránky sú oveľa jednoduchšie (obsahujú menej pohyblivých častí). Kompresory sa vyrábajú len v hermetickom prevedení, pričom sú motory chladené parami chladiva. Je dôležité, aby sa dodržal smer otáčania motoru.



Obr. 19 - Scroll kompresor. [12]

3.3 Výmenníky tepla

Jednou zo základných konštrukčných prvkov TČ sú výmenníky tepla. Zabezpečujú výmenu tepla medzi médiami tak, aby nedošlo k ich fyzickému kontaktu. Druhá veta termodynamiky vraví, že teplo sa predáva len z prostredia s vyššou teplotou do prostredia s nižšou teplotou. Jednotlivé médiá tak nesmú mať rovnakú teplotu. V TČ sa vyskytujú dva

základné výmenníky tepla. Je to kondenzátor a výparník. Slúžia k predávaniu tepla zo zdroja tepla (vonkajšie prostredie) do chladiva a z chladiva do vykurovacieho systému. V dnešnej dobe existuje veľa typov výmenníkov tepla. V TČ sa pri prenose tepla medzi médiami kvapalina – chladivo používajú doskové a trubkové výmenníky.

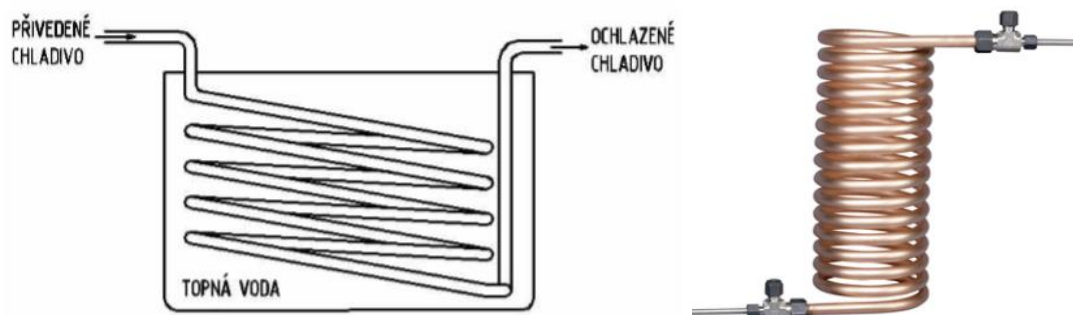
Kondenzátor – tento tepelný výmenník, predáva teplo do vykurovacej sústavy. Chladivo pri vysokom tlaku a teplote kondenzuje a odovzdá teplo teplonosnému médiu (pri vykurovaní - voda).

Výparník – je to tepelný výmenník, ktorý sa nachádza na primárnom okruhu TČ a odoberá teplo nízkopotenciálnemu zdroju tepla. V prípade tepelného čerpadla zem-voda je zdrojom geotermálne teplo. Pri nízkej teplote a tlaku je chladivo schopné sa vyparovať, čo umožňuje získavať tak teplo z teplonosnej látky aj pri nízkych teplotách.

3.3.1 Trubkové výmenníky tepla

Jedným z trubkových výmenníkov je výmenník trubka v trubke. Skladá sa z trubky o väčšom priemere, do ktorej je vsunutá a vycentrovaná trubka menšieho priemeru alebo zväzok trubiek. Chladivo prúdi vo vnútornej trubke a v priestore medzi trubkami prúdi solanka či voda. Aby sa dosiahla čo najväčšia teplosmenná plocha, sú tieto výmenníky zvinuté do kruhu požadovaného priemeru. Niektoré sú doplnené rebrami, vďaka ktorým je ich dĺžka podstatne menšia.

Ďalším z trubkových výmenníkov je výmenník skladajúci sa z valcovej nádoby väčšieho priemeru, do ktorej sa vkladá trubka v tvare špirály alebo zväzok trubiek. Tie sú vonku paralelne prepojené, aby sa dosiahlo veľkej teplosmennej plochy. Majú jednoduchú konštrukciu a malé tlakové straty. Pri vhodnom konštrukčnom prevedení sa dá tento výmenník jednoducho rozobrať a vyčistiť, a tak môže byť použitý aj pri znečistených kvapalinách. [1]

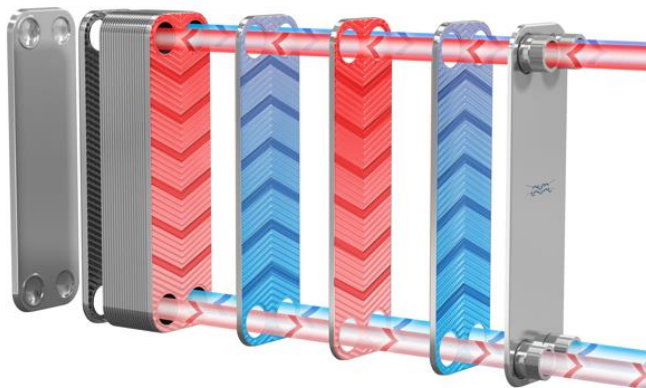


Obr. 20 - Trubkový výmenník s nádobou a výmenník trubka v trubke. [14]

3.3.2 Doskové výmenníky tepla

Profilované dosky tvoriace teplosmennú plochu vytvárajú prietokový priestor pre zdieľanie tepla (medzi doskami). Ich súčasťou sú zberné a rozdeľovacie kanáliky oboch médií. Vďaka zvarom a tesnení sú médiá striedavo rozdelené medzi dosky. Súčiniteľ prestupu tepla a tlakové straty určuje tvar a hĺbka prelisu. Výmenník tvorí kompaktný celok. Jednotlivé dosky sú k sebe na viacerých miestach spájané čistou meďou, niklom alebo sú zavarené. Vďaka tomu sú schopné znášať vysoké tlaky. Ich prevádzková veľkosť tlakov sa pohybuje v rozmedzí (1,6 – 3,2) MPa. Zvárané a spájkované výmenníky sú nerozoberateľné a počet ich dosiek už nie je možné meniť. Väčší počet dosiek (nad 30) majú výmenníky, ktoré slúžia ako výparník. Sú v prevedení s distribútorom (rozdeľovačom) chladiva pre rovnomerné rozloženie chladiva medzi dosky. Distribútor je tvorený pri výrobe dosiek ich tvarovaním a veľkosťou otvorov.

Výhodou doskových výmenníkov je vysoká účinnosť a vysoký prenesený výkon pri malých rozmeroch. Ich nevýhodou je, že z dôvodu malých rozmerov medzi jednotlivými doskami sa môžu ľahko upchať alebo zaniest'. Existujú však aj v rozoberateľnom prevedení, kedy je možné ich jednoducho rozobrať a vyčistiť. Pre svoje prevažujúce výhody sa v TČ veľmi často používajú.



Obr. 21 - Prúdenie médií v doskovom výmenníku. [15]

3.4 Expanzný ventil

Expanzný ventil vytvára v okruhu tlakové rozhranie medzi vyparovacím a kondenzačným tlakom. Niekedy sa nazýva aj vstrekovací ventil. Ventil zaisťuje expanziu kvapalného chladiva a do výparníku privádza také množstvo expandovaného chladiva, ktoré je schopné sa vo výparníku vypariť.

Podľa konštrukcie sa expanzné ventile delia na :

- termostatické expanzné ventile (TEV)
- elektronické expanzné ventile (EEV)

3.4.1 Termostatický expanzný ventil

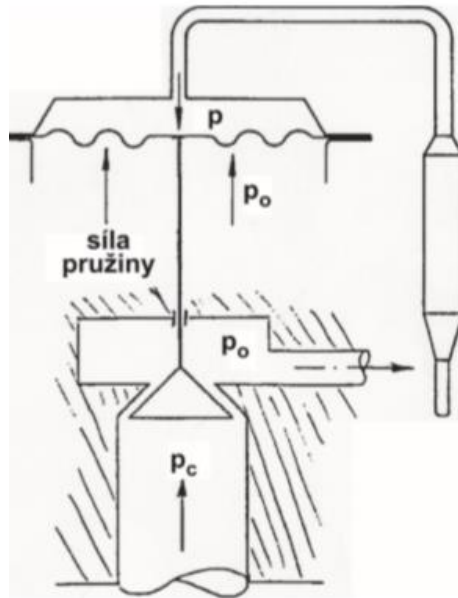
Jednou z hlavných častí termostatického expanzného ventilu (TEV) je tryska. Trysku otvárajú sily vytvorené tlakom plynov na membránu ventilu a pružinou regulačnej skrutky. Ďalšou časťou TEV je tykavka (teplotné čidlo). Jedná sa o malú nádobu naplnenú vhodným médiom, v ktorej pri zvýšení teploty sa zvýši aj tlak. Pomocou kapiláry sa tlak prenáša na membránu TEV. S rastúcou teplotou tykavky sa zvyšuje tlak nad membránou a s vyparovacou teplotou rastie tlak pod membránou. Rozdiel týchto tlakov vytvára silu, ktorá pôsobí proti sile pružiny ventilu, čo má za následok otváranie a zatváranie trysky ventilu. Podľa požadovaného výkonu a druhu chladiva sa mení veľkosť trysiek. [1]



Obr. 22 - Termostatický expanzný ventil. [6]

Na trysku TEV pôsobia tri sily (Obr. 23):

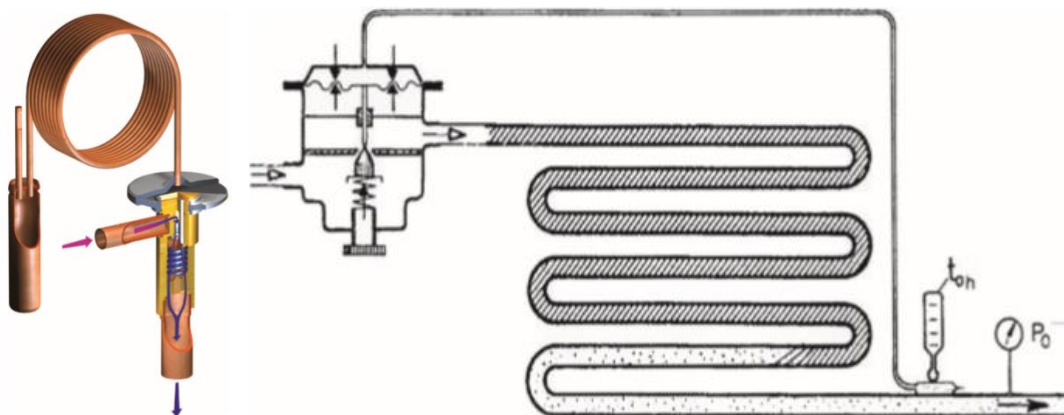
- Sila vyvolaná tlakom na membránu od tykavky. Táto sila pôsobí zhora a trysku otvára. Je funkciou teploty.
- Sila vyvolaná vyrovnávacím tlakom potrubia (p_c). Pôsobí na membránu zospodu a trysku zatvára.
- Sila vyvolaná pružinou ventilu, ktorá ventil zatvára. Táto sila sa dá meniť otáčaním skrutky na ventile a počas prevádzky je konštantná. Regulačná skrutka sa po konečnom nastavení hermeticky uzavrie zaslepenou maticou, aby nedochádzalo k úniku chladiva.



Obr. 23 - Sily pôsobiace na membránu TEV. [6]

3.4.2 Vnútorne a vonkajšie vyrovnanie tlakov

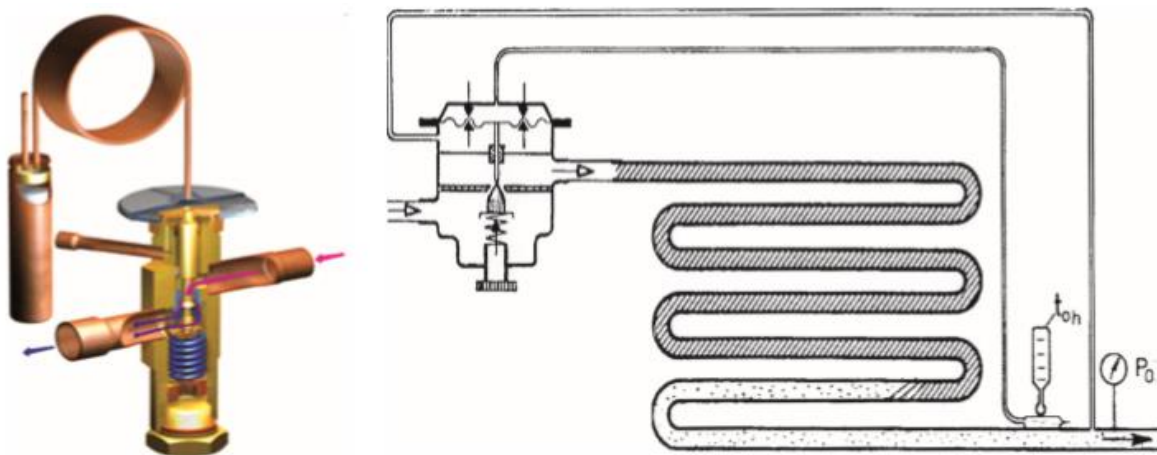
Vnútorne vyrovnanie tlakov – regulačná pružina spolu s tlakom chladiva po expanzii pôsobí na spodnú stranu membrány. Z toho vyplýva, že nie je zohľadňovaný rozdiel tlakov na vstupe a výstupe z výparníka. Veľkosť prehriatia tak určuje iba regulačná pružina. Takéto ventily sú vhodné pre jednoduché okruhy a výparníky do výkonu 1 kW. Na obr. 24 je znázornený rez TEV s vnútorným vyrovnaním tlakov a jeho pripojenie k výparníku.



Obr. 24 - Rez TEV s vnútorným vyrovnaním tlakov a pripojenie k výparníku. [6]

Vonkajšie vyrovnanie tlakov – čím je výparník väčší a zložitejší, tým väčšiu tlakovú stratu vykazuje. Prejavuje sa väčším rozdielom medzi vstupným a výstupným tlakom

z výparníku. Riešenie upravením vlastného tela ventilu je zobrazené na obr. 25, spolu so schematickým zapojením TEV k výparníku.



Obr. 25 - Rez TEV s vonkajším vyrovnaním tlakov a pripojenie k výparníku. [6]

Expanzný ventil s MOP (Maximum Operating Pressure) sa používa, keď sa zariadenie spúšťa z teplého stavu. Vtedy môže dôjsť k zvýšeniu vyparovacieho tlaku a k preťaženiu elektromotoru. MOP je maximálny prevádzkový vyparovací tlak, pri ktorom TEV uzavrie vstrekovanie chladiva do výparníku a zabráni nárastu vyparovacieho tlaku. Ventil pracuje ako obmedzovač tlaku. Vlastnosti MOP sa dosiahnu vhodnou náplňou tykavky. [1]

3.4.3 Elektronické expanzné ventile

Tento druh expanzného ventilu sa od TEV líši tým, že nemá žiadnu membránu ani tykavku. Skladá sa z trysky príslušnej veľkosti, ktorá sa otvára alebo zatvára pomocou elektromagnetu. Elektromagnet riadi elektrická jednotka na základe údajov zo snímačov za výparníkom, za ventilom a inde. Jedná sa o presnejšie a citlivejšie regulovanie prehriatia. [6]

Výhody elektronických expanzných ventilov sú :

- výmenné trysky
- regulačný rozsah 10 až 100 %
- možnosť použitia jedného ventilu pre všetky chladivá
- dlhá životnosť
- malý prevádzkový hluk

Vyskytujú sa v dvoch prevedeniach :

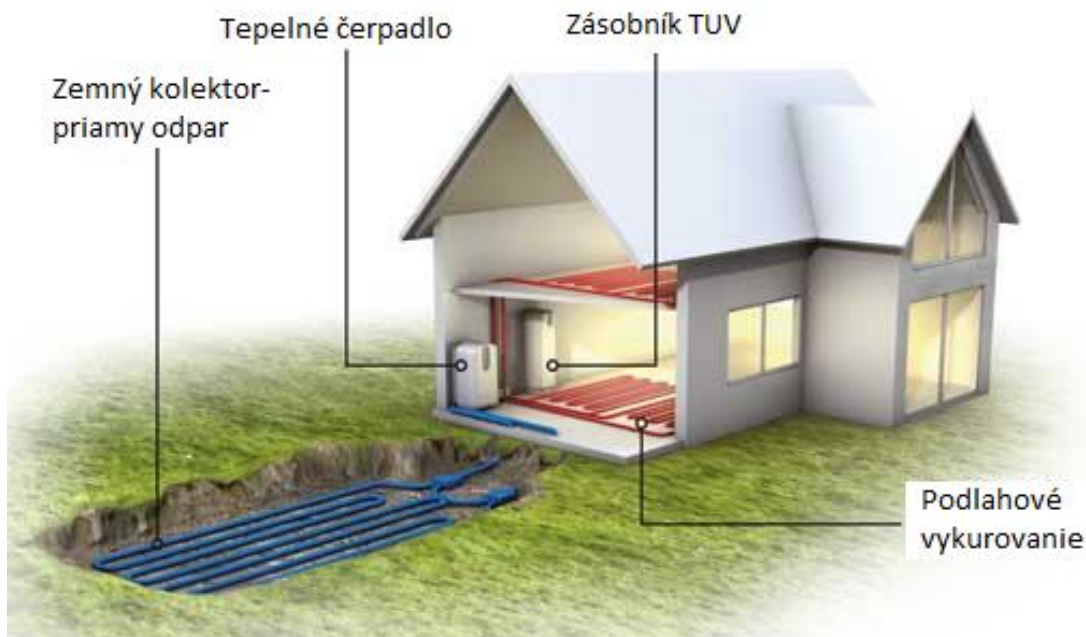
- elektronické expanzné ventile pulzné
- elektronické expanzné ventile s krokovým motorom



Obr. 26 - EEV – pulzný . [6]

3.5 Systém priameho vyparovania chladiva

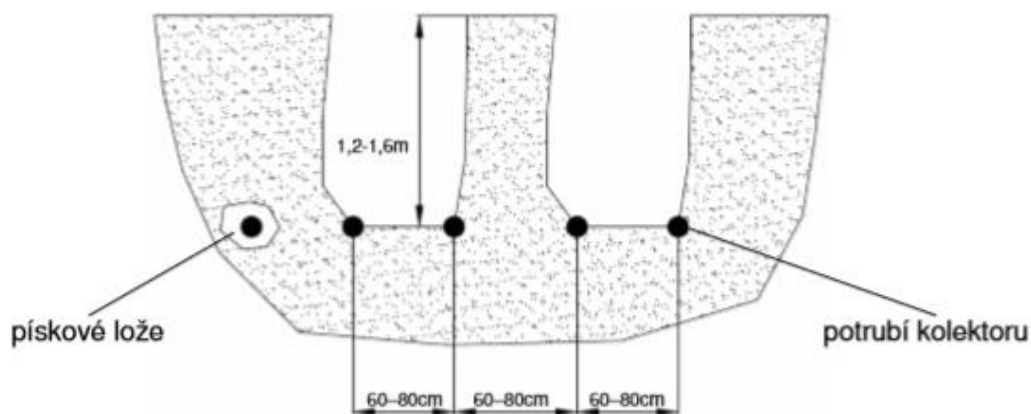
Pri použití TČ zem-voda so systémom priameho vyparovania chladiva v zemnom kolektore odpadá nutnosť použitia prenosového média (odpadá soľankový okruh). Táto technológia predstavuje najdokonalejší spôsob odberu a prechodu tepla do objektu. Výhodou systému priameho vyparovania chladiva je, že nie je potrebné použitie tepelného výmenníka (výparník) a obehového čerpadla primárneho okruhu. Odovzdávanie tepla na strane zdroja tepla prebieha priamo zo zdroja do chladiva. Chladivo prúdi v medených rúrkach, ktoré sú potiahnuté plastom. Rúrky sa ukladajú podobne ako rozvody soľankového systému, ale nie je možné použiť zemné vrty. Vďaka koncepcnej jednoduchosti je spoľahlivé, má vysokú životnosť, nízke prevádzkové náklady, ako aj náklady na údržbu. Zemný zberač má vysokú tepelnú vodivosť, čo zaisťuje zníženie tepelných strát a dosiahnutie najvyššej možnej účinnosti.



Obr. 27 - TČ zem-voda s priamym výparom chladiva. [17]

3.5.1 Inštalácia zemného kolektoru

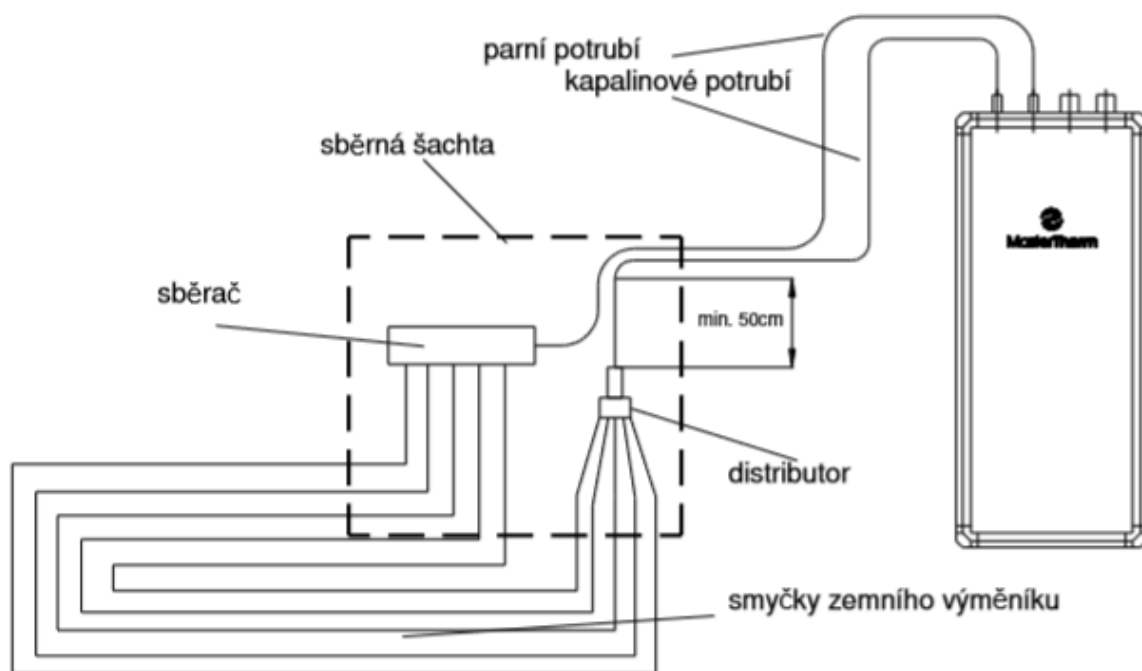
Medené potrubie potiahnuté plastom odoberá teplo priamo zo zeme. Chladivo prúdi v zemnom výmenníku, a preto je dôležité dodržať počet okruhov zemného výmenníku a dĺžku potrubia, aby bol zabezpečený návrat oleja do kompresoru. Medené potrubie sa ukladá cca 40 cm pod zamrzajúcu hĺbku, teda asi 1,2 až 1,6 m do zeme. Rozteč potrubia sa volí 60 až 80 cm. Ak sa jedná o pozemok v svahu, je nutné voliť taký smer uloženia kolektoru, aby potrubie od polovice svojej dĺžky malo klesajúci spád smerom od distribútora ku zberaču. Tým sa zaisťuje návrat oleja do kompresoru. Na obr. 28. je zobrazené uloženie potrubia zemného kolektoru do zeme. [10]



Obr. 28 - Uloženie potrubia zemného kolektoru pre priamy výpar chladiva. [10]

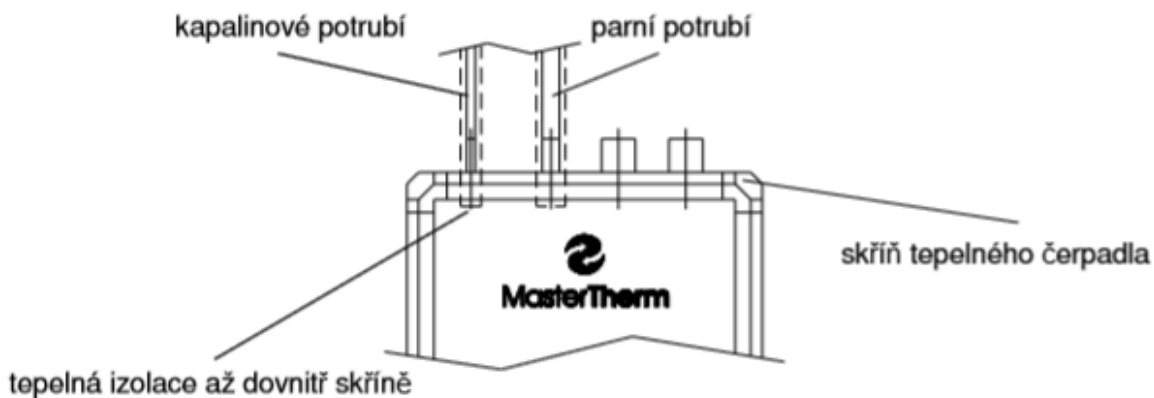
3.5.2 Prepojenie zemného kolektoru a TČ

Distribútor a zberač sú väčšinou umiestnené v zbernej šachte. Šachta je tvorená skružami vhodného priemeru, ale je možné použiť aj prefabrikované plastové šachty. Podľa typu použitého čerpadla je potrebné správne voliť distribútor a zberač chladiva. Distribútor sa inštaluje v zvislej polohe s priamym úsekom kvapalinového potrubia o minimálnej dĺžke 50 cm.



Obr. 29 - Schéma zapojenia zemného výmenníku a TČ. [10]

Samotné tepelné čerpadlo je po spojení okruhových distribútorom a zberačom napojené kvapalinovým a parným potrubím. Tieto potrubia je nutné izolovať, aby sa zabránilo kondenzácii a namrzaniu povrchu potrubia. Izolácia nie je nutná, pokiaľ je potrubie uložené v nezamrzajúcej hĺbke. Odporúčaná hrúbka izolácie je 9 mm a musí byť v hermetickom prevedení. Všetky spoje sú lepené lepidlom alebo prelepené izolačnou páskou. Ak je izolácia spravená nekvalitne, kondenzát zatečie do skrine TČ a hrozí korózia vo vnútri skrine. Je dôležité aby izolácia prenikala až do vnútra skrine TČ. [10]



Obr. 30 - Ukončení izolácie v skřini TČ. [10]

3.6 Chladivá

Chladivo je v systéme TČ nenahraditeľnou súčasťou. Je nositeľom energie. Dôležité sú najmä jeho termodynamické vlastnosti ako vyparovanie za nízkych teplôt. Vďaka tomu je možné využívať nízkopotencialne zdroje tepla. V súčasnosti je veľa druhov chladiv. Pre využitie v TČ sa hodí len niektoré z nich. Pri označovaní chladiv písmeno R znamená chladivo, z anglického slova „refrigerent“. Písmeno C značí cyklický z „cyclic“. Chladivá sa rozdeľujú podľa rôznych vlastností. Tabuľka 2 popisuje jednotlivé skupiny podľa číselného označenia. [1]

Tabuľka 2 - Rozdelenie chladiv podľa chemického zloženia do skupín.

R10 až R50	skupina na bázi metanu
R110 až 170	skupina na bázi etanu
R216 až 290	propanová skupina
RC316 až RC318	skupina cyklických uhlovodíků
R400 až R411B	zeotropní směsi chladiv
R500 až R509	azeotropní směsi chladiv
R600 až R620	ostatní organické sloučeniny
R630 až R631	sloučeniny dusíku
R702 až R764	anorganická chladiva
R1112 až R1270	nenasycené uhlovodíky

Pri správnej voľbe chladiva je potrebné brať do úvahy rôzne kritériá, napríklad :

- oblasť použitia s ohľadom na prevádzkové podmienky
- odporúčanie výrobcu kompresoru podľa použitého oleja v kompresore
- žiadaný výkon s ohľadom na vlastnosti kompresoru
- dostupnosť chladiva
- cena chladiva
- ekologická nezávadnosť

V dnešnej dobe sa kladie čoraz väčší dôraz na ekologickú nezávadnosť chladív. Boli preto vytvorené koeficienty, ktorými sa jednotlivé chladivá hodnotia:

GWP (Global Warming Potential) – je to koeficient, ktorý označuje vplyv látok na takzvaný skleníkový efekt, ktorý je jednou z príčin globálneho otepľovania zeme. Pri tomto čísle sa udáva aj počet rokov vplyvu a je vzťahované k $CO_2/100$ rokov, u ktorého je stanovený $GWP=1$. Ak je číslo väčšie, znamená to vyšší negatívny vplyv.

ODP (Ozone Depletion Potential) – koeficient popisuje vplyv plynov a pár chladív na poškodzovanie ozónovej vrstvy Zeme. Jedná sa o relatívne číslo a za jeho základ bol vzatý freón R11. Jeho koeficient bol stanovený ako 1, a čím je číslo menšie, tým je vplyv poškodzovania atmosféry nižší. [1]

Tabuľka 3 - Hodnoty ODP, GWP a zloženia vybraných chladív [19].

Fluorované skleníkové plyny			ODP	GWP	
Chladiva HFC	R23	CHF_3	0	14 800	
	R32	CH_2F_2	0	675	
	R125	C_2HF_5	0	3 500	
	R134a	CH_2FCF_3	0	1 430	
	R152a	$C_2H_4F_2$	0	124	
	R143a	$C_2H_3F_3$	0	4 470	
	R227ea	C_3HF_7	0	3 220	
	R236fa	$C_3H_2F_6$	0	9 810	
Směsi obsahující chladiva HFC	R404A	R125 / R134a / R143a	44 / 4 / 52 %	0	3 922
	R407A	R32 / R125 / R134a	20 / 40 / 40 %	0	2 107
	R407B	R32 / R125 / R134a	10 / 70 / 20 %	0	2 804
	R407C	R32 / R125 / R134a	23 / 25 / 52 %	0	1 774
	R410A	R32 / R125	50 / 50 %	0	2 088
	R417A	R125 / R134a / R600	46,6 / 50,0 / 3,4 %	0	2 346
	R422D	R125 / R134a / R600	65,1 / 31,5 / 3,4 %	0	2 729
	R427A	R32 / R125 / R143a / R134a	15 / 25 / 10 / 50 %	0	2 138
	R437A	R134a / R125 / R600 / R601	78,5 / 19,5 / 1,4 / 0,6 %	0	1 805
	R507	R125 / R143a	50 / 50 %	0	3 985
	R508A	R23 / R116	39 / 61 %	0	13 214
	R508B	R23 / R116	46 / 54 %	0	13 396

3.6.1 Rozdelenie chladív podľa fyzikálnych vlastností

Azeotropné chladivá – sú to chladivá, ktoré sa chovajú ako čisté kvapaliny. Zloženie pár a kvapaliny sa počas fázovej premeny z pary na kvapalinu nemení. Môžu byť jednozložkové a dvojzložkové. Príkladom azeotropného chladiva je chladivo R22 alebo R290. Azeotropná zmes je napríklad R502, R507.

Zeotropné chladivé – jedná sa o zmesi väčšinou 2 až 4 druhov chladív, ktoré majú počas fázovej zmeny pary na kvapalinu premenné zloženie. Pri tomto druhu chladiva sa uvádza aj teplotný sklz. Je to rozdiel teplôt varu pri rovnakom tlaku (meria sa v K). Zeotropné chladivo je napríklad R407a. Existujú aj blízko azeotropné chladivá. Sú to tie, ktorých rozdiel teplôt nasýtených pár zložiek je veľmi malý. Blízko azeotropným chladivom je napríklad chladivo R404a. [1]

3.6.2 Rozdelenie chladív podľa chemického zloženia

HC – jedná sa o skupinu prírodných uhlíkovdík a ich zmesí. Neobsahujú halogenidy, ale sú horľavé. Ich $ODP=0$, čo znamená, že nemajú žiadny škodlivý vplyv na ozón. $GWP=3$ (približne), takže majú minimálny vplyv na skleníkový efekt.

HFC – v molekule neobsahujú atómy chlóru, len fluór. Ich ODP=0 ale koeficient GWP môže byť značne vysoký. Do tejto skupiny patria napríklad R134a, R152a, R125, R32, R218, R407c, R404a.

HCFC – Ide o chlorofluorované uhľovodíky, ktorých molekula obsahuje aj atómy vodíku. Sú známe pod názvom „mäkké freóny“. Ich ODP je relatívne nízke a GWP stredné až vysoké. Patria sem R21, R22, R141b, R142b, R123, R124.

CFC – sú to plno halogenizované uhľovodíky a ich zmesi. Atómy vodíku v molekule sú nahradené atómami prvkov zo skupiny halogenidov (fluór, chlór, bróm). Sú známe pod názvom „tvrdé freóny“. Patria sem chladivá ako R11, R12, R13, R113, R114, R115, R502 a ďalšie. Majú vysoké ODP aj GWP. [1]

4. NÁVRH ZEMNÉHO TČ S PRIAMYM VÝPAROM CHLADIVA

Úlohou je navrhnuť TČ systému zem-voda o výkone 3 kW pri podmienkach B0W35. Vzhľadom k malému výkonu sa jedná o tepelné čerpadlo určené k vykurovaniu objektov s nízkou potrebou tepla. Snahou je zostrojiť čerpadlo, ktoré využíva chladivo s nízkym GWP. Keďže sa jedná o systém priameho vyparovania chladiva, súčasťou návrhu je aj riešenie zemného výmenníku pre získavanie tepla zo zeme.

4.1 Výber chladiva

Výber chladiva (pracovného média) je jedným z najdôležitejších rozhodnutí pri návrhu TČ. Podľa chladiva sa následne volí kompresor a ostatné komponenty, ktoré sú optimalizované priamo pre daný typ chladiva.

4.1.1 R290

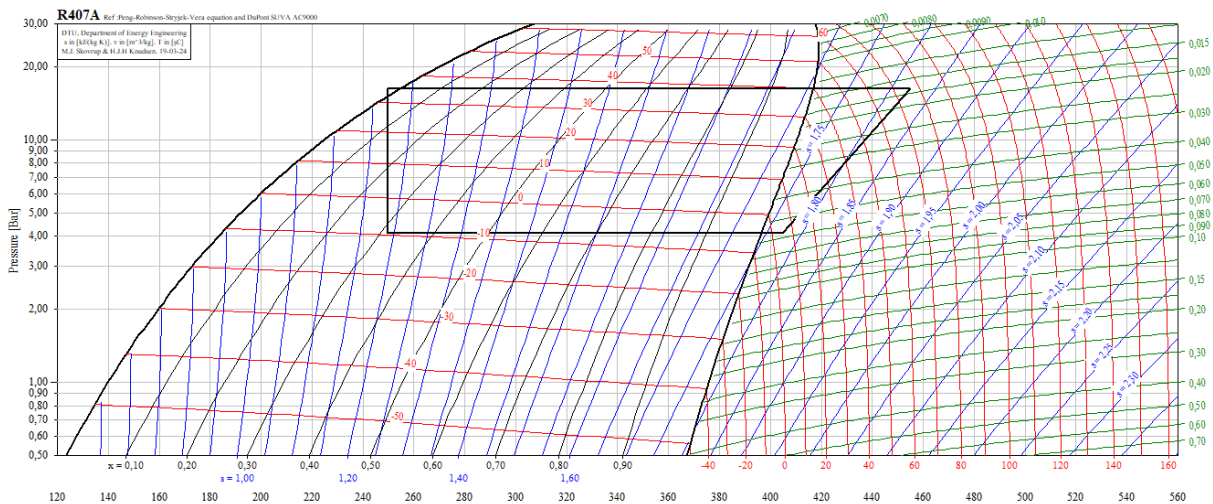
Pôvodná myšlienka bola zvoliť chladivo R290 - propan. Ide o moderné, ekologické, prírodné chladivo s množstvom výhod a dobrých vlastností. Toto chladivo je jednoduché, má nízke GWP (GWP=3) a samotný propan je pomerne lacný. Má výborné termodynamické vlastnosti a tlaky sa pohybujú v uspokojivých hodnotách. V porovnaní s HFC/HCFC chladivami má R290 nižšie výtlačné teploty. Nevýhodou tohto chladiva je jeho stupeň horľavosti – vysoko horľavý (A3). Bolo potrebné pristúpiť k inej voľbe chladiva, pretože pri použití R290 boli nájdené len kompresory a komponenty, ktorých výkony presahovali požiadavky o nízkom výkone.

4.1.2 R134a

Ďalším z chladív, ktoré pri použití odpovedalo požadovaným výkonom, je chladivo R134a. Patrí do skupiny bezchlórových chladív. R134a je jednozložkové chladivo, ktoré dokáže dosiahnuť výstupnej teploty až 75 °C na kondenzátore. Je to nízkotlakové, azeotropné, nehorľavé chladivo. V kvapalnej aj plynnej forme je bezfarebné, je nevýbušné a nie je jedovaté. Používa sa iba s olejmi POE.

4.1.3 R407A

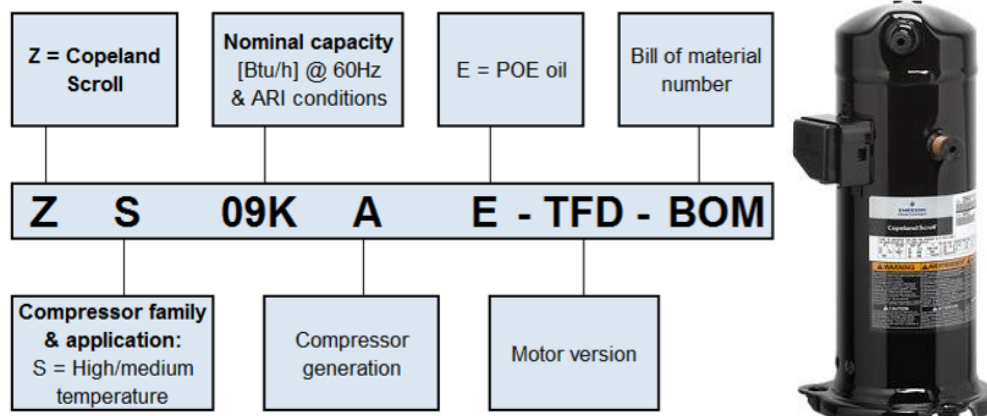
Výber chladiva nakoniec padol na R407A. Je to HFC chladivo, ktoré je na trhu už vyše 20 rokov. Jeho hlavnou výhodou je, že má nižší dopad na životné prostredie. Má nulový potenciál vplyvu na ozónovú vrstvu, nízke GWP, je nehorľavé a netoxické. R407A je zeotropná zmes, preto musí byť plnená v kvapalnej fáze, aby nedošlo k deleniu zložiek. Taktiež predstavuje ideálny retrofit pre väčšinu systémov s náplňou R404A, ktoré má jednu z najvyšších hodnôt GWP. Percentuálny obsah jeho zloženia, hodnoty GWP a ODP je možné vidieť v kapitole 3.6 Chladivá v tabuľke 2. Na obr. 31 je zobrazený v p-h diagrame chladivový obeh R407A pri podmienkach B0/W35. Obrázok bol vytvorený v programe Coolpack.



Obr. 31 - Chladivový obch R407A.

4.2 Voľba kompresora

Po voľbe chladiva je na rade výber kompresora, ktorý závisí na požadovanom vykurovacom výkone chladivového okruhu a dostatočnej účinnosti. V našom prípade ide o vykurovací výkon 3 kW pri podmienkach B0/W35 a vykurovací faktor COP=3. Na výber kompresoru bol použitý softwar Select 8 od spoločnosti COPELAND, ktorá je jednou z najväčších spoločností dodávajúcich kompresory pre chladivové okruhy. Do programu bola zadaná kondenzačná teplota (40 °C) a vyparovacia teplota (-5 °C). Označenie a typ zvoleného scroll kompresoru je **ZS09KAE-PFJ**. Informácie o označení modelu sú uvedené na obr. 32.



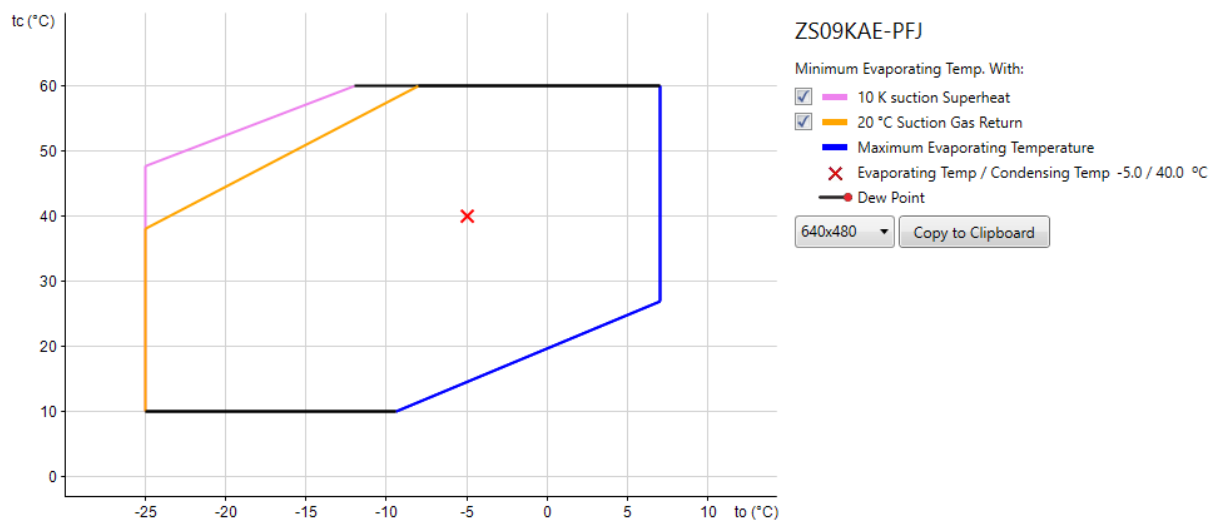
Obr. 32 - Technické informácie o označení kompresoru. [20]

Do úvahy bol braný aj kompresor ZS13KAE-PFJ, ktorý mal pri použití chladiva R134a výkon 3,08 kW, ale jeho COP nedosahovalo požadovanej hodnoty. Pre porovnanie výkonov kompresorov ZS09KAE-PFJ a ZS13KAE-PFJ bola zastavená tabuľka 4, z ktorej vyplýva, že požadovaným parametrom najviac odpovedá kompresor ZS09KAE-PFJ pri použití chladiva R407A.

Tabuľka 4 - Porovnanie výkonov kompresorov pri použití rôznych chladív.

Kompresor	Chladivo	Chladiaci		Vykurovací
		výkon [kW]	COP	
ZS09KAE-PFJ	R134a	1,66	2,73	2,25
	R290	3,66	3,03	4,80
	R407A	2,56	3,00	3,38
ZS13KAE-PFJ	R134a	2,26	2,69	3,06

Na obr. 33 je znázornený operačný rozsah kompresora ZS09KAE-PFJ pri použití chladiva R407A a tabuľka 5 zobrazuje parametre kompresoru pri podmienkach B0/W35.



Obr. 33 - Operačný rozsah R407A kompresora ZS09KAE-PFJ.

Tabuľka 5 - Parametre kompresoru ZS09KAE-PFJ.

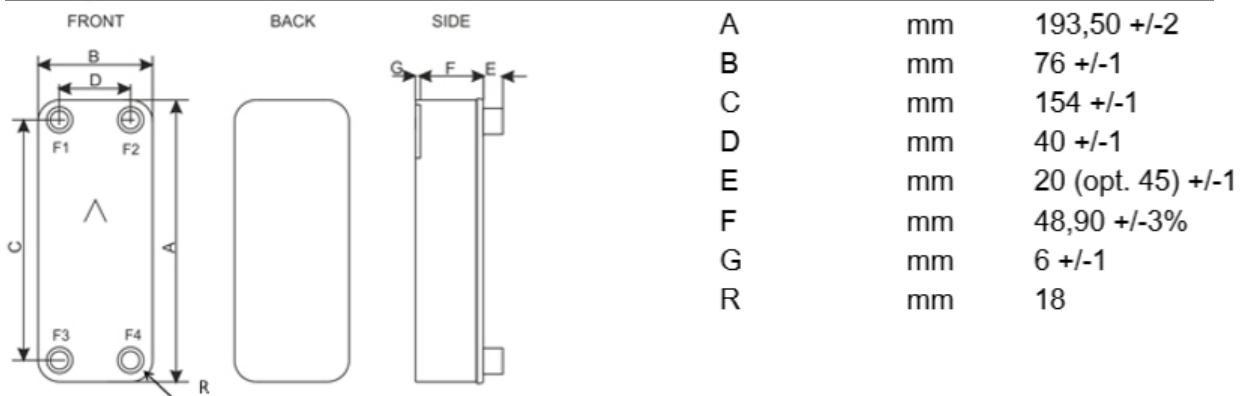
Označenie kompresora	ZS09KAE-PFJ	
Veličina	Jednotka	Hodnota
Vykurovací výkon	[kW]	3,38
Chladiaci výkon	[kW]	2,56
Príkon	[kW]	0,86
Hmotnostný tok chladiva	[g/s]	17,10
Tlak na saní	[bar]	4,18
Tlak na výtlaku	[bar]	16,40
Izoentropická účinnosť kompresora	[%]	66,51

4.3 Voľba kondenzátora

Kondenzátor bol navrhnutý pomocou programu SSP G8 od spoločnosti SWEF. Bol zvolený doskový protiprúdový výmenník tepla s označením B4Mx44/1P. Jeho parametre je možné vidieť v tabuľke 6. Na obr. 34 sú znázornené rozmery daného kondenzátora.

Tabuľka 6 - Parametre kondenzátoru B4Mx44/1P.

Označenie kondenzátora		B4Mx44/1P	
	Veličina	Jednotka	Hodnota
R407A	Výkon	[kW]	3,41
	Teplota na vstupe	[°C]	76,72
	Teplota na výstupe	[°C]	32,62
	Kondenzačná teplota	[°C]	40
	Podchladenie	[K]	3
	Hmotnostný tok	[g/s]	17,1
Vykurovacia voda	Teplota na vstupe	[°C]	30
	Teplota na výstupe	[°C]	35
	Hmotnostný tok	[g/s]	163,3
Technické parametre kondenzátoru	Počet dosiek	-	44
	Priemer pripojenia	[mm]	16/16
	Celková tlaková strata - chladivo	[kPa]	-0,15



Obr. 34 - Rozmery kondenzátoru. [21]



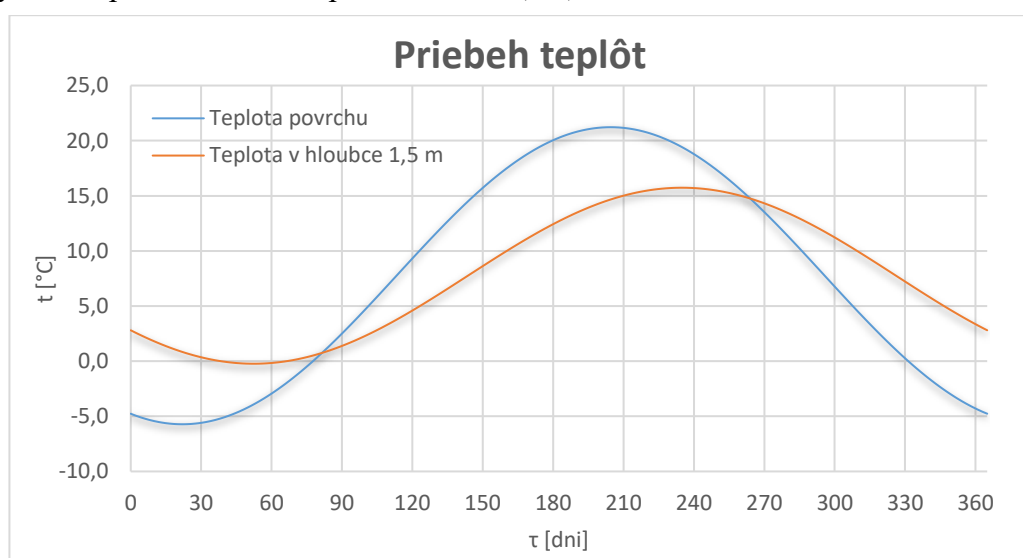
Obr. 35 - Doskový kondenzátor B4Mx44/1P. [21]

4.4 Návrh výparníka

Keďže sa jedná o TČ s priamym výparom chladiva, jednou z najdôležitejších častí pre zaistenie správneho chodu je výparník. Pozostáva z medených trubiek a je nadimenzovaný tak, aby pri konkrétnych prevádzkových podmienkach, predával požadované množstvo tepla do chladiva. Všetky výpočty potrebné pre návrh výparníka prebiehali v programe EXCEL.

4.4.1 Výpočet teploty zeminy

Pre návrh výparníka je potrebné stanoviť teplotu zeminy v zvolenej lokalite. Bola vybraná Kvilda. Je to obec na Šumave v okrese Prachatice s nadmorskou výškou 1065 m. Na základe denných teplôt povrchu zeme za posledných 10 rokov sa stanovila priemerná teplota povrchu a amplitúda teploty povrchu. Obr. 36 znázorňuje priebeh teploty povrchu a teploty v hĺbke 1,5 m z vybraných dát v zvolenej lokalite. Následne bola dopočítaná návrhová teplota zeminy 35 dní po začiatku roka podľa rovnice (4.1) [19].



Obr. 36 - Priebeh teplôt povrchu a v hĺbke 1,5m v lokalite Kvilda.

Dáta denných teplôt povrchu zeme v lokalite Kvilda za posledných 10 rokov sú dostupné z webových stránok: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Tieto webové stránky udávajú amplitúdu povrchu ako polovicu rozdielu maximálnej a minimálnej hodnoty povrchovej teploty, nie ako rozdiel priemeru.

$$T(d, t) = T_M - A_S * e^{\left[-d * \left(\frac{\pi}{360 * \alpha}\right)^{\frac{1}{2}}\right]} * \cos \left[\frac{2\pi}{365} \left(t - t_0 - \frac{d}{2} * \left(\frac{365}{\pi \alpha}\right)^{\frac{1}{2}} \right) \right] \quad (4.1)$$

- $T(d, t)$ - teplota zeme v hĺbke d po t dňoch od 1. januára [°C]
- T_M - priemerná teplota zeme [°C]
- d - hĺbka pôdy [m]
- A_S - amplitúda teploty zemského povrchu [K]
- t - počet dní po 1. januári
- t_0 - počet dní po 1. januári výskytu najnižšej teploty zemského povrchu
- α - tepelná difúznosť pôdy [m^2/s]

Tabuľka 7 obsahuje hodnoty pre výpočet teploty zeminy, teplotu zeminy a zvolené parametre.

Tabuľka 7 - Výpočet teploty horniny.

Označenie	Hodnota	Jednotka
$T(d, t)$	0,1246	[°C]
T_M	7,75	[°C]
d	1,5	[m]
A_S	13,47	[K]
t	35	[dní]
t_0	22	[dní]
α	$8,18 \cdot 10^{-7}$	[m ² /s]

4.4.2 Výpočet dĺžky výparníka

Pri výpočte dĺžky výparníka sa vychádza z vypočítanej teploty zeminy (kapitola 4.4.1) a požadovanej vyparovacej teploty (-5 °C). Dĺžka výparníka je úzko spojená s jeho výkonom, ktorý je daný vzťahom :

$$Q = \frac{T_{(d,t)} - T_v}{R_{sf}} \quad (4.2)$$

- Q - výkon výparníka [W/m]
- $T_{(d,t)}$ - teplota zeminy [K]
- T_v - vyparovacia teplota [K]
- R_{sf} - odpor výparníka [mK/W]

Odpor výparníka bol určený s pomocou vzťahov pre horizontálny kolektor, ktoré boli prevzaté z knihy Geothermal Heat Pump and Heat Energy System [19].

$$R_{sf} = \frac{1}{2\pi k_b} \left[\ln \left(\frac{r_t}{r_{p,out}} \right) - \frac{3}{4} + b^2 - \frac{1}{2} \ln(1 - b^4) - \frac{1}{2} \ln \left(\frac{B_u}{r_{p,out}} \right) \right] + \frac{R_p}{2} \quad (4.3)$$

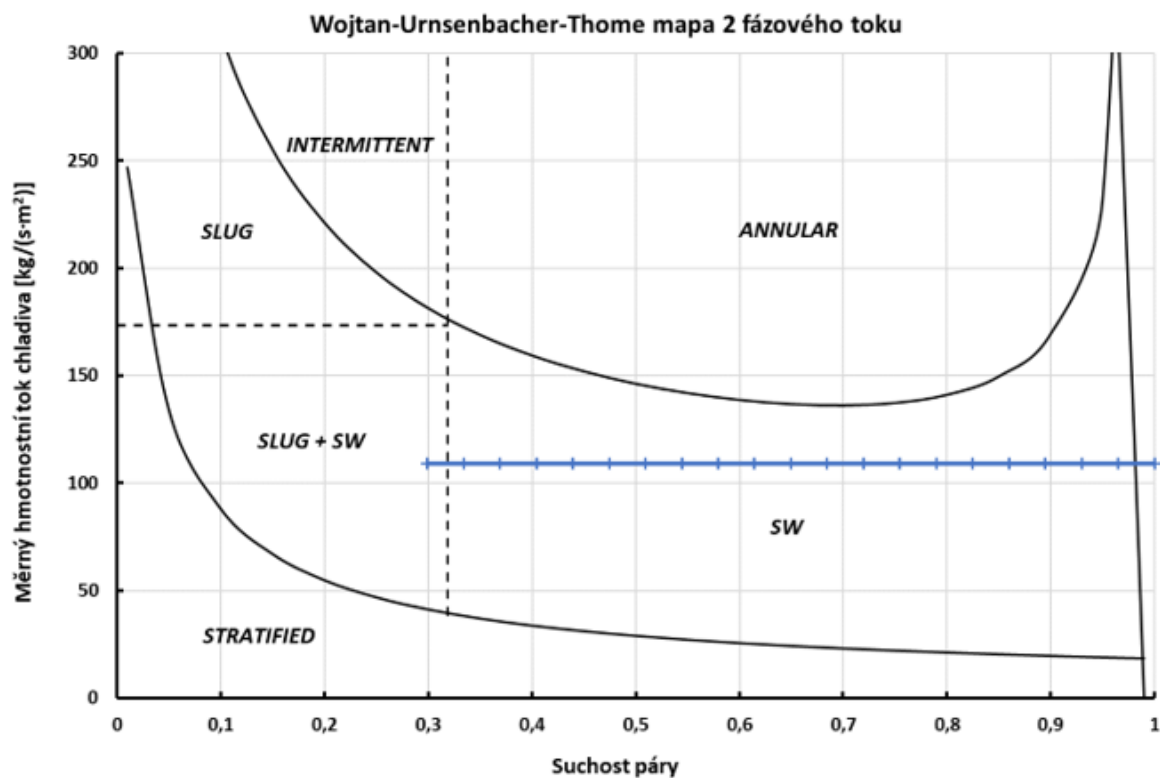
$$R_p = \frac{1}{\pi D_{p,in} h_{in}} + \frac{\ln \left(\frac{D_{p,out}}{D_{p,in}} \right)}{2\pi k_p} \quad (4.4)$$

- R_p - odpor trubky [mK/W]
- R_{sf} - účinný tepelný odpor s ustáleným tokom [mK/W]
- R_α - vnútorný odpor [mK/W]
- k_b - tepelná vodivosť zásypu [W/mK]
- r_t - polomer výkopu [m]
- $r_{p,out}$ - vonkajší polomer potrubia [m]
- b - vzdialenosť stredov potrubia [m]

- B_u - vzdialenosť stredu potrubia od stredu výkopu [m]
- $D_{p,out}$ - vonkajší priemer potrubia [m]
- $D_{p,in}$ - vnútorný priemer potrubia [m]
- k_p - tepelná vodivosť trubky [W/mK]
- h_{in} - súčiniteľ prestupu tepla [W/m²K]

Pre stanovenie potrebnej dĺžky výparníka bolo potrebné riešiť súčiniteľ prestupu tepla pre dvojfázový tok vo vnútri trubky. Postup riešenia prebiehal na základe literatúry Engineering Data Book III [20] (dostupné aj online [21]), kapitoly 10, 12, 13 vydané spoločnosťou Wolverine Tube. K výpočtu bol použitý Kattan-Thome-Favrat Model – dvojfázového prestupu tepla v úprave Wojtan-Urnsenbacher-Thome. Pre potreby výpočtu bol výparník rozdelený na 21 dielov, kedy 20 dielov s rovnakým prírastkom mernej suchosti (x) slúžilo k výpočtu súčiniteľa prestupu tepla a dĺžky výparníka v oblasti dvojfázového toku a posledný diel slúžil k výpočtu v oblasti prehriatej pary. Pre jednotlivé diely bol následne stanovený typ dvojfázového toku, hodnoty súčiniteľa prestupu tepla, potrebné dĺžky trubky a tlakové straty na základe vlastností média na vstupe do daného úseku. Z dôvodu potreby znalosti merného tepelného toku prebiehal celý výpočet iteračne.

Pri výpočte bola ďalej zohľadňovaná celková veľkosť tlakových strát a výstupná rýchlosť chladiva, ktorá je dôležitá s ohľadom na vracanie oleja späť do kompresoru. Výsledná mapa dvojfázového toku s vyznačením priebehu vyparovania chladiva vo výparníku je znázornená na obr. 37. Hodnoty súčiniteľa prestupu tepla a tlakových strát jednotlivých úsekov sú uvedené v prílohe č. 1. Parametre výparníka, rozmery výkopu, dopočítané a zvolené hodnoty sú zaznamenané v tabuľke 8.



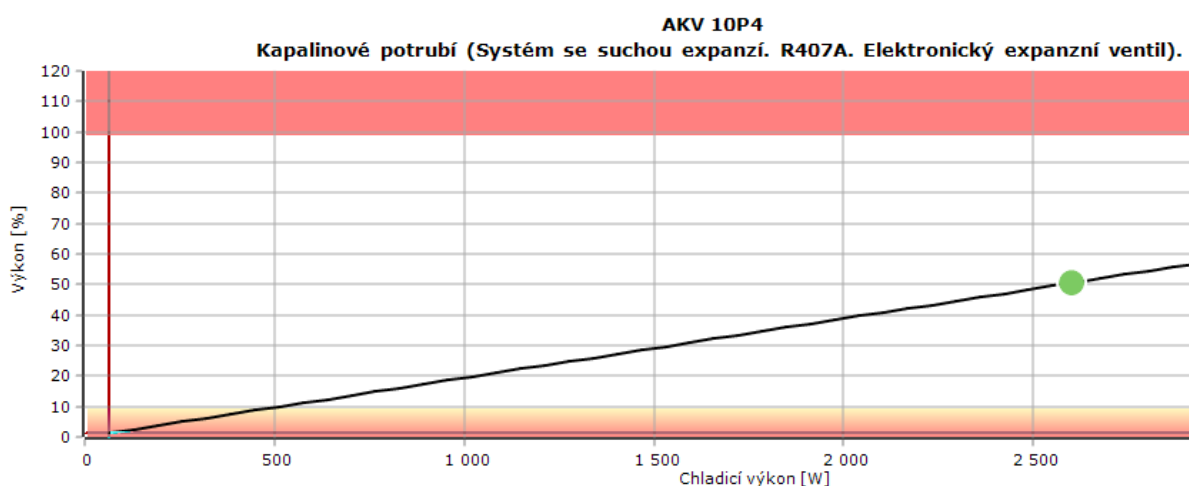
Obr. 37 - Mapa dvojfázového toku vo výparníku s vyznačením výpočtových bodov.

Tabuľka 8 - Parametre výkopu a výparníku.

	Názov	Hodnota	Jednotka
VÝKOP	Hĺbka	1,5	[m]
	Šírka	0,6	[m]
	Vzdialenosť stredu trubiek	0,5	[m]
	Tepelná vodivosť zásypu	1	[W/mK]
	Tepelná vodivosť okolitej zeminy	1,8	[W/mK]
VÝPARNÍK	Počet trubiek	2	-
	Sklon trubky	5	[°]
	Vnútorň priemer trubky	0,01	[m]
	Vonkajší priemer trubky	0,012	[m]
	Tepelná vodivosť trubky	384	[W/mK]
	Hmotnostný prietok chladiva	17,1	[g/s]
	Tlakové straty	38,6	[kPa]
	Výkon	2,73	[kW]
	Dĺžka	2 x 59,9	[m]
	Výstupná rýchlosť chladiva	6,65	[m/s]

4.5 Voľba expanzného ventilu

Expanzný ventil slúži k dodaniu správneho množstva chladiva do výparníka. Pre výber ventilu bol použitý program Coolselector 2 od spoločnosti Danfoss. Na základe známej tlakovej straty na kondenzátore a výparníku bol stanovený disponovaný tlakový spád na expanznom ventile a vybraný elektronický expanzný ventil AKV 10P4. Krivka výkonu tohto ventilu je zobrazená na obr. 38. Tabuľka 9 znázorňuje parametre zvoleného expanzného ventilu AKV 10P4.



Obr. 38 - Krivka výkonu expanzného ventilu AKV 10P4. [25]

Tabuľka 9 - Parametre expanzného ventilu.

	Označenie	Hodnota	Jednotka
AKV 10P4	Maximálny výkon	5061	[W]
	Minimálny výkon	506,1	[W]
	Zaťaženie	51	[%]
	Rýchlosť prúdenia	0,33	[m/s]



Obr. 39 - Expanzný ventil AKV 10P4. [25]

4.6 Dimenzovanie potrubia

Pre spoľahlivý chod TČ je dôležité správne nadimenzovať potrubný systém. Snahou je dosiahnuť maximálny výkon pri minimálnych nákladoch a bezporuchový chod. Potrubný systém sa skladá z týchto častí [6] :

- sacie potrubie – privádza prehriate pary a obiehajúci olej z výparníka do sania kompresoru. Táto časť potrubia je najviac citlivá na správne dimenzovanie. Potrubie musí byť navrhnuté s ohľadom na minimalizáciu tlakových strát a rýchlosť prúdenia musí byť dostatočne vysoká, aby došlo k návratu oleja do kompresora. Tlaková strata v tomto potrubí spôsobuje pokles výkonu zariadenia. Odporúčaná rýchlosť prúdenia v sacom potrubí je 4 až 16 m/s.
- výtlačné potrubie – privádza stlačené pary z výtlačku kompresora do kondenzátora. Je nutné udržiavať minimálnu rýchlosť pár chladiva pre spoľahlivý transport oleja, čo zaisťuje, že olej bude unášaný po stenách trubky. Odporúčaná rýchlosť vo výtlačnom potrubí je 10 až 20 m/s. Vyššie rýchlosti môžu spôsobovať hluk.
- kvapalinové potrubie – pri kvapalnom potrubí je olej unášaný kvapalinou a maximálna rýchlosť prúdenia je zvolená tak, aby sa zabránilo vzniku kvapalných rázov. Odporúčaná rýchlosť v kvapalnom potrubí sú 0,5 až 1,5 m/s.

Pri dimenzovaní potrubia jednotlivých sekcií sú rozhodujúce [6] :

- druh chladiva
- chladiaci výkon
- smer prúdenia chladiva (horizontálny, vertikálny)
- dĺžka potrubia a výškový rozdiel

Pomocou nástroja CoolPack (obr. 40), boli na základe odporučených rýchlostí stanovené priemery jednotlivých častí potrubia. Výpočet priemeru potrubia vychádza z chladiaceho výkonu zariadenia. Z dôvodu malého chladiaceho výkonu je nutné použiť redukcie na pripojenie jednotlivých komponentov k potrubiu.

PIPE DIMENSIONS			
PIPE SECTION	VELOCITY	PIPE DIAMETER (Internal)	Condition corresponds to
	[m/s]	[mm]	
Suction line	9,0	12,0	State Point #1
Discharge line	10,0	6,0	State Point #2
Liquid line	0,5	6,0	State Point #5

Obr. 40 - Stanovené rýchlosti prúdenia a priemery potrubia.

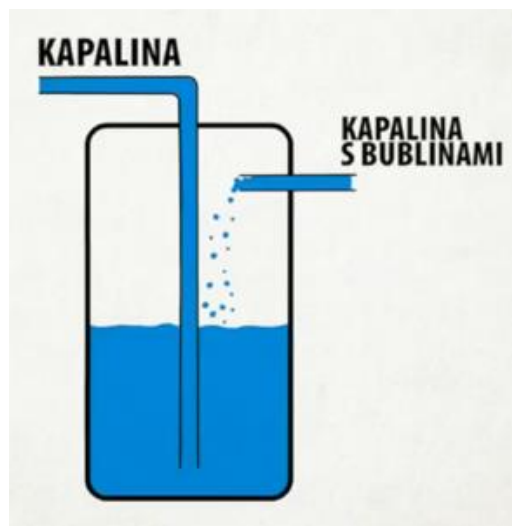
Bolo zvolené medené potrubie z klasickej rady priemerov (vonkajší priemer/hrúbka steny/vnútorý priemer) :

- sacie potrubie (14/12) mm, rýchlosť prúdenia 9 m/s
- výtlačné potrubie (8/1/6) mm, rýchlosť prúdenia 10 m/s
- kvapalinové potrubie (8/1/6) mm, rýchlosť prúdenia 0,5 m/s

4.7 Voľba ostatných komponentov

4.7.1 Zberač kvapalného chladiva

Zberač kvapalného chladiva zaisťuje, aby do expanzného ventilu prichádzala iba kvapalina. Na obr. je zobrazený princíp zberača kvapalného chladiva. Je to tlaková nádoba slúžiaca aj ako zásobník kvapalného chladiva. Podľa konštrukcie sa rozdeľujú na stojaté alebo ležaté. Ležaté zberače šetria miesto pri inštalácii, pretože priamo na nich môže byť namontovaný kompresor. Ich nevýhodou je, že minimálne potrebné množstvo chladiva v zberači je väčšie ako pri stojatých.



Obr. 41 - Princíp zberača kvapalného chladiva. [22]

Pri voľbe veľkosti zberača sa používajú obvykle dve pravidlá [6] :

- možnosť zhromaždenia chladiva v zberači v prípade opravy, aby sa zabránilo úniku chladiva do ovzdušia
- v praxi sa odporúča, že veľkosť zberača by mala byť tak veľká, že všetko zhromaždené chladivo v zberači by malo vyplniť maximálne 80 % objemu zberača (Jedná sa o obdobu s plnením tlakových nádob, pri ktorých môže byť maximálna náplň chladiva do 80 % objemu nádoby)

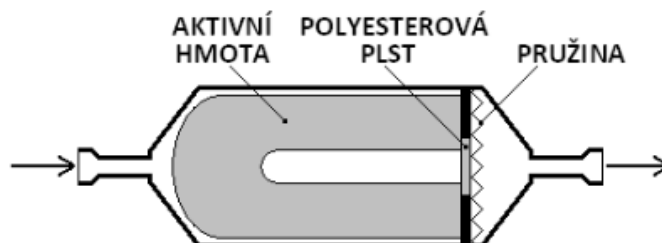
Zberač kvapalného chladiva bol vybraný z ponuky firmy Schiessl. Je to typ CARLY RLVCY 20 s objemom 1,8 l. Zberač je vo vertikálnom prevedení (obr. 42), pripojenie na vstupe (DN) 8 mm a na výstupe (DN) 20 mm. Maximálny pracovný tlak 46 bar.



Obr. 42 - Zberač kvapalného chladiva CARLY RLVCY 20. [27]

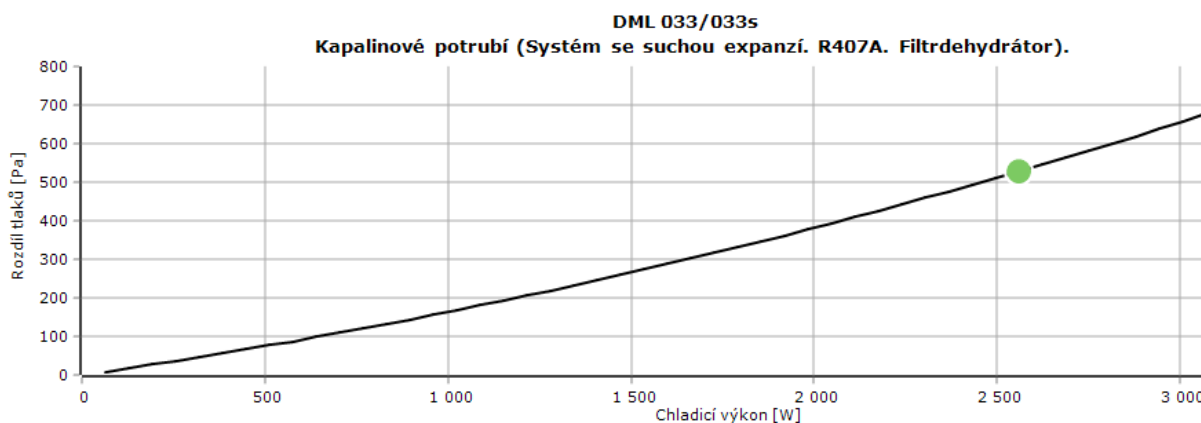
4.7.2 Filterdehydrátor

Filterdehydrátor pohlcuje škodliviny z okruhu chladiva (zachytáva nečistoty a vlhkosť). Pri inštalácii je dôležité, aby sa dodržal smer prúdenia kvapalného chladiva, ktorý je na obale znázornený šípkou. Montuje sa v zvislej polohe, aby prívod kvapaliny bol na vrchnej strane z dôvodu rovnomernejšieho prietoku chladiva. Ak sa v systéme objaví voda musí sa filterdehydrátor vymeniť čo najskôr. V prípade reverzného chodu TČ sú k dodaniu aj pre obojsmerný chod. [1]



Obr. 43 - Princíp filterdehydrátoru. [1]

Pre navrhované zariadenie bol zvolený filterdehydrátor od výrobcu Danfoss, typ DML 032s. Priemer pripojenia 6 mm, typ pripojenia – spájkovanie a jeho krivka výkonu je zobrazená na obr. 44.



Obr. 44 - Krivka výkonu filterdehydrátoru. [25]



Obr. 45 - Filterdehydrátor DML 032s. [25]

4.7.3 Priehľadítko

Táto súčiastka slúži k sledovaniu toku kvapaliny v potrubí. Inštaluje sa za zberač chladiva a filterdehydrátor blízko vstupu do expanzného ventilu. V tomto mieste sa už v chladive nesmú vyskytovať bublinky. Býva vybavený indikátorom vlhkosti, ktorý sa prejavuje zmenou farby medzikružia. Priehľadítko sa volí podľa priemeru potrubia. Bol zvolený typ SGP 6s od výrobcu Danfoss, priemer pripojenia 6 mm.



Obr. 46 - Priehľadítko SGP 6s. [25]

4.7.4 Odlučovač oleja

Chladivo v systéme TČ so sebou unáša olej vo forme miniatúrnych kvapiek. Olej postupne prejde cez jednotlivé komponenty a vracia sa späť do kompresora. Niekedy sa stane, že sa olej začne zhromažďovať vo výparníku a do kompresora prichádza len malé množstvo. To môže viesť k poškodeniu kompresora. Zároveň olej zhromaždený vo výparníku pokrýva a postupne zaplavuje teplosmennú plochu, čím klesá výkon výparníka a stúpa spotreba elektrickej energie. Aby sa zabránilo týmto problémom, inštaluje sa do výtlačného potrubia, za kompresor, odlučovač oleja. Ak je správne navrhnutý odlúči minimálne 98 % oleja. V plášti odlučovača je výtlačný tlak kompresora (najvyšší tlak chladiva v okruhu). Po otvorení plavákového ventilu, ktorý vypúšťa odlučovaný olej, výtlačný tlak kompresora pretlačí olej

späť do kompresora. Pri inštalácii odlučovača oleja je nutné, podľa návodu výrobcu, doň napustiť prvú dávku rovnakého oleja ako v kompresore. [6]

Pre odlúčenie oleja sa používajú rôzne technické riešenia [6] :

- zmena smeru prúdenia pár chladiva
- zníženie rýchlosti pár chladiva pod hodnotu nutnú pre unášanie kvapiek (zotrvačné sily)
- uvedenie pár chladiva do rotačného pohybu (odstredivé sily)
- využitie hmoty ako kondenzačného jadra



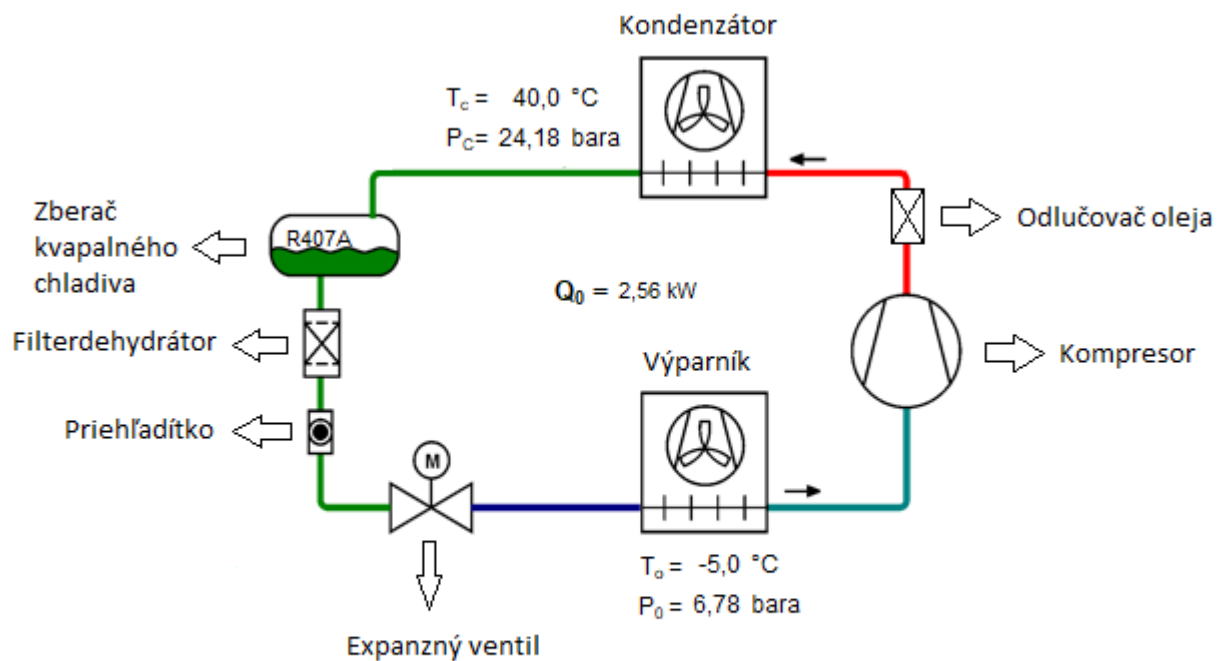
Obr. 47 - Prierez odlučovačom oleja AC-R typ Helical. [6]

Pre návrh bol vybraný odlučovač oleja značky CARLY, typ TURBOIL 1503 MMS (zvárané prevedenie) s priemerom pripojenia 10 mm. Celkový objem odlučovača je 1,72 l, z toho olejový objem je 0,3 l.



Obr. 48 - Odlučovač oleja CARLY TURBOIL 1503 MMS. [27]

4.8 Schéma tepelného čerpadla



— Výtlačné potrubie — Sacie potrubie — Kvapalinové potrubie

- T_c - kondenzačná teplota
- p_c - kondenzačný tlak
- T_o - vyparovacia teplota
- p_o - vyparovací tlak
- Q_o - chladiaci výkon

5. ZÁVER

Tepelné čerpadlá prečerpávajú nízkopotenciálne teplo na vyššiu teplotnú úroveň využiteľnú pre vykurovanie. Prvá časť diplomovej práce je venovaná technológii tepelných čerpadiel, ich princípu (popis chladivového okruhu), pracovnému cyklu a vykurovaciemu faktoru (COP). Ďalej sú popísané zdroje nízkopotenciálneho tepla (geotermálne teplo, povrchová a podzemná voda, vzduch, odpadné teplo) a druhy tepelných čerpadiel. Rozoberajú sa ich výhody a nevýhody, spôsoby a vhodnosti použitia a možnosti pohonu tepelných čerpadiel.

Druhá časť práce je tiež teoretického charakteru. Bližšie popisuje problematiku kompresorových tepelných čerpadiel zem-voda. Sú popísané druhy kolektorov (plošné, slučky, vertikálne, geotermálne koše), kompresorov, ich výhody a nevýhody pri použití. Táto časť sa taktiež venuje hlavným komponentom tepelného čerpadla zem-voda, medzi ktoré, vrátane kompresora, patria expanzný ventil a výmenníky tepla (kondenzátor, výparník). Väčšia pozornosť bola venovaná aj systému priameho výparu chladiva, hlavne inštalácii zemného kolektoru pre priamy výpar. V závere druhej časti sa nachádza kapitola obsahujúca rozdelenia chladív podľa fyzikálnych vlastností a chemického zloženia. Rozoberá sa aj ekologická nezávadnosť chladív, ktorú udávajú koeficienty GWP (Global Warming Potential) – vplyv látok na skleníkový efekt a ODP (Ozone Depletion Potential) – vplyv plynov a pár chladív na poškodzovanie ozónovej vrstvy Zeme.

Tretia časť práce je popísaný postup návrhu zemného tepelného čerpadla s priamym výparom chladiva. Ako prvé bolo zvolené chladivo, podľa ktorého sa následne volil vhodný typ kompresoru. Bolo zvolené chladivo R407A, ktoré spolu s kompresorom ZS09KAE-PFJ boli najvhodnejšou voľbou odpovedajúcou požadovaným parametrom (COP=3, vykurovací výkon = 3kW). Jedná sa o scroll kompresor od spoločnosti COPELAND. Následne bol za pomoci programu SSP G8 zvolený doskový protiprúdový kondenzátor s označením B4Mx44/1P od spoločnosti SWEP.

Cieľom bolo navrhnuť TČ s priamym výparom chladiva, a tak bol najdôležitejšou časťou práce návrh výparníka. Ako prvé sa vypočítala teplota zeminy v zvolenej lokalite Kvilda. Z dát denných teplôt nameraných za posledných 10 rokov sa stanovila priemerná teplota povrchu a amplitúda povrchu, z ktorých sa dopočítala návrhová teplota zeminy. Pre výpočet dĺžky výparníka, ktorý vychádza z návrhovej teploty zeminy a požadovanej vyparovacej teploty, bolo potrebné určiť odpor výparníka pomocou vzťahov pre horizontálny kolektor. Po určení dĺžky výparníka sa riešil súčiniteľ prestupu tepla pre dvojfázový tok. Výparník bol rozdelený na 21 dielov, kde 20 dielov slúži pre výpočet súčiniteľa prestupu tepla a dĺžky výparníku v oblasti dvojfázového toku a posledný diel k výpočtu v oblasti prehriatej pary. Bol navrhnutý dvoj-trubkový výparník z mede, dlhý 2 x 59,9 m.

Po výpočte výparníka bol zvolený expanzný ventil AKV 10P4 za pomoci programu Coolselector 2 od spoločnosti Danfoss. Pre chod tepelného čerpadla bolo potrebné správne navrhnuť potrubný systém. V programe CoolPack boli na základe odporučených rýchlostí stanovené priemery jednotlivých častí potrubia. Následne bol navrhnutý zberač kvapalného chladiva RLVCY 20 a odlučovač oleja TURBOIL 1503 MMS značky CARLY, filterdehydrátor DML 032s a priehľadítka od výrobcu Danfoss. V závere práce je zostavená schéma usporiadania komponentov tepelného čerpadla.

Záujem použiť tepelné čerpadlo, ako zdroj vykurovania rodinného domu, v dnešnej dobe rastie každým rokom. Tepelné čerpadlo s priamym výparom chladiva má unikátnu konštrukciu, kedy v systéme nie je potrebné použiť prostredné médium (solanku). Odpadajú náklady na elektrinu spojenú s pohonom obehového čerpadla primárneho okruhu. Jeho inštalácia je jednou z ciest, ako znížiť spotrebu primárnej energie, ktorá je potrebná na vykurovanie.

6. ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]*. Vyd. 1. Přerov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 80-239-0275-X.
- [2] Syners [online]. b.r. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <http://www.synerg.sk/novinky/params/post/1238023/ako-funguje-tepelne-čerpadlo>
- [3] Tzb-info [online]. b.r. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/9147-ac-heating-factory-ovlivnujici-ucinnost-tepelnych-čerpadel>
- [4] Tzbportal [online]. b.r. [cit. 2019-01-24]. Dostupné z: <https://www.tzbportal.sk/kurenie-voda-plyn/factory-ovplyvnujuce-prevadzku-tepelneho-čerpadla-v-rezime-vykurovania.html>
- [5] Rokov [online]. b.r. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <http://www.rokov.cz/>
- [6] Chladicí a klimatizační technika. 1. vyd. Praha: Svaz chladicí a klimatizační techniky, 2012. Učební texty Svazu CHKT.
- [7] Tepelné vlastnosti hornin [online]. b.r. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: https://www.vak.cz/soubory/tepelne%20vlastnosti%20hornin_havlik.pdf
- [8] Ekoteq [online]. b.r. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://www.ekoteq.sk/tepelne-čerpadla>
- [9] Blueteam [online]. b.r. [cit. 2019-01-31]. Dostupné z: <http://tc.blueteam.cz/tepelne-čerpadlo-zeme-voda.html>
- [10] Kolektor [online]. b.r. [cit. 2019-01-31]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/10178-zakladni-zasady-navrhu-plosneho-zemniho-kolektoru-pro-tepelne-čerpadlo-zeme-voda>
- [11] Tepelná čerpadla MONTÁŽNÍ PŘEDPIS. AQxxIC. Praha, Ing. Jiří Jiránek, 2014. Dostupné také z: http://www.mastertherm.cz/_data/Docs/MTTC_instalacni_manual_28_07_14.pdf
- [12] Mastertherm [online]. b.r. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.sk/tepelne-čerpadla-zem-voda/>
- [13] LIŠKA, Antonín a Pavel NOVÁK. Kompresory. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1994. ISBN 80-01-01145-3.
- [14] Kompresory [online]. b.r. [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <https://www.kompresory-vzduchotechnika.cz/sk/poradna/jak-vybrat-kompresor>
- [15] Tzb-info [online]. b.r. [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/13498-kompresory-pro-tepelna-čerpadla>

- [16] Tribotechnika [online]. b.r. [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12010/oleje-pro-sroubove-kompresory.html>
- [17] Jsp [online]. b.r. [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: <http://www.jsp.cz/cz/sortiment/sentry/trubkovy-spiralovy-protiproudny-vymenik-tepla.html>
- [18] Alfalaval [online]. b.r. [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: <https://www.alfalaval.sk/produkty-a-rieenia/prenos-tepla/doskove-vymenniky-tepla/celonerezove-doskove-vymenniky-tepla/alfanova-aq/>
- [19] Infobydleni [online]. b.r. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://www.infobydleni.cz/news/tepelna-cerpadla-zeme-voda-se-zemnim-kolektorem-s-primym-odparem/>
- [20] Emerson [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://climate.emerson.com/en-us/products/heating-and-air-conditioning/commercial-scroll-compressors>
- [21] Swep [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.swep.net/>
- [22] ANDREW D, Chiasson. GEOTHERMAL HEAT PUMP AND HEAT ENGINE SYSTEMS. University of Dayton: Wiley, 2016. ISBN 9781118961971.
- [23] R. THOME, John. Engineering Data Book III. 3rd ed. Switzerland: Wolverine Tube, 2006. ISBN 978-3-934736-37-5.
- [24] Engineering Data Book III [online]. b.r. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <http://www.thermalfluidscentral.org/e-books/pdf/edb3/13.pdf>
- [25] Danfoss [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.danfoss.com/en/>
- [26] Publi [online]. b.r. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/93/02.html>
- [27] Schiessl [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.schiessl.cz/>

7. ZOZNAM POUŽÍZÝCH SKRATIEK, OBRÁZKOV A TABULIEK

7.1 Zoznam použitých skratiek

<i>Skratka</i>	<i>Popis</i>
<i>COP</i>	Vykurovací faktor tepelného čerpadla
<i>TČ</i>	Tepelné čerpadlo
<i>NPT</i>	Nízkopotenciálny zdroj tepla
<i>TEV</i>	Termostatický expanzný ventil
<i>EEV</i>	Elektronický expanzný ventil
<i>MOP</i>	Maximálny prevádzkový tlak
<i>GWP</i>	Koeficient vplyvu látok na skleníkový efekt
<i>ODP</i>	Koeficient vplyvu látok na ozónovú vrstvu

7.2 Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 - Maximálna extrakčná kapacita pôdy podľa normy VDI 4640. [9]	24
Tabuľka 2 - Rozdelenie chladív podľa chemického zloženia do skupín.	36
Tabuľka 3 - Hodnoty ODP, GWP a zloženia vybraných chladív [19].....	37
Tabuľka 4 - Porovnanie výkonov kompresorov pri použití rôznych chladív.	41
Tabuľka 5 - Parametre kompresoru ZS09KAE-PFJ.	41
Tabuľka 6 - Parametre kondenzátoru B4Mx44/1P.	42
Tabuľka 7 - Výpočet teploty horniny.....	44
Tabuľka 8 - Parametre výkopu a výparníku.....	46
Tabuľka 9 - Parametre expanzného ventilu.	47

7.3 Zoznam obrázkov

Obr. 1 - Principiálne schéma TČ. [2]	17
Obr. 2 - Teoretický pracovný cyklus TČ.	18
Obr. 3 - Rankin-Clausiov cyklus TČ. Vľavo (ideálny), vpravo (reálny). [3]	18
Obr. 4 - Hodnoty COP pri TČ voda/voda. [4].....	19
Obr. 5 - Zdroje NPT pre tepelné čerpadlo. [5].....	20
Obr. 6 - Vplyv vonkajšej teploty na výkon TČ vzduch/voda. [3].....	21
Obr. 7 - Priebeh teplôt v zemi v závislosti na ročnom období. [7]	21
Obr. 8 - Princíp TČ zem-voda. [8]	23
Obr. 9 - Plošný zemný kolektor [8].....	24
Obr. 10 - Zemný kolektor – slučky typu H. [10]	25
Obr. 11 - Zemný kolektor – slučky typu V. [10]	25
Obr. 12 - Uloženie vertikálneho kolektora v zemi. [10].....	26
Obr. 13 - Geotermálny energetický kôš. [4]	26
Obr. 14 - Schéma hermetického kompresoru. [10].....	27

Obr. 15 - Schéma polohermetického kompresoru. [10].....	27
Obr. 16 - Princíp piestového kompresoru. [11]	28
Obr. 17 - Dvojitý rotačný kompresor. [12]	28
Obr. 18 - Skrutkový kompresor. [13]	29
Obr. 19 - Scroll kompresor. [12].....	29
Obr. 20 - Trubkový výmenník s nádobou a výmenník trubka v trubke. [14].....	30
Obr. 21 - Prúdenie médií v doskovom výmenníku. [15]	31
Obr. 22 - Termostatický expanzný ventil. [6].....	31
Obr. 23 - Sily pôsobiace na membránu TEV. [6]	32
Obr. 24 - Rez TEV s vnútorným vyrovnaním tlakov a pripojenie k výparníku. [6].....	32
Obr. 25 - Rez TEV s vonkajším vyrovnaním tlakov a pripojenie k výparníku. [6]	33
Obr. 26 - EEV – pulzný . [6].....	33
Obr. 27 - TČ zem-voda s priamym výparom chladiva. [17].....	34
Obr. 28 - Uloženie potrubia zemného kolektoru pre priamy výpar chladiva. [10].....	35
Obr. 29 - Schéma zapojenia zemného výmenníku a TČ. [10].....	35
Obr. 30 - Ukončenie izolácie v skrini TČ. [10]	36
Obr. 31 - Chladivový obeh R407A.	40
Obr. 32 - Technické informácie o označení kompresoru. [20].....	40
Obr. 33 - Operačný rozsah R407A kompresora ZS09KAE-PFJ.	41
Obr. 34 - Rozmery kondenzátoru. [21].....	42
Obr. 35 - Doskový kondenzátor B4Mx44/1P. [21]	42
Obr. 36 - Priebeh teplôt povrchu a v hĺbke 1,5m v lokalite Kvilda.....	43
Obr. 37 - Mapa dvojfázového toku vo výparníku s vyznačením výpočtových bodov.	45
Obr. 38 - Krivka výkonu expanzného ventilu AKV 10P4. [25]	46
Obr. 39 - Expanzný ventil AKV 10P4. [25]	47
Obr. 40 - Stanovené rýchlosti prúdenia a priemery potrubia.....	48
Obr. 41 - Princíp zberača kvapalného chladiva. [22]	48
Obr. 42 - Zberač kvapalného chladiva CARLY RLVCY 20. [27]	49
Obr. 43 - Princíp filterdehydrátoru. [1].....	49
Obr. 44 - Krivka výkonu filterdehydrátoru. [25]	50
Obr. 45 - Filterdehydrátor DML 032s. [25].....	50
Obr. 46 - Priehľadítko SGP 6s. [25].....	50
Obr. 47 - Prierez odlučovačom oleja AC-R typ Helical. [6]	51
Obr. 48 - Odlučovač oleja CARLY TURBOIL 1503 MMS. [27]	51

8. PŘÍLOHY

Príloha č. 1 - Hodnoty súčiniteľa prestupu tepla a tlakových strát jednotlivých úsekov výparníka.

úsek	x	p [Pa]	typ 2f toku	h_{in} [W/m ² K]	R_{sf} [m·K/W]	Q [W]	L [m]	Δp [Pa]
1	0,30	423 937	Slug+SW	3 030,0	0,24181	65,7	2,299	543
2	0,33	423 394	SW	2 873,9	0,24209	65,6	2,571	733
3	0,37	422 662	SW	3 034,2	0,24180	65,6	2,420	800
4	0,40	421 862	SW	3 105,4	0,24168	65,5	2,481	938
5	0,44	420 924	SW	3 171,0	0,24157	65,5	2,541	1 084
6	0,47	419 840	SW	3 230,6	0,24148	65,5	2,601	1 238
7	0,51	418 602	SW	3 283,7	0,24140	65,4	2,659	1 399
8	0,54	417 203	SW	3 329,5	0,24134	65,4	2,715	1 563
9	0,58	415 640	SW	3 367,2	0,24128	65,4	2,768	1 728
10	0,61	413 912	SW	3 395,1	0,24124	65,3	2,819	1 892
11	0,65	412 020	SW	3 411,3	0,24122	65,3	2,867	2 051
12	0,68	409 969	SW	3 412,9	0,24122	65,3	2,911	2 199
13	0,72	407 770	SW	3 395,9	0,24124	65,4	2,951	2 334
14	0,75	405 436	SW	3 354,8	0,24130	65,4	2,988	2 449
15	0,79	402 987	SW	3 282,3	0,24140	65,5	3,023	2 539
16	0,82	400 448	SW	3 167,8	0,24158	65,5	3,056	2 597
17	0,86	397 852	SW	2 995,4	0,24187	65,6	3,089	2 615
18	0,89	395 237	SW	2 740,1	0,24236	65,7	3,125	2 585
19	0,93	392 652	SW	2 357,2	0,24331	65,8	3,169	2 498
20	0,96	390 154	D	2 367,1	0,24328	66,0	3,204	2 410
21	1,00	387 744	--	234,4	0,30446	30,8	3,637	2 371