



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

ENERGY INSTITUTE

**NÁVRH HLAVNÍCH KOMPONENT TEPELNÉHO  
ČERPADLA**

DESIGN OF HEAT PUMP

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Radim Křepela**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Filip Toman**

**BRNO 2019**



# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	<b>Radim Křepela</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Energetika, procesy a životní prostředí
Vedoucí práce:	<b>Ing. Filip Toman</b>
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 bakalářské práce:

## Návrh hlavních komponent tepelného čerpadla

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V posledních letech se tepelná čerpadla (TČ) stále více používají k vytápění budov jako zdroj tepelné energie. Bakalářská práce je zaměřená na termodynamický návrh hlavních komponent tepelného čerpadla.

### Cíle bakalářské práce:

- Stručně popsat princip TČ.
- Rešerše používaných typů TČ.
- Návrh hlavních komponent TČ pro zadané parametry.

### Seznam doporučené literatury:

ŽERAVÍK, Antonín, Stavíme tepelné čerpadlo. Vydáno vlastním nákladem. 2003. ISBN 80-239-02-5-X

PAVELEK, Milan, Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2011. ISBN 9788021443006.

Termín odevzdání bakalářské 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**

Cílem bakalářské práce je seznámení s tepelnými čerpadly a provedení výpočtů pro ohřev teplé užitkové vody při stanovených podmínkách. Teoretická část se zabývá popisem principu tepelného čerpadla a přehledem používaných typů tepelných čerpadel podle prostředí, z něž odebírají teplo. V praktické části se práce zabývá výpočtem a návrhem hlavních komponent. Tyto komponenty byly vybrány na základě schopnosti ohřát 1000 L teplé užitkové vody z 20 na 50 °C za 4 hodiny.

### **Klíčová slova**

Tepelné čerpadlo, Teplá užitková voda, Návrh, Komponenty

## **ABSTRACT**

The aim of this bachelor thesis was basic research in the field of heat pumps. Calculations for heating of domestic hot water were done afterward. The theoretical part describes basic principles of heat pumps and covers a wide range of currently used types of heat pumps. Heat pumps are categorized by the environment from which the heat is taken out of. The experimental part contains calculations and selection of commercially available main components. Components were chosen based on the ability to heat 1000 L of hot domestic water from 20 to 50 °C in 4 hours.

### **Key words**

Heat pump, Domestic hot water, Design, Components



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KŘEPELA, Radim. *Návrh hlavních komponent tepelného čerpadla* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116685>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Filip Toman.





## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh hlavních komponent tepelného čerpadla vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

\_\_\_\_\_  
*Jméno a příjmení*



## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Filipu Tomanovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.



## OBSAH

1	Úvod .....	15
2	Tepelné Čerpadlo.....	16
2.1	Historie.....	16
2.2	Princip TČ.....	17
2.3	Vhodnost použití.....	18
2.4	Součásti TČ.....	18
2.4.1	Kompresor .....	18
2.4.2	Kondenzátor .....	20
2.4.3	Expanzní ventil.....	20
2.4.4	Výparník.....	20
2.4.5	Chladivo .....	21
2.4.6	Presostat .....	21
2.4.7	Sběrač kapalného chladiva .....	21
2.4.8	Trojcestný ventil.....	22
2.4.9	Měděné trubky.....	22
2.4.10	Kapiláry .....	22
2.4.11	Průhledítko .....	22
2.5	Topný faktor .....	22
3	Druhy TČ.....	24
3.1	Vzduch – voda .....	24
3.2	Vzduch - vzduch .....	25
3.3	Země – voda.....	25
3.3.1	Zemní kolektor .....	26
3.3.2	Geotermální vrt .....	26
3.4	Voda – voda .....	27
3.4.1	Voda – voda (studny) .....	27
3.4.2	Země – voda (vodní plocha).....	27
4	Návrh TČ.....	28
4.1	Zadané parametry .....	28
4.2	Schéma TČ.....	28
4.3	Tarif D25d.....	28
4.4	Potřebná energie na ohřátí vody .....	29
4.5	Zemní kolektor.....	33
4.6	Expanzní ventil .....	34
4.7	Kompresor .....	35
4.8	Výparník .....	35
4.9	Kondenzátor.....	35
4.10	Topný faktor .....	35

5	ZÁVĚR .....	36
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	37
7	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ .....	39
8	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	41
9	SEZNAM TABULEK.....	42

## 1 Úvod

Obnovitelný zdroj energie je označení některých forem energie, které se v lidském časovém měřítku přirozeně obnovují. S neustálými hrozbami o změnách klimatu a globálním oteplováním se do popředí dostává zájem o neování emisí skleníkových plynů. Mezi tyto plyny patří i oxid uhličitý, který vzniká spalováním dusíkatých paliv. Lidstvo se tedy začíná obracet k obnovitelným zdrojům energie, kterým je i například využívání sluneční energie pro výrobu tepla a elektrického proudu. Jako obnovitelný zdroj tepelné energie se může brát také tepelné čerpadlo. Z důvodu nutnosti část energie tepelnému čerpadlu dodat se nejedná o klasický obnovitelný zdroj, ale o zařazení, které je schopné odebírat nízkopotenciální teplo okolnímu prostředí a převádět ho na vyšší teplotní hladinu. Dnes jsou dominantním typem tepelných čerpadel kompresorová tepelná čerpadla napájená z elektrické sítě. Existuje však řada jiných typů pracujících na odlišných principech nebo používajících jiný druh pohonu. Tepelná čerpadla jsou využívána na vytápění i na ohřev teplé užitkové vody (TUV) a jsou tedy jednou z možností, jak energií šetřit.

Významným faktorem ovlivňujícím poptávku po tepelných čerpadlech je cena energií, která má v posledních letech vzrůstající tendenci a tento vzestup byl doprovázen silným nástupem poptávky po tepelných čerpadlech. Ve vyspělých evropských státech je využití tepelných čerpadel pro vytápění domu běžnou záležitostí a ve Švédsku dokonce 70 % novostaveb vybaveno tímto zařízením. Podobné rozšíření užití tepelných čerpadel v České republice se dá v budoucnosti očekávat ať už z důvodu dalšího růstu cen energií nebo zvyšování ekonomické úrovně.

Cílem teoretické části bakalářské práce je popsat princip a základní součásti tepelného čerpadla. K tomuto účelu je využívána literatura zabývající se problematikou tepelných čerpadel z hlediska konstrukce a principu fungování. V další části je popsán přehled tepelných čerpadel podle prostředí, ze kterého získávají teplo.

Praktická část práce se zabývá výpočtem a návrhem ideálních komponentů pro zadané a vypočtené podmínky.

## 2 Tepelné Čerpadlo

Současná doba si klade poměrně vysoké nároky na úsporu energií, stejně tak jako na ekologické dopady, téměř u všech produktů, které doprovázejí život člověka, přičemž se klade důraz na zachování praktičnosti a pohodlnosti. S rostoucími cenami zdrojů se do popředí dostávají dříve nerentabilní metody, mezi které patří i tepelné čerpadlo (dále TČ). TČ využívá nízkopotenciální energii, která je všude kolem nás a převede ji do užitečné formy. energii lze získat ze země, vody nebo vzduchu, avšak je nutné energii i dodat, a to většinou elektrickou. Tato metoda využívání okolního tepla splňuje veškeré moderní požadavky, pomocí nichž se dá dosáhnout vysoké úspory energií a zároveň je to metoda šetrná k životnímu prostředí.

### 2.1 Historie

V polovině 19. století formuloval princip TČ William Thomas (Lord Kelvin), avšak k sestavení samotného čerpadla došlo až o mnoho let později R.C. Webberem, ale zařízení v té době však velký úspěch nesklidilo.

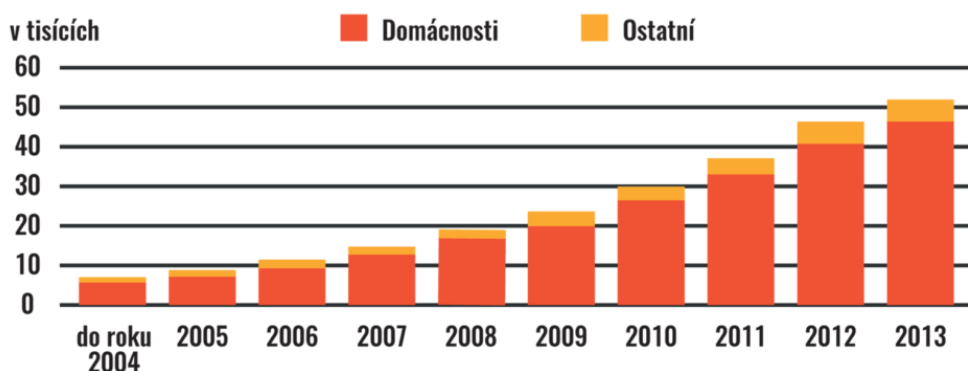
První prakticky použitelný systém TČ byl uveden do provozu až v roce 1924 ve Švýcarsku.

Na začátku 21. století se TČ dostává v zájmu společnosti do popředí a to hlavně z důvodu zdražování cen energií a zájmu lidí o životní prostředí. Velký rozmach přišel i díky používání nových a chemicky stálých chladiv na bázi chlorovaných uhlovodíků, u kterých byl později prokázán negativní vliv na ozónovou vrstvu Země a chladiva byla nahrazena ekologickými.

V dnešní době jsou TČ velmi využívaným zdrojem energie. Je to jedna z nejčistších energií. Pořizovací cena se snížila, životnost, kvalita a spolehlivost TČ se zvýšila. Návrh je pár let a s narůstající cenou energií budou častějším řešením. [1]

### Vývoj instalací tepelných čerpadel v ČR

kumulativně podle počtu



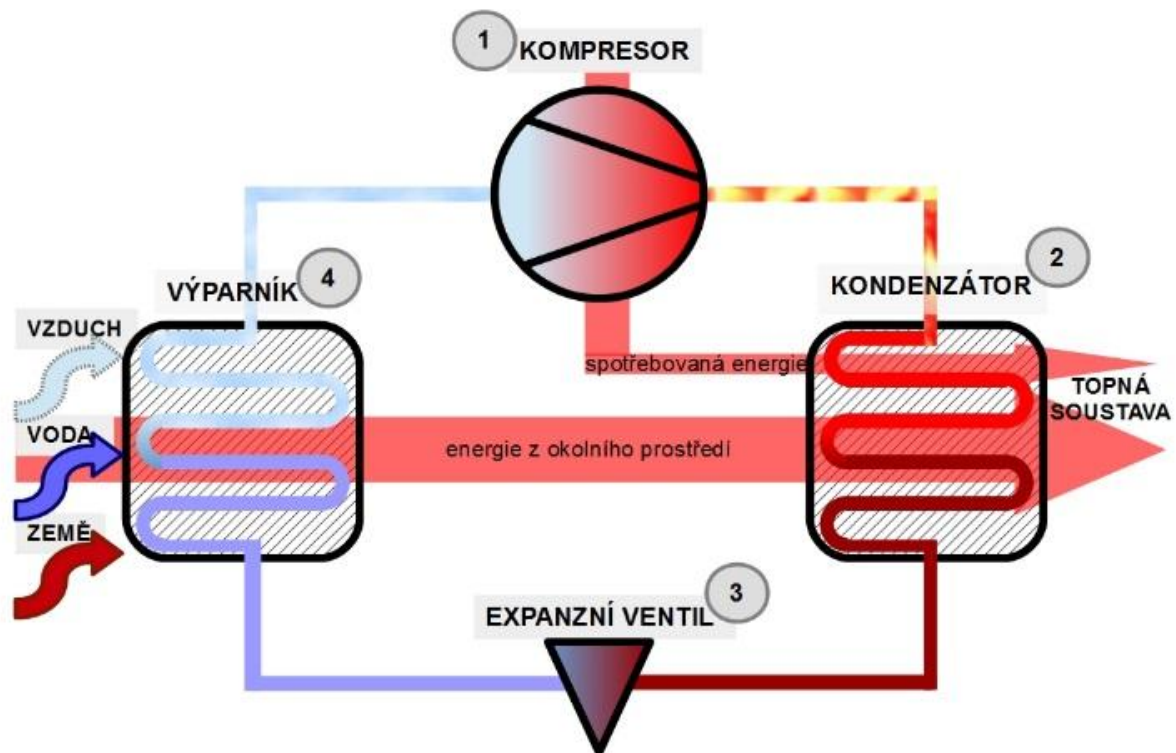
Obr. 2.1 Vývoj instalací TČ v ČR [2]



## 2.2 Princip TČ

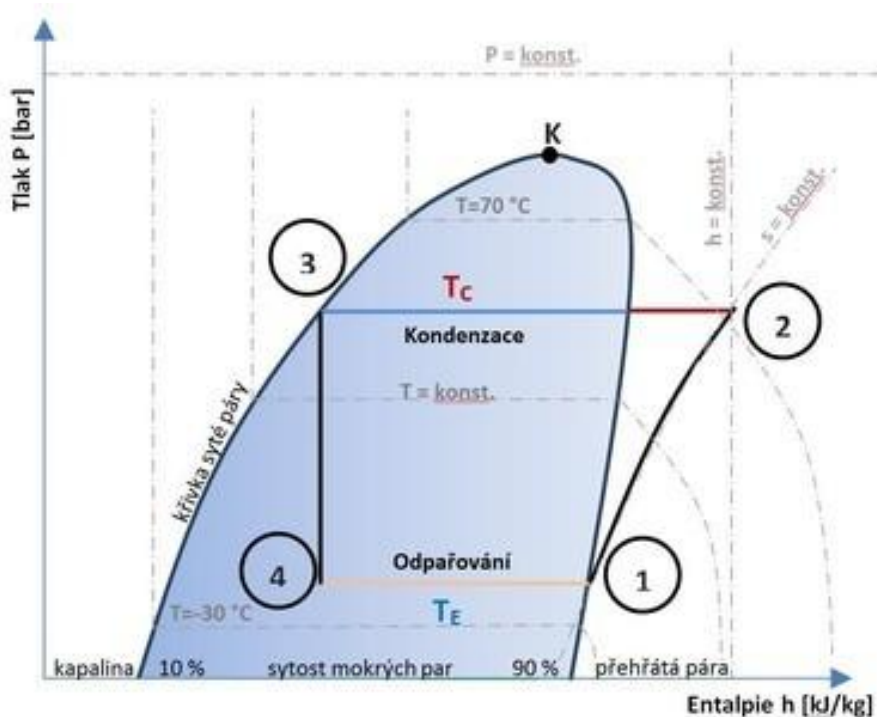
TČ je energetické zařízení a rozděluje se na dvě části. V první části se získává energie z okolního prostředí a je předávána chladivu. V druhé části se energie z chladiva předává do topné soustavy.

TČ skládá se ze čtyř základních komponent – výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. Na vstupní straně TČ, tzv. primární straně je vždy výměník nazývaný výparník, do kterého je vstřikováno chladivo a vhodným teplotním médiem přiváděna nízkopotenciální energie. Teplotní médium má vyšší teplotu než vstřikované chladivo. Díky tomu se výparník podchlídí na nižší teplotu, než je teplota okolí. Chladivo v plynné fázi získává energii od teplotního média a je nasáváno kompresorem. V kompresoru se plyn stlačením zahřeje a k energii nesené plynem se přidá energie kompresoru (ve formě ztrátového tepla a tepla vzniklého třením). Na výtlaku kompresoru má stlačený plyn vyšší teplotu a energetickou úroveň a je veden do kondenzátoru. V kondenzátoru předá plyn energii topné soustavě a zkondenzuje. Kapalina je vedena do expanzního ventilu a celý proces se opakuje. [3] [4] [5]



Obr. 2.2 Obecné schéma tepelného čerpadla (ESTAV, 2019) [6]

Na obrázku 2.3 je znázorněn ideální Rankinův cyklus, který znázorňuje oběh TČ za ideálních podmínek. Takovým podmínkám se pouze dokážeme přiblížit a celý cyklus je tak mírně odlišný. Můžeme například zajistit, aby docházelo k přehřátí páry před nasátím do kompresoru s tím, aby bylo do kompresoru nasáváno pouze plynné chladivo.



Obr. 2.3 Ideální Rankinův cyklus [7]

### 2.3 Vhodnost použití

TČ jako monovalentní zdroj tepla, nebo se dá zařadit do bivalentní soustavy. V monovalentní soustavě pokrývá TČ 100 % roční spotřeby tepla. Dosáhne se toho ale jen tehdy, když je výkon při nejvyšší požadované teplotě média na výstupu z kondenzátoru stejný, nebo větší, než nejvyšší požadovaný tepelný výkon soustavy odběru tepla. V případě rodinných domů musíme počítat alespoň s minimální náhradou TČ. [8]

V bivalentní soustavě nepokryje TČ požadovaný výkon, a proto se doplňuje dalším zdrojem tepla, například plynovým kotlem, akumulacím vytápěním apod. Cílem je dosáhnout maximálního ekonomického provozu, maximální roční využití TČ a minimální cenu energie dodanou bivalentním zdrojem. V bivalentní soustavě mají tepelné zdroje paralelní nebo alternativní chod. Paralelní chod umožňuje, aby teplota vratné vody nebo vzduchu nedosáhla maximální povolené teploty média na výstupu z kondenzátoru TČ, které je v činnosti po celý čas provozu soustavy odběru tepla. Při alternativním chodu zdrojů se TČ vypne, když teplota vratného média dosáhne nejvyšší přípustnou teplotu na výstupu TČ. Potom je v provozu druhý zdroj. [8]

## 2.4 Součásti TČ

### 2.4.1 Kompresor

Je základním prvkem pro běh chladicího média. Kompresor nasává plyn, který je stlačován a díky tomu ohříván. Následně je ohřátý plyn veden do kondenzátoru. Kompresory můžeme dělit na:

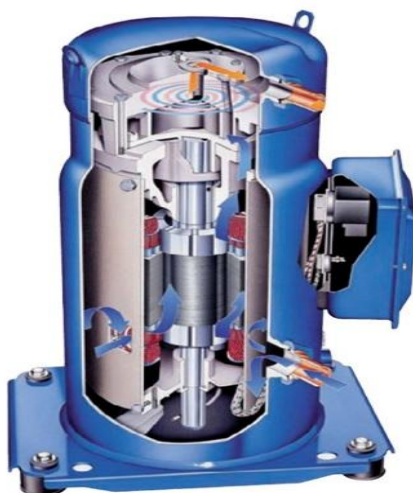
**Hermetický** – vyznačuje se společnou olejovou náplní, nádobou a hřídeli pro elektromotor i kompresor. Toto uspořádání zajišťuje úplnou těsnost a zabraňuje tak jakémukoliv úniku chladiva. [4]

**Polohermetický** – elektromotor i kompresor jsou na společné hřídeli uzavřené v hermetické skříni avšak přístupné pomocí demontovatelných vík. Nejčastější použití je u pístových kompresorů pro větší chladicí zařízení. [4]

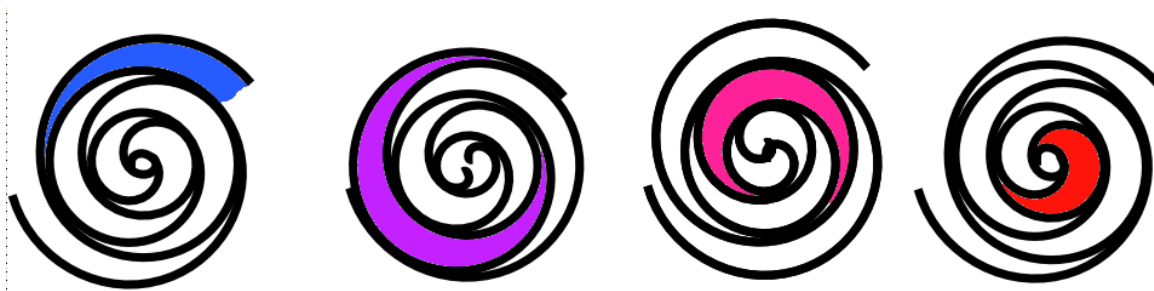
**Otevřený** – toto provedení představuje samotný kompresor s utěsněnou hřídelí a pro pohon může být použit jakýkoliv motor. Použití se uplatňuje v klimatizacích automobilů. [4]

### Hermetický Scroll kompresor

Nejpoužívanější druh kompresorů u TČ. Scroll kompresor má dvě spirály, které jsou vloženy do sebe. Jedna spirála je připevněna k tělu kompresoru a druhá je připojena na klikovou hřídel. Pohyblivá spirála se pohybuje po předem dané trase, ale nerotuje. Při pohybu vzniká mnoho plynových mezer, které vznikají v důsledku pohybu pohyblivé spirály. Čím je blíže ke středu, tím jsou mezery menší a tlak s teplotou větší. Plyn se nasaje a pohybem spirály se přemísťuje do středu kompresoru, kde dochází k výstupu plynu (obrázek 2.5). Scroll kompresory se používají pro různé teploty i chladiva. Jsou velmi tichá a dosahují vysokého chladicího faktoru. Díky oddělené sací a výtlačné části mají minimální tepelné ztráty a vysokou objemovou účinnost. Největším výrobcem scroll kompresorů je firma Copeland. [4] [9]



Obr. 2.4 Kompresor Scroll [10]



Obr. 2.5 Princip scroll kompresoru [11]

### **Hermetický pístový kompresor**

Díky nízké pořizovací ceně a snadné dostupnosti řadíme pístové kompresory k nejrozšířenějším druhům na trhu. [4]

### **Dvojitý rotační kompresor**

Skládá se ze dvou pevných komor a využívají se nejčastěji u klimatizačních jednotek. [4]

### **2.4.2 Kondenzátor**

Kondenzátor je výměník tepla vyrobený z mědi nebo ušlechtilé oceli, který během kondenzace chladícího prostředku přenáší uvolněné teplo do topného okruhu. Konstrukce se řídí podle toho, zda jako nosič tepla v topném okruhu vzduch nebo voda.

**Kondenzátory používající jako nosič tepla vzduch** jsou konstruovány většinou jako lamelové, podobné automobilovému chladiči, často se používají u chladících zařízení pro odvod tepla do okolního vzduchu. [4]

**Koaxiální kondenzátory** se skládají z jedné nebo více paralelně zapojených měděných trubek v přesunutém měděném opláštění. Z důvodu úspory místa je toto zařízení svinuto do spirály. Pára chladícího prostředku (horký plyn) proudí opláštěním, a sice v protisměru k vodě proudící vnitřní trubici. Pro zvětšení výměňkové plochy tepla mohou být vnitřní trubice vybaveny žebry nebo lamelami. Koaxiální kondenzátory se instalují naležato, a to tak, že kondenzující chladící prostředek odtéká z níže položeného výstupu. [12]

**Hadovité kondenzátory** jsou konstruovány jako kompaktnější a skládají se z hadů žebrovaných měděných trubek, které jsou uloženy ve válcovité, svisle stojící nádobě. Také tady protéká topná voda hadem z měděných trubek, chladící prostředek je veden v pouzdru po povrchu žebrovaných trubek. [4]

### **2.4.3 Expanzní ventil**

Další velmi důležitou součástí TČ je expanzní ventil, který udržuje tlakový rozdíl mezi výparníkem a kondenzátorem. Reguluje množství vstřikovaného chladiva v závislosti na teplotě a tlaku a díky tomu zajišťuje, vstup vypařovaného média do kompresoru. Expanzní ventily jsou buď termostatické (TEV) nebo elektronické (EEV). [4]

### **2.4.4 Výparník**

Výparník stejně jako kondenzátor slouží k výměně tepla, tentokrát však mezi okolním prostředím a chladivem, které přijímá tzv. výparné teplo. Konstrukce výparníků musí odolávat vlivům použitého chladiva nejen z hlediska tlaků, ale také z hlediska chemického a korozivního působení. Konstrukční materiály jsou totožné jako u kondenzátoru. Podle způsobu použití můžeme rozdělit výparníky na tyto typy:

**S deskovými výměníky** – jsou stejné jako u kondenzátoru. Tepelná energie je k těmto výparníkům přivedena z vrtu nebo ze studny apod. [4]

**Lamelové** – tento typ výparníku se používá pro odebrání tepla ze vzduchu. Je tvořen sadou trubek, na kterých jsou nalisovány lamely pro zvětšení teplosměnné plochy. K tomuto výparníku se ochlazovaný vzduch přivede vzduchotechnikou nebo je umístěn ve venkovním prostředí. Dostatečný přísun vzduchu je zajištěn ventilátorem. [4]

**Tvořené uzavřenými smyčkami** – tento typ je vyráběn z měděných trubek, které jsou již při výrobě plněny chladivem a dimenzovány na daný výkon tepelného čerpadla. Teplosměnnou plochu již nelze dodatečně zvětšit. [4]

#### 2.4.5 Chladivo

Chladiva jsou látky, které slouží k přenosu tepla v chladivovém okruhu a jsou na ně kladeny specifické požadavky, jako například snadné odpařování a zkapaňování a musí mít vhodné chemické a termodynamické vlastnosti. Chladiva jsou schopna, při nízké teplotě a tlaku ve výparníku, odebrat energii, kterou v kondenzátoru, za vysoké teploty a tlaku, předává topné soustavě.

Chladiva můžeme dělit podle fyzikálních vlastností – azeotropní a zeotropní. Azeotropní se chovají jako čisté kapaliny. Příkladem jednosložkových azeotropních chladiv R22 a R29 a mezi azeotropní směsi řadíme R502 a R507. Jako zeotropní chladiva označujeme směsi složené z více druhů chladiv. Příkladem je chladivo R407a.

Chladiva můžeme dělit také podle chemického složení, a to do čtyř skupin. První skupinou jsou chladiva na bázi halogenových uhlovodíků (CFC), příkladem jsou R11, R12, R133, R502. Do druhé skupiny řadíme částečně halogenované uhlovodíky (HCFC). Bývají označovány jako „měkké freony“. Příkladem chladiv z této skupiny jsou R21, R141b, R123. Další skupinou jsou chladiva, která mají v molekule fluor a chlor (HFC), příkladem chladiv jsou R134a, R125, R404a, R218. Poslední skupinou jsou přírodní uhlovodíky (HC), které neobsahují halogenové prvky a nemají škodlivý vliv na životní prostředí. Nevýhodou je jejich hořlavost.

Další skupinou jsou anorganická chladiva nebo sloučeniny dusíku, mezi které řadíme čpavek  $\text{NH}_3$ , který je jedovatý a proto je využíván především ve velkých chladicích systémech.

Škodlivý vliv freonů na ozónovou vrstvu byl prokázán v 80. letech. Důsledkem působení těchto freonů byl vznik ozónové díry především nad zemskými póly. Na základě těchto zjištění byla v roce 1985 podepsána Vídeňská smlouva o omezení vypouštění freonů do atmosféry. [4]

#### 2.4.6 Presostat

Presostaty jsou nastavitelné tlakové spínače. Dělíme je na sací a výtlačné, lišící se od sebe pouze rozsahem možného nastavení vypínacích tlaků. U těchto součástí je možné nastavit rozdíl tlaku mezi vypnutím a zapnutím. Havarijní vysokotlaký presostat musíme po aktivaci zapnout ručně. Presostat pro vysoký tlak se aktivuje tehdy, pokud dojde z nějakého důvodu k omezení průtoku topné vody. Nízkotlaký presostat plní pojistnou funkci na primární straně TČ. Pokud dojde k poklesu sacího tlaku, presostat vypne kompresor. Tato zařízení bývají dimenzovány na provozní podmínky a bývají použity jako samostatné přístroje. [4]

#### 2.4.7 Sběrač kapalného chladiva

Sběrač kapalného chladiva je tlaková nádoba, sloužící jako zásobník kapalného chladiva v TČ a odlučovač bublin. Zajišťuje, aby do expanzního ventilu přicházela pouze kapalina. Sběrač má objem pár litrů a bývá konstruován na výšku, případně může být konstruován vodorovně. Bývá dimenzován na nejvyšší provozní tlak, a protože je to tlaková nádoba, nesmí se upravovat. [4]

### 2.4.8 Trojcestný ventil

Ventil sloužící k občasnému uzavření nebo vývodu chladiva pro servisní účely. Je ovládaný ručně a to pomocí vhodného nástroje, kterým je většinou otevřený klíč. Ventily bývají v přímém nebo rohovém provedení. Jeden vývod slouží pro čerpání a plnění chladiva a v normálním stavu je uzavřen. Druhý je stále otevřen a spojen s okruhem chladiva. Bývá použit pro připojení manometru nebo presostatu. [4]

### 2.4.9 Měděné trubky

Trubky jsou vyrobeny z bezkyslíkaté mědi s tloušťkou stěny 1mm. Tyto trubky snesou velmi vysoké tlaky a jsou buď tvrdé nebo měkké. Tvrdé trubky jsou určeny pro rovné úseky, na rozdíl od měkkých, které se používají do záhybů, protože je lze snadno ohýbat. Trubky se vždy připravují s uzavřenými konci, aby nedošlo k oxidaci vnitřního povrchu. [4]

### 2.4.10 Kapiláry

Jsou zvláštním druhem trubek, kterými se připojují presostaty nebo manometry. Mají malý vnitřní průměr a přenáší pouze tlak k měřicímu přístroji. [4]

### 2.4.11 Průhledítko

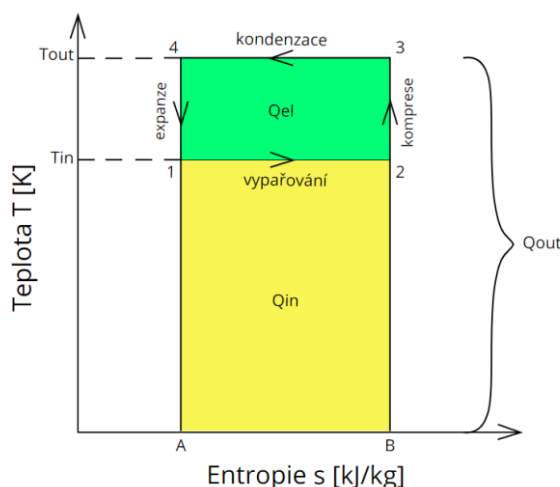
Používá se pro sledování kapaliny v potrubí. Obsahuje indikátor vlhkosti, který přítomností vlhkosti změni barvu mezikruží. Změna barvy je například ze zelené na žlutou a je vratná. Průhledítko bývá za sběračem chladiva, před vstupem do expanzního ventilu a mohou být svisle i vodorovně. V tomto místě nesmí být v chladivu bublinky. Pokud by zde byly, je to znak závady. Mohou být svisle i vodorovně. [4] [5]

## 2.5 Topný faktor

Topný faktor z anglického Coefficient of Performance je bezrozměrné číslo, které udává poměr získaného výkonu ku dodanému příkonu. Čím větší je topný faktor, tím více získáme výkonu za menší dodaný příkon.

$$COP = \frac{\text{získaný výkon}}{\text{dodaný příkon}} [-]$$

COP můžeme odvodit z T-s diagramu:



Obr. 2.6 T-s diagram, pro odvození COP (upraveno) [4]

$$COP = \frac{Q_{out}}{Q_{el}} = \frac{Q_{in} + Q_{el}}{Q_{el}} = \frac{T_{out}}{T_{out} - T_{in}} [-] \quad (2.1)$$

$T_{in}$ ...teplota zdroje tepla [K]

$T_{out}$ ...teplota na výstupu [K]

$Q_{in}$ ...energie získaná z prostředí při teplotě  $T_{in}$

$Q_{el}$ ...energie ze sítě potřebná pro pohon kompresoru

$Q_{out}$ ...výsledná energie při vyšší teplotě  $T_{out}$

COP by měl být vyšší než 1 a je nejvyšší, pokud je rozdíl mezi  $T_{in}$  a  $T_{out}$  co nejmenší. Tohoto poznatku se využívá například pro podlahové vytápění, kdy se voda vyhřívá na nižší teplotu (35 °C) a je malý rozdíl. Vypočítaný topný faktor je větší, než skutečný faktor. Ve výpočtech se totiž počítá s ideálními podmínkami. Pro přesnější určení topného faktoru se využívá sezónní průměrný topný faktor (SCOP), který se získá dlouhodobým měřením topného faktoru. Tato hodnota odpovídá skutečnému topnému faktoru. [4] [13]

### 3 Druhy TČ

Podle způsobu získávání tepla z okolního prostředí můžeme TČ dělit. Nejčastějšími zdroji jsou vzduch, voda nebo půda.

V názvech systémů TČ první slovo znamená vždy zdroj nízkoteplotního tepla, druhé označuje médium, do kterého se teplo předává.

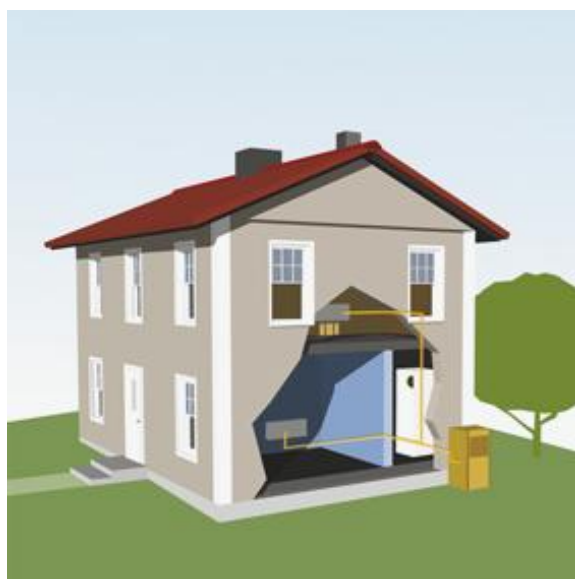
- **vzduch – voda:** tento systém odebírá teplo z okolního nebo odpadního vzduchu
- **voda – voda:** tento systém odebírá teplo z vody, která je přímo v kontaktu s výměníkem. Primární okruh je tedy otevřený
- **země – voda:** tento systém odebírá teplo z půdy pomocí kolektorů. Primární okruh je uzavřený a je vyplněn nemrznoucí směsí. [14]

#### 3.1 Vzduch – voda

Zdrojem tepla je venkovní nebo odpadní vzduch. Na primární straně TČ vzduch – voda je zapojen trubkový výparník. Kvůli vlastnostem vzduchu, musí výparník procházet velké množství vzduchu, a proto bývá výparník doplněn o ventilátor. Pokud je potřeba větší výkon ventilátoru, může být použito více ventilátorů. Obvyklá konstrukce TČ je dvoudílná. Venkovní a vnitřní část jsou spojeny izolovanými měděnými trubkami, ve kterých proudí chladivo.

Výhodou tohoto typu TČ je jednoduchá zapojitelnost a v případě nutnosti možnost přepojit na jiné místo. Další výhodou je možnost realizace bez vrtů a nižší počáteční investice než u ostatních typů tepelných čerpadel. Vhodné použití tohoto typu TČ je například na vytápění bazénů.

Hlavní nevýhodou tohoto typu TČ je nestálá teplota prostředí, ze kterého se teplo získává a s klesající teplotou klesá jeho výkon i topný faktor. Pokud je potřeba další energie při nízkých venkovních teplotách, používá se další zdroj tepla, nejčastěji kotel. Pokud jsou venkovní teploty příliš nízké, vypne se TČ úplně a výkon dodá druhý zdroj tepla. Dimenzují se na 60 – 70 % tepelných ztrát objektu při nižších teplotách. Další nevýhodou je hluchost a při nízkých teplotách hrozí možnost namrzání výparníku. [14] [15]



Obr. 3.1 TČ vzduch – voda [16]



### 3.2 Vzduch - vzduch

Zdrojem je venkovní vzduch, který ohřívá vzduch uvnitř budovy. Fungují na stejném principu jako TČ vzduch – voda, akorát předávají teplo rovnou do vnitřního prostředí. Vzduch je ohříván bez topného systému. Je to nejlevnější druh TČ a může fungovat i v chladícím režimu. Jednoduchá instalace, ale omezený počet připojitelných vnitřních jednotek na venkovní jednotku. Často se používají pro temperaci, aby teplota v místnosti neklesla pod určitou hladinu. Mezi tento typ čerpadel patří i systémy na rekuperaci tepla a vzduchotechnické jednotky, který plní funkci odvlhčování. Dosahuje vyššího topného faktoru než u TČ vzduch – voda. Nevýhodou je hluk vnitřní jednotky. [14] [15]



Obr. 3.2 TČ vzduch - vzduch [16]

### 3.3 Země – voda

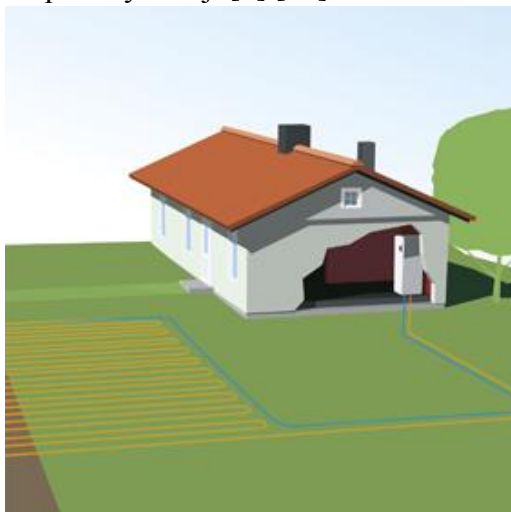
Tento typ TČ patří mezi nejvýznamnější a nejvíce stabilní, především proto, že zemská kůra je vhodným zdrojem nízkoteplotního tepla díky malým teplotním výkyvům, dostupnosti a vysoké tepelné kapacitě. Významnou roli hrají i různé druhy půd, které se vyznačují odlišnými termofyzikálními parametry jako jsou tepelná kapacita, koeficient tepelné vodivosti a velmi důležité hustota a obsah vlhkosti v půdě, které mají velký vliv na koeficient vodivosti.

Energie ze slunce se akumuluje do Zemského povrchu a poskytuje tak zdroj nízkoteplotní energie pro TČ. Teplo akumulované do Zemského povrchu lze v současné době využít dvěma způsoby. Jde o odběr energie z povrchu a z hloubky. Oba druhy využívají uzavřených výměníků na primární straně TČ, které jsou naplněny nemrznoucí směsí. Výhodou je, že tento způsob nevyžaduje vysoký výkon pro potřeby oběhového čerpadla a také eliminuje problém se zanášením výměníků a filtrů díky stálé čistotě směsi.

K tomuto typu TČ je potřeba zemní prostor, kde se bude kolektor nacházet. Může být zemní kolektor nebo geotermální vrt. K zemnímu kolektoru je zapotřebí velká plocha. Kolektor se nachází asi 1,5 m pod povrchem a používá se, pokud je kolem stavby velký prostor. Geotermální vrt se provádí tam, kde není dostatek prostoru pro zemní kolektor a je stabilní podloží. TČ země – voda patří mezi nejstabilnější typy TČ a díky stabilním podmínkám se dají používat celoročně. Mají stabilní výkon a dá se ušetřit až 80 % nákladů. [4] [14] [15]

### 3.3.1 Zemní kolektor

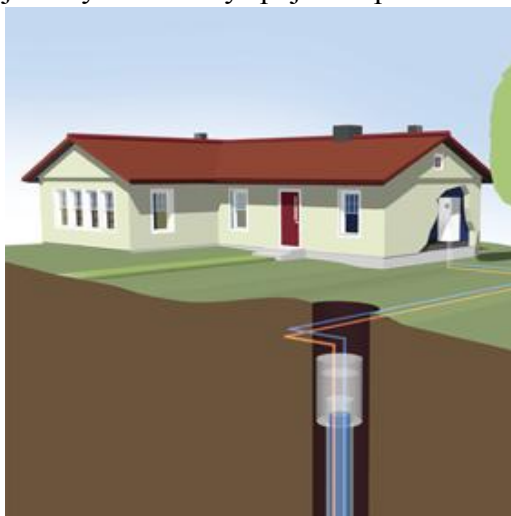
Pod povrchem je uložen kolektor, který je naplněn nemrznoucí směsí, která přenáší teplo mezi kolektorem a TČ. Jsou vhodná pro stavby s velkým pozemkem (150 – 450 m<sup>2</sup>). Za výhody lze považovat nízké náklady srovnatelné s TČ vzduch – X, dlouhou životnost a nulovou hlučnost. Určité procento energie (2 %) lze odebrat ze země pod kolektorem, větší část energie (98 %) ze země nad kolektorem. V zemi nad kolektorem se akumuluje solární energie. Fungují jako solární kolektor, přičemž energie se akumuluje v zemině. Z energie, která je sluncem do zeminy dodána, odebere zemní kolektor 2,5 %. Dokud bude slunce, je to nevyčerpatelný zdroj. [4] [15]



Obr. 3.3 TČ zemní kolektor [16]

### 3.3.2 Geotermální vrt

Energie se odebrá z hloubky pod povrchem. Vrt se provádí o hloubce 80 – 250 m a někdy se provádí i více vrtů. Do vrtu je dána nádoba, ve které je napuštěná nemrznoucí směs, která přenáší energii mezi zemí a TČ. Vrt se provádí kolem vytápěné stavby. U novostaveb je možné provést vrt pod základovou deskou. U tohoto řešení se vrt provádí dříve, než začne stavba domu. Vrty lze snadněji provádět v místech s tvrdým podložím. Dosahují stabilního výkonu i při nízkých venkovních podmínkách. Mají dlouhou životnost a jsou bezhlučná. Nevýhodou jsou vyšší náklady spojené s pořízením vrtu. [4] [15]



Obr. 3.4 TČ geotermální vrt [16]

### 3.4 Voda – voda

Dalším a zároveň také často nejlépe hodnoceným zdrojem nízkoteplotního tepla je voda. Dobré hodnocení získává především díky svým fyzikálním vlastnostem: vysoká tepelná kapacita a dobré médium pro přenos tepla. Teplo z tohoto prostředí může být čerpáno z povrchových voda, které představují jak povrchové toky, tak stojatých vod (řeky, jezera, přehrady...) a z vod podpovrchových.

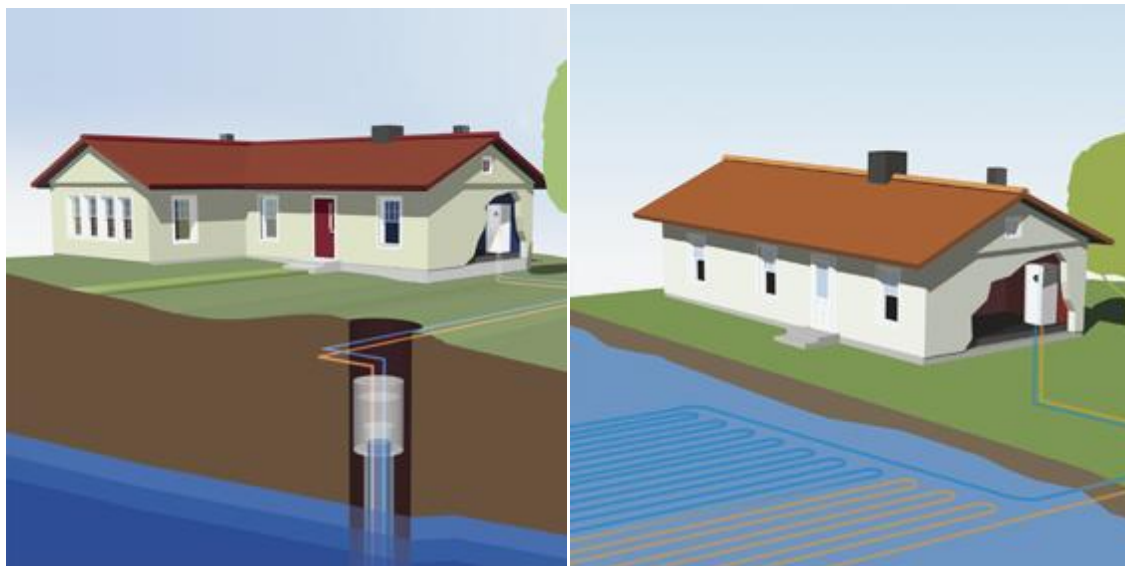
Podzemní vody mají stabilní teplotu, dávají největší topný faktor, ale je málo vhodných lokalit pro instalaci. Pořizovací náklady jsou nižší než u geotermálních vrtů, ale jsou vyšší provozní náklady. [4] [14] [15]

#### 3.4.1 Voda – voda (studny)

Energie je odebírána ze spodní nebo geotermální vody. Voda ze studny je čerpána do výměníku, kde se z ní odebere energie a poté je vrácena do země. Vhodné použití je v lokalitách s kvalitní a snadno dostupnou vodou. Nejlepších topných faktorů dosahuje TČ v hloubce kolem 10 metrů, protože zde má voda stálou roční teplotu kolem 10 °C. Nevýhodou je nutnost kontrolovat a čistit výměník a komponenty mají nižší životnost. Výhodu představuje možnost využít i odpadní teplo. [4] [14] [15]

#### 3.4.2 Země – voda (vodní plocha)

Energie se odebírá z vodní plochy. Na dně vodní plochy je uložen kolektor, který je napuštěn nemrznoucí směsí, která přináší teplo mezi kolektorem a TČ. Jde o nejlevnější variant TČ země – voda. Mezi výhody patří dlouhá životnost a bezhlučnost, ale nevýhodou je omezené použití, protože je vhodné pouze pro stavby, které jsou v blízkosti vodní plochy. [4] [14] [15]



Obr. 3.5 TČ voda – voda [16]

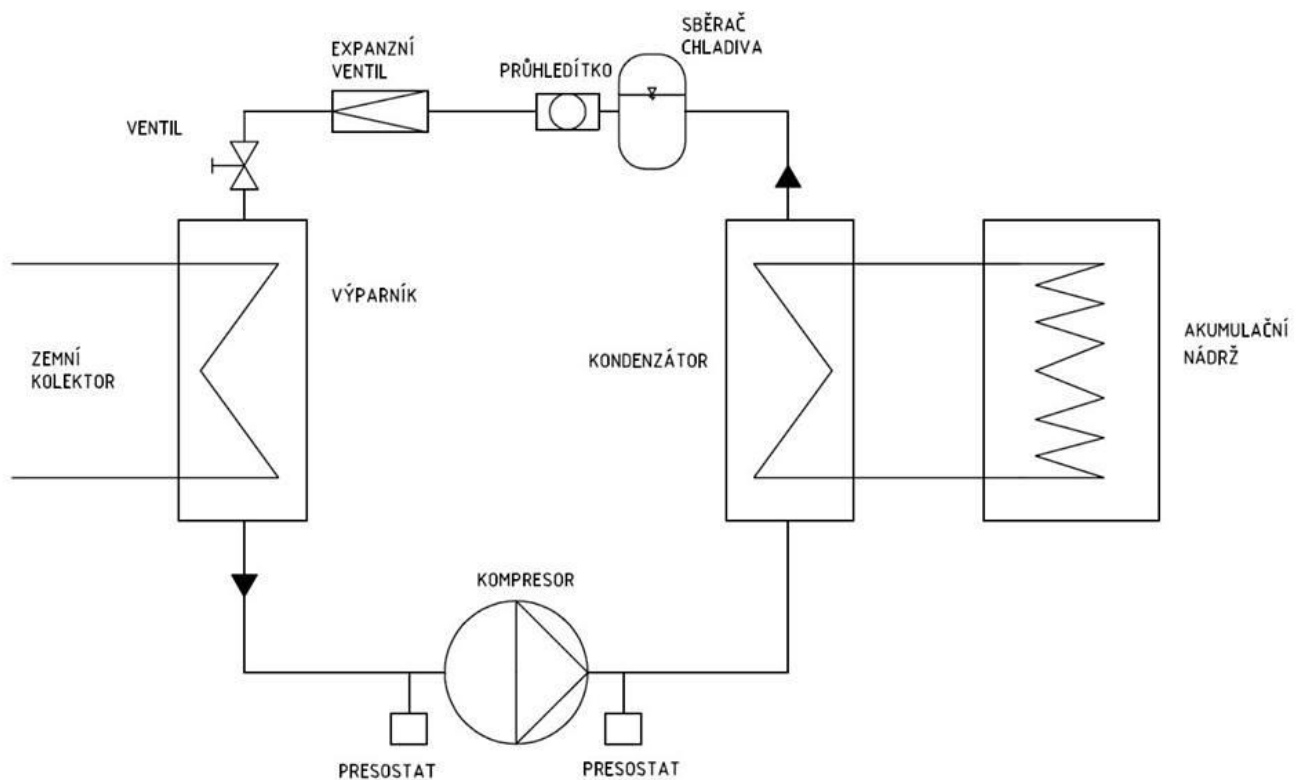
## 4 Návrh TČ

Tato část bakalářské práce se zaměřuje na výpočet a výběr vhodných komponentů, které jsou zvoleny na základy vypočítaných výsledků.

### 4.1 Zadané parametry

Ohřátí 1000L teplé užitkové vody z 20 °C na 50 °C po zvolenou dobu ohřívání 4 hodin, která je zvolena dle tarifu D25d. Voda se ohřívá v akumulční nádrži, ke které je možno připojit externí zdroj tepla. Připojení externího zdroje tepla se provádí z důvodu, že jednou za čas je potřeba ohřát vodu na vyšší teplotu (70 °C), aby došlo ke zničení zárodků bakterií, které by se mohly v nádrži vyskytnout. Druh tepelného čerpadla byl vybrán zemní kolektor a do oběhu bylo vybráno chladivo R407c.

### 4.2 Schéma TČ



Obr. 4.1 Schéma zapojení TČ

### 4.3 Tarif D25d

Tarif D25d je dvoutarifová sazba, která je určena pro domácnosti, které používají elektřinu k ohřevu TUV. Tarif je platný po 8 hodin denně. Platnost tarifu se dá rozdělit až do 3 časových úseků, přitom každý úsek musí být delší než 1 hodina. Podmínkou tarifu D25d je řádná instalace elektrického akumulčního spotřebiče na ohřátí TUV v místě odběru a odběratel musí zajistit blokaci akumulčního zařízení po dobu vysokého tarifu, což se dokládá revizní zprávou. [17]

**4.4 Potřebná energie na ohřátí vody**

Potřebná energie na ohřátí vody se vypočte z rovnice:

$$Q_k = \Delta t \cdot V \cdot 1,163 \cdot \underline{t} \quad (4.1)$$

Kde:  $Q_k$ ...Potřebná energie pro ohřátí vody [kW],  
 $\Delta t$ ...rozdíl teplot [°C],  
 $V$ ...objem vody [m<sup>3</sup>],  
 1,163...výkon, kterým se ohřeje voda při průtoku 1m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> o 1 °C [kW],  
 $\underline{t}$ ...doba ohřevu [h].

Po dosazení do rovnice dostaneme:

$$Q_k = (50 - 20) \cdot 1 \cdot 1,163 \cdot 1 \quad (4.2)$$

$$Q_k = 30 \cdot 1 \cdot 1,163 \cdot 1$$

$$Q_k = 34,89 \text{ kW}$$

Energie pro ohřátí 1 m<sup>3</sup> vody z 20 °C na 50 °C během 1 hodiny je 38,89 kW. Vodu ale ohříváme 4 hodiny, proto výsledek vydělíme 4:

$$Q_k = \frac{34,89}{4}$$

$$Q_k = 8,7225 \text{ kW}$$

Tab. 1: Entalpie chladiva R407c [18]

Entalpie [kJ·kg <sup>-1</sup> ]		
$i_1$ (-5 °C – pára)	$i_2$ (55 °C pára)	$i_3=i_4$ (55 °C kapalin)
411,2	434,5	291,8

Z entalpií při potřebných teplotách a fázích se vypočítá průtok a další výkony. Průtok chladiva se vypočítá z rovnice:

$$Q = \dot{m} \cdot \Delta i \quad (4.3)$$

Kde:  $Q$ ...výkon [kW],  
 $\dot{m}$ ...hmotnostní průtok [kg·s<sup>-1</sup>],  
 $i$ ...entalpie [kJ·kg<sup>-1</sup>].

Pro  $Q_k$  platí:

$$Q_k = \dot{m}_{ch} \cdot (i_2 - i_3)$$

Kde:  $Q_k$ ...výkon kondenzátoru [kW],  
 $\dot{m}_{ch}$ ...hmotnostní průtok chladiva [kg·s<sup>-1</sup>],  
 $i_2$ ...entalpie [kJ·kg<sup>-1</sup>] (plynného chladiva R407c při 55 °C),  
 $i_3$ ...entalpie [kJ·kg<sup>-1</sup>] (kapalného chladiva R407c při 55 °C).

Průtok tedy můžeme vyjádřit:

$$\dot{m}_{ch} = \frac{Q_k}{i_2 - i_3} \quad (4.4)$$

$$\dot{m}_{ch} = \frac{8,7225}{434,5 - 291,8}$$

$$\dot{m}_{ch} = 0,061125 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 220,0491 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Hmotnostního průtoku je v celém oběhu konstantní, z čehož dopočítáme:  
 Výkon výparníku ( $Q_v$ ):

$$Q_v = \dot{m}_{ch} \cdot (i_1 - i_4) \quad (4.5)$$

$$Q_v = 0,061125 \cdot (411,2 - 291,8)$$

$$Q_v = 7,3 \text{ kW}$$

Kde:  $Q_v$ ...výkon výparníku [kW],  
 $i_1$ ...entalpie [kJ·kg<sup>-1</sup>] (plynného chladiva R407c při 55 °C),  
 $i_4$ ...entalpie [kJ·kg<sup>-1</sup>] (kapalného chladiva R407c při -5 °C).

Výkon kompresoru ( $Q_0$ ):

$$Q_0 = \dot{m}_{ch} \cdot (i_2 - i_1) \quad (4.6)$$

$$Q_0 = 0,061125 \cdot (434,5 - 411,2)$$

$$Q_0 = 1,4 \text{ kW}$$

Kde:  $Q_0$ ... výkon kompresoru [kW].

Tab. 2: Měrný objem chladiva R407c [18]

$v_1$ [m <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup> ]	$v_2$ [m <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup> ]	$v_3$ [m <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup> ]
-5 °C (pára)	55 °C (pára)	55 °C (kapalina)
0,0628	0,0098	0,001

Z hmotnostního průtok a měrných objemů vypočítám objemové průtoky chladiva v částech TČ.

$$\dot{V} = \dot{m} \cdot v \quad (4.7)$$

Kde:  $\dot{V}$ ...objemový průtok [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ],  
 $v$ ...měrný objem [ $m^3 \cdot kg^{-1}$ ].

Sací objemový průtok:

$$\dot{V}_1 = \dot{m}_{ch} \cdot v_1 \quad (4.8)$$

$$\dot{V}_1 = 220,0491 \cdot 0,0628$$

$$\dot{V}_1 = 13,82 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Kde:  $\dot{V}_1$ ...objemový průtok na sání [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ],  
 $v_1$ ...měrný objemový průtok [ $m^3 \cdot kg^{-1}$ ] (plynného chladiva R407c při -5 °C).

Výtlačný objemový průtok:

$$\dot{V}_2 = \dot{m}_{ch} \cdot v_2 \quad (4.9)$$

$$\dot{V}_2 = 220,0491 \cdot 0,0098$$

$$\dot{V}_2 = 2,156481 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Kde:  $\dot{V}_2$ ...objemový průtok na výtlačku [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ],  
 $v_2$ ...měrný objemový průtok [ $m^3 \cdot kg^{-1}$ ] (plynného chladiva R407c při 55 °C).

Kapalina:

$$\dot{V}_3 = \dot{m}_{ch} \cdot v_3 \quad (4.10)$$

$$\dot{V}_3 = 220,0491 \cdot 0,001$$

$$\dot{V}_3 = 0,220049 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Kde:  $\dot{V}_3$ ...objemový průtok kapaliny [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ],  
 $v_3$ ...měrný objemový průtok [ $m^3 \cdot kg^{-1}$ ] (kapalného chladiva R407c při 55 °C).

Chladivo	Sací potrubí	Výtlačné potrubí	Kapalinové potrubí	Potrubí kondenzátu
R 22	5,5 až 11	4,0 až 11	0,2 až 0,8	< 0,5
R 134a	5,0 až 11	3,0 až 14	0,2 až 0,8	< 0,5
R 404A	5,0 až 15	2,0 až 15	0,3 až 0,8	< 0,5
R 407C	5,0 až 11	4,0 až 11	0,3 až 0,8	< 0,5
R 410A	4,0 až 18	3,0 až 16	0,4 až 0,8	< 0,5
R 507	5,0 až 16	2,0 až 16	0,3 až 0,8	< 0,5
NH <sub>3</sub>	15 až 20	16 až 25	0,5 až 2	< 0,5

Obr. 4.2 Doporučené rychlosti chladiva v potrubí [19]

Pomocí rovnice získáme obsah potrubí:

$$S = \frac{V}{w \cdot 3600} \quad (4.11)$$

Volil jsem střední rychlost z intervalu rychlostí v potrubí pro chladivo R407c.

Plocha sacího potrubí vyšla  $S_1 = 0,00048 \text{ m}^2$ , plocha výtlačného potrubí vyšla  $S_2 = 0,0000799 \text{ m}^2$  a pro kapalinu  $S_3 = 0,000111 \text{ m}^2$ .

Ze vztahu pro obsah kruhu:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Vyjádří se a vypočítá průměr potrubí:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}$$

Průměr sacího potrubí (vnitřní):

$$d_1 = 24 \text{ mm}$$

Průměr výtlačného potrubí (vnitřní):

$$d_2 = 10 \text{ mm}$$

Průměr potrubí pro kapalinu (vnitřní):

$$d_3 = 12 \text{ mm}$$

Ze zjištěných průměrů potrubí se vypočte reálná rychlost chladiva v potrubí:

Rychlost v sacím potrubí:  $w_1 = 8,49 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Rychlost ve výtlačném potrubí:  $w_2 = 7,63 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Rychlost kapaliny:  $w_3 = 0,54 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$



Maximální extrakční kapacita půdy podle normy VDI 4640		
Typ podloží	Max. specifická extrakční kapacita při 1800 prov. h/ročně	Max. specifická extrakční kapacita při 2400 prov. h/ročně
Suchá, nesoudržná půda	10 W/m <sup>2</sup> a 5 W/bm	8 W/m <sup>2</sup> a 4 W/bm
Soudržná, vlhká půda	20–30 W/m <sup>2</sup> a 15 W/bm	16–24 W/m <sup>2</sup> a 12 W/bm
Vodou nasycený písek/štěrk	40 W/m <sup>2</sup> a 20 W/bm	32 W/m <sup>2</sup> a 16 W/bm

Obr. 4.3 Možný zisk tepla z půdy [20]

Byla vybrána soudržná vlhká půda.

$$L = \frac{Q_v \cdot 1000}{20} \quad (4.12)$$

$$L = 364,9 \text{ m}$$

Kde: L...délka zemního kolektoru [m].

#### 4.5 Zemní kolektor

K umožnění odebírání energie z půdy, je v zemi uložen kolektor, v kterém obíhá kapalina. Protože výparná teplota chladiva je  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ , je možné, že by ve výparníku docházelo k namrzání vody a proto ji není možné použít jako médium v zemním kolektoru. Používá se směs ethylenglykolu a vody, přičemž ve směsi bývá 30 – 40 % ethylenglykolu. Pro výpočty jsem volil směs s 35 % ethylenglykolu. Nejprve jsem vypočítal  $c_p$  pro směs vody a ethylenglykolu.

Hmotnostní zlomek ethylenglykolu:

$$w_{ethy} = \frac{x_{ethy} \cdot M_{ethy}}{x_{ethy} \cdot M_{ethy} + x_{H_2O} \cdot M_{H_2O}} \quad (4.13)$$

$$w_{ethy} = \frac{0,35 \cdot 0,06207}{0,35 \cdot 0,06207 + 0,65 \cdot 0,018015}$$

$$w_{ethy} = 0,649764$$

Hmotnostní zlomek vody:

$$w_{H_2O} = \frac{x_{H_2O} \cdot M_{H_2O}}{x_{ethy} \cdot M_{ethy} + x_{H_2O} \cdot M_{H_2O}} \quad (4.14)$$

$$w_{H_2O} = \frac{0,65 \cdot 0,018015}{0,35 \cdot 0,06207 + 0,65 \cdot 0,018015}$$

$$w_{H_2O} = 0,350236$$

$$C_{p,ethy} \dots 2283,82 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1},$$

$$C_{p,H_2O} \dots 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}.$$

$$c_{p,ethy35} = w_{ethy} \cdot c_{p,ethy} + w_{H_2O} \cdot c_{p,H_2O} \quad (4.15)$$

$$c_{p,ethy35} = 0,649764 \cdot 2283,82 + 0,350236 \cdot 4180$$

$$c_{p,ethy35} = 2947,93 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 2,94793 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Kde:  $x_{ethy}$ ...objemový zlomek ethylenglykolu [-],  
 $x_{H_2O}$ ...objemový zlomek vody [-],  
 $M_{ethy}$ ...molární koncentrace ethylenglykolu [ $\text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$ ],  
 $M_{H_2O}$ ...molární koncentrace vody [ $\text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$ ],  
 $w_{ethy}$ ...hmotnostní zlomek ethylenglykolu [-],  
 $w_{H_2O}$ ...hmotnostní zlomek vody [-],  
 $c_{p,ethy35}$ ...měrná tepelná kapacita 35 % ethylenglykolu s vodou [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ].

Z vypočítané měrné tepelné kapacity směsi 35 % ethylenglykolu s vodou, pomocí kalorimetrické rovnice vypočítáme průtok kapaliny v kolektoru uloženém v zemi:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta t \quad (4.16)$$

Pro naše parametry upravenou na :

$$Q_v = \dot{m}_s \cdot c_{p,ethy35} \cdot \Delta t$$

A hmotnostní průtok tedy:

$$\dot{m}_s = \frac{Q_v}{c_{p,ethy35} \cdot \Delta t} \quad (4.17)$$

$$\dot{m}_s = \frac{7,298294}{2,94793 \cdot [3 - (-1)]}$$

$$\dot{m}_s = 0,618933762 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 2228,16 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

## 4.6 Expanzní ventil

Z vypočítaného chladicího výkonu, jsem zvolil elektronický expanzní ventil ALCO – EX2. Je pulsně řízený a patří k nejmodernějším konstrukcím expanzních ventilů. Tento expanzní ventil má velký regulační rozsah od 10 – 100 %. Je doporučeno, aby ventil požadovaného výkonu dosahoval při 50 – 80 % otevíření. Z tohoto doporučení je zvolen ventil s tryskou 4, jejíž chladicí výkon je 11,8 kW při 100 % otevíření. [21]

	Schiesl	Typ	Objednací číslo	Chladicí výkon v kW při 100% otevření ventilu			
				R134 a	R 404a	R 507	R 407 C
Ventil	231.0202	EX 2-000	801090	13,3	12,1	12,1	18,7
Tryska 4	231.0206	EX0- 004	801089	8,5	7,7	7,7	11,8
Tryska 3	231.0205	EX0- 003	801088	5,6	5,1	5,1	7,8
Tryska 2	231.0204	EX0- 002	801087	3,3	3,0	3,0	4,7
Tryska 1	231.0203	EX0- 001	800086	2,5	2,3	2,3	3,5
Tryska 0	231.0207	EX0-000	801085	0,7	0,6	0,6	1,0

Obr. 4.4 Chladicí výkony expanzního ventilu ALCO-EX2 [21]

#### 4.7 Kompresor

Byl vybrán kompresor typu scroll model ZH38 K4E TFD 522 od firmy Copeland, který byl vybrán na základě průtoku  $13,819808 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Scroll kompresory Copeland se vyrábí od roku 1979. Typová řada ZH se používá pouze pro TČ a pracují s chladivem R134a, R407c, R410A. Scroll kompresor ZH38 má maximální průtok  $14,4 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ , chladicí výkon 11,0 kW a příkon 3,34 kW. [22]

#### 4.8 Výparník

V případě výparníku byl vybrán deskový výměník B25TH×26/1P od firmy SWEP. Jedná se o nerezový deskový výměník s rozměry  $526 \times 117 \times 62 \text{ mm}$  a teplosměnnou plochou  $1,51 \text{ m}^2$ . Obsahuje 26 desek a je zapojen v protiproudém zapojení. Tlaková ztráta na straně chladiva je 12,1 kPa a na straně směsi 35% ethylenglykolu s vodou 20,4 kPa. Ve vnitřním okruhu je chladivo R407c a ve vnějším směs. Počet kanálů na průchod je na straně chladiva 12 a 13 na straně směsi. Teplotní spád na kapalině je obvykle  $3 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$  a odpařovací teplota chladiva je o  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  nižší než výstupní teplota kapaliny. [23]

#### 4.9 Kondenzátor

Z dostupných kondenzátorů byl zvolen deskový výměník tepla B25TH×30/1P od firmy SWEP. Jedná se o nerezový deskový výměník s rozměry  $526 \times 117 \times 71 \text{ mm}$ , hmotností 7,46 kg a teplosměnnou plochou  $1,76 \text{ m}^2$ . Výměník obsahuje 30 desek a je zapojen v protiproudém zapojení. Tlaková ztráta na straně chladiva je 0,322 kPa a na straně vody 8,06 kPa. Ve vnitřním okruhu je chladivo R407c a ve vnějším voda. Počet kanálů na průchod je na straně chladiva 14 a 15 na straně vody. Teplotní spád na straně vody se uvažuje cca  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vstupní teplota vody se tedy uvažuje  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ . Uvažuje se tak proto, že  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  bude mít voda na vstupu do výměníku pouze na začátku ohřívacího cyklu a pokud by se uvažoval teplotní spád  $20/50 \text{ }^\circ\text{C}$ , byly by tyto podmínky poddimenzované a vyšel by výměník s malým výkonem. Poté co začne voda vstupovat do výměníku o vyšší teplotě, je rozdíl mezi vstupní a kondenzační teplotou menší a výměník by nepřenesl co má. U výměníku s nedostatečnou teplosměnnou plochou by chladivo obtížně kondenzovalo a TČ by padalo do poruchy. [23]

#### 4.10 Topný faktor

Topný faktor se vypočte z vypočítané potřebné energie na ohřátí vody  $Q_k = 8,7225 \text{ kW}$  k výkonu kompresoru, který z výpočtu vyšel 1,4 kW.

$$e = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{Q_v + Q_0}{Q_0} = \frac{Q_k}{Q_0} = \frac{8,7225}{1,4} = 6,23$$

## 5 ZÁVĚR

Tepelné čerpadlo je zařízení využívající nízkopotenciální energii ze svého okolí a člení se podle média, z něhož energii získávají, na tepelná čerpadla typu vzduch – voda, voda – voda a země – voda. Každá z variant má své výhody a nevýhody a vhodnost jejich využití je spjata s konkrétními podmínkami.

Cílem bakalářské práce bylo seznámit s principem tepelných čerpadel a udělat přehled používaných typů. Teoretická část práce byla složena ze dvou částí. První část se zabírala principem, jak tepelná čerpadla získávají teplo a z jakých komponent jsou složena. V druhé části byly popsány druhy tepelných čerpadel podle prostředí, z něj získávají teplo.

Praktická část je věnována výpočtům, na základě kterých byly navrženy jednotlivé komponenty pro sestavení vhodného tepelného čerpadla.

Ze zadaných vstupních parametrů byl znám objem požadované ohřívané vody (1000 L), dále teplota ohřívané vody (z 20 °C na 50 °C) a doba ohřívání (4 hodiny). Ze známých parametrů se vypočítala potřebná energie pro ohřátí vody  $Q_k = 8,7225$  kW. Následně byl vypočítán hmotnostní průtok, z kterého se dalším výpočtem získala hodnota chladicího výkonu  $Q_v = 7,3$  kW. Měrné objemy byly odečteny z tabulek chladiva a byly spočítány objemové průtoky. Na základě zjištěných objemových průtoků byl vybrán kompresor Copeland ZH38 K4E TFD 522. Z objemových průtoků byly dále spočítány průměry trubek. Následně se vypočítala potřebná délka zemního kolektoru, která vyšla 365 metrů. Z důvodu, že výparná teplota chladiva je pod bodem mrazu, nemůže být v kolektoru jako médium použita voda, ale musí zde být směs ethylenglykolu s vodou. Byla zvolena směs s 35 % koncentrací ethylenglykolu. Hmotnostní průtok v zemním kolektoru je  $2228,2$  kg·h<sup>-1</sup>. Expanzní ventil pracuje na 50 – 80 % otevření, a proto se podle chladicího výkonu zvolil ventil ALCO – EX2 – 004, který má při plném otevření výkon 11,8 kW. Výparník byl zvolen deskový výměník B25TH×26/1P od firmy SWEP a kondenzátor deskový výměník B25TH×30/1P od firmy SWEP. S výběrem výměníku tepla mi pomohla firma: Výměníky s.r.o., kterou jsem poprosil o pomoc při výběru ideálních výměníků. Z potřebné energie a výkonu kompresoru se vypočetl topný faktor, který vyšel 6,23. Z vypočítaných a navržených parametrů je zřejmé, že tepelné čerpadlo by bylo možné a díky vysokému topnému faktoru i výhodné pro sestavení.

## 6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Blueteam. *Historie tepelného čerpadla* [online]. b.r. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://tc.blueteam.cz/historie-tepelneho-cerpadla.html>
- [2] Mastos s.r.o. [online]. In: . 2017 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: [http://www.mastos.cz/wp-content/uploads/2017/03/mastos\\_2-1024x603.png](http://www.mastos.cz/wp-content/uploads/2017/03/mastos_2-1024x603.png)
- [3] OEnergetice. *Teplárenství: Tepelná čerpadla* [online]. 2015 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplarenstvi/tepelna-cerpadla/>
- [4] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]*. Přerov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 80-239-0275-X.
- [5] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. Brno: ERA, 2005. 21. století. ISBN 80-736-6031-8.
- [6] ESTAV. In: *Tepelné čerpadlo: Jak funguje* [online]. Ing. Lachnit, b.r. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/3184.tepelne-cerpadlo-jak-funguje>
- [7] TZB-info. In: *Tepelná čerpadla* [online]. AC Heating, 2012 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9147-ac-heating-factory-ovlivnujici-ucinnost-tepelnych-cerpadel>
- [8] KACLÍK, Ján a Jaroslav VALÁŠEK. *Racionálne využitie energie v rodinných domoch*. 1. vydanie. Bratislava: Alfa, 1989. Edícia energetickej literatúry. ISBN 80-05-00066-9.
- [9] Vytápění.cz. *Okenko* [online]. 2010 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <http://www.vytapani.cz/okenko/scroll-kompresor>
- [10] Om Electrical. In: *Scroll Compressors* [online]. 2014 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.omelectrical.in/scroll-compressor.html>
- [11] Wikiwand. In: *Vapor-compression refrigeration: Scroll compressors* [online]. b.r. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: [http://www.wikiwand.com/en/Vapor-compression\\_refrigeration](http://www.wikiwand.com/en/Vapor-compression_refrigeration)
- [12] HZSS [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://cs.coaxial-coils.com/otherbar1740760.htm>
- [13] Abeceda čerpadel. *Topný faktor COP* [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/topny-faktor-cop-ucinnost-tepelneho-cerpadla>
- [14] Stavebnictví3000. *Články: Základní rozdělení tepelných čerpadel* [online]. 2017 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/zakladni-rozdeleni-tepelnych-cerpadel>
- [15] Tepelná čerpadla IVT. *Typy tepelných čerpadel* [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/typy-tepelnych-cerpadel>
- [16] Tepelná čerpadla IVT. In: *Typy tepelných čerpadel* [online]. Tepelná čerpadla IVT, b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/typy-tepelnych-cerpadel>
- [17] Ceny Energie. *Sazby D25d a D26d: Ohřev vody a akumulací kamna* [online]. Ceny energie, 2010 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.cenyenergie.cz/sazby-d25d-a-d26d-ohrev-vody-a-akumulacni-kamna/#/promo-ele-mini>

- [18] [online]. HAVELSKÝ, Václav. Bratislava: STU, SjF, Katedra tepelnej techniky Bratislava, b.r., s. 46-48 [cit. 2019-05-20].
- [19] Potrubní systémy chladicích zařízení. VVI [online]. 2008, 2008(5), 262-265 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.stpcr.cz/cz/cislo-5-2008>
- [20] Vytapeni.tzb-info. In: *Tepelná čerpadla* [online]. Premium Power, 2013 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/10178-zakladni-zasady-navrhu-plosneho-zemniho-kolektoru-pro-tepelne-cerpadlo-zeme-voda>
- [21] *Schiessl* [online]. Schiessl, 2011 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.schiessl.cz/soubor-alco-ex2-elektronicky-expanzni-ventil-465-.pdf>
- [22] *Schiessl* [online]. 2009 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.schiessl.cz/soubor-copeland-scroll-kompresory-26-.pdf>
- [23] *Vymeniky-tepla* [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.vymeniky-tepla.cz/vymenik-tepla-cenik/>

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Veličina	Jednotka
$\Delta t$	Rozdíl teplot	$^{\circ}\text{C}$
$c_p$	Měrná tepelná kapacita	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
$c_{p,\text{ethy}}$	Měrná tepelná kapacita ethylenglykolu	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
$c_{p,\text{ethy}35}$	Měrná tepelná kapacita 35 % ethylenglykolu s vodou	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
$c_{p,\text{H}_2\text{O}}$	Měrná tepelná kapacita vody	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
$d_1$	Průměr sacího potrubí	mm
$d_2$	Průměr výtlačného potrubí	mm
$d_3$	Průměr potrubí pro kapalinu	mm
$e$	Topný faktor	–
$i_1$	Entalpie chladiva v plynné fázi při $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
$i_2$	Entalpie chladiva v plynné fázi při $55\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
$i_3$	Entalpie chladiva v kapalně fázi při $55\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
$i_4$	Entalpie chladiva v kapalně fázi při $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
$L$	Délka zemního kolektoru	m
$\dot{m}$	Hmotnostní průtok	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
$M_{\text{ethy}}$	Molární koncentrace ethylenglykolu	$\text{kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$
$M_{\text{H}_2\text{O}}$	Molární koncentrace vody	$\text{kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$
$\dot{m}_{\text{ch}}$	Hmotnostní průtok chladiva	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
$\dot{m}_s$	Hmotnostní průtok směsi v kolektoru	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
$Q$	Výkon	kW
$Q_0$	Výkon kompresoru	kW
$Q_{\text{el}}$	Energie pro pohon kompresoru	kW
$Q_{\text{in}}$	Energie získaná z prostředí při teplotě $T_{\text{in}}$	kW
$Q_k$	Výkon kondenzátoru – energie pro ohřev vody	kW
$Q_{\text{out}}$	Energie při teplotě $T_{\text{out}}$	kW
$Q_v$	Výkon výparníku	kW
$S$	Plocha potrubí	$\text{m}^2$
$\underline{t}$	Doba ohřevu	h
$T_{\text{in}}$	Teplota zdroje tepla	K
$T_{\text{out}}$	Teplota na výstupu	K
$V$	Objem vody	$\text{m}^3$
$\dot{V}$	Objemový průtok	$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
$v_1$	Měrný objem chladiva v plynné fázi při $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$\dot{V}_1$	Sací objemový průtok	$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
$v_2$	Měrný objem chladiva v plynné fázi při $55\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$\dot{V}_2$	Výtlačný objemový průtok	$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
$v_3$	Měrný objem chladiva v kapalně fázi při $55\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$\dot{V}_3$	Objemový průtok kapaliny	$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
$w_1$	Rychlost v sacím potrubí	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

$w_2$	Rychlost ve výtlačném potrubí	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
$w_3$	Rychlost kapaliny	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
$w_{\text{ethy}}$	Hmotnostní zlomek ethylenglykolu	–
$w_{\text{H}_2\text{O}}$	Hmotnostní zlomek vody	–
$x_{\text{ethy}}$	Objemový zlomek ethylenglykolu	–
$x_{\text{H}_2\text{O}}$	Objemový zlomek vody	–



## **8 SEZNAM OBRÁZKŮ**

- Obr. 2.1 Vývoj instalací TČ v ČR [2]
- Obr. 2.2 Obecné schéma tepelného čerpadla (ESTAV, 2019) [6]
- Obr. 2.3 Ideální Rankinův cyklus [7]
- Obr. 2.4 Kompresor Scroll [10]
- Obr. 2.5 Princip scroll kompresoru [11]
- Obr. 2.6 T-s diagram, pro odvození COP (upraveno) [4]
- Obr. 3.1 TČ vzduch – voda [16]
- Obr. 3.2 TČ vzduch - vzduch [16]
- Obr. 3.3 TČ zemní kolektor [16]
- Obr. 3.4 TČ geotermální vrt [16]
- Obr. 3.5 TČ voda – voda [16]
- Obr. 4.1 Schéma zapojení TČ
- Obr. 4.2 Doporučené rychlosti chladiva v potrubí [19]
- Obr. 4.3 Možný zisk tepla z půdy [20]
- Obr. 4.4 Chladicí výkony expanzního ventilu ALCO-EX2 [21]

## **9 SEZNAM TABULEK**

Tab. 1: Entalpie chladiva R407c [18]

Tab. 2: Měrný objem chladiva R407c [18]