



## **Bakalářská práce**

### **Návrh tepelného čerpadla**

*Studijní program:*

B0715A270008 Strojírenství

*Autor práce:*

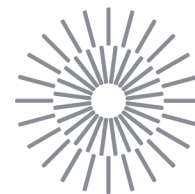
**Kryštof Hnídek**

*Vedoucí práce:*

Ing. Ondřej Burian

Katedra energetických zařízení, Liberec

Liberec 2024



## Zadání bakalářské práce

### Návrh tepelného čerpadla

<i>Jméno a příjmení:</i>	<b>Kryštof Hnídek</b>
<i>Osobní číslo:</i>	S20000032
<i>Studijní program:</i>	B0715A270008 Strojírenství
<i>Zadávající katedra:</i>	Katedra energetických zařízení
<i>Akademický rok:</i>	2022/2023

### Zásady pro vypracování:

Cílem práce je návrh jednoduchého tepelného čerpadla typu voda/voda na bázi kompresorového chladicího oběhu. Práce bude zahrnovat tepelný výpočet, technickou specifikaci hlavních komponent (kompresor, výparník, kondenzátor, škrtkovací ventil) a výběr hlavních komponent podle dokumentace výrobců.

1. Zpracujte krátkou rešerši na téma tepelná čerpadla (TČ).
2. Stanovte topologii tepelného oběhu TČ a určete vstupní parametry pro výpočet.
3. Provedte výpočet oběhu tepelného čerpadla. Určete hmotové a energetické toky jednotlivých komponent.
4. Na základě tepelného výpočtu sestavte požadované technické parametry jednotlivých komponent oběhu TČ.
5. Na základě bodu 4 vyberte z dostupné nabídky na internetu reálné hlavní komponenty pro Vaše TČ.
6. Rámcově navrhnete další části TČ – propojovací potrubí, rám, upevnění komponent, systém řízení atd.
7. Vypracujte závěrečnou technickou zprávu k TČ.

*Rozsah grafických prací:* 0  
*Rozsah pracovní zprávy:* 40  
*Forma zpracování práce:* tištěná/elektronická  
*Jazyk práce:* čeština

**Seznam odborné literatury:**

CHLUMSKÝ, Vladimír a Antonín LIŠKA. Kompresory. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1978.

*Vedoucí práce:* Ing. Ondřej Burian  
Katedra energetických zařízení

*Datum zadání práce:* 1. listopadu 2022

*Předpokládaný termín odevzdání:* 30. dubna 2024

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
děkan

L.S.

doc. Ing. Petra Dančová, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2022

# Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

18. února 2024

Kryštof Hnídek



## **Anotace**

Tepelné čerpadlo slouží k vytápění nejčastěji rodinných domů. Je založeno na principu pravotočivého tepelného oběhu. Tato práce popisuje základy tepelných čerpadel, druhy tepelných čerpadel a jejich komponenty. Poté následuje výpočet pro dané podmínky a porovnání výsledků za různých podmínek. Zadané čerpadlo je typu voda-voda a bude vytápět pasivní dům. Výpočty budou prováděny pomocí vzorců a výpočtového programu Python-Anaconda.

## **Annotation**

A heat pump is most often used to heat family houses. It is based on the principle of clockwise heat circulation. This thesis describes the basics of heat pumps, types of heat pumps and their components. This is followed by a calculation for the given conditions and a comparison of the results under different conditions. The specified pump is of the water-water type and will heat a passive house. Calculations will be performed using formulas and the Python-Anaconda calculation program.

## **Klíčová slova**

Tepelné čerpadlo, tepelné čerpadlo voda-voda, návrh tepelného čerpadla pro pasivní dům

## **Keywords**

Heat pump, heat-pump water-water, design of heat-pump for passive house

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Ondřeji Burianovi a konzultantce paní Ing. Magdě Vestfálové, Ph.D. za cenné odborné rady při vypracování této práce.

## Seznam ilustrací

Obrázek 1 Přeměna energie .....	6
Obrázek 2 Reálný diagram tepelného čerpadla [4] .....	7
Obrázek 3 Oběh TČ .....	7
Obrázek 4 Pracovní diagram kondenzátoru .....	8
Obrázek 5 Pracovní diagram výparníku .....	8
Obrázek 6 Přehřívání par a podchlazení chladiva .....	9
Obrázek 7 Technické parametry čerpadel Spirála [17].....	11
Obrázek 8 Deskový výměník [10].....	12
Obrázek 9 Popis SCROLL kompresoru [12] .....	13
Obrázek 10 Expanzní ventil .....	14
Obrázek 11 Atomová struktura Zeolitu [4] .....	16
Obrázek 12 Čerpadlo vzduch-voda [9].....	17
Obrázek 13 Čerpadlo země-voda [9] .....	18
Obrázek 14 Čerpadlo voda-voda [9] .....	19
Obrázek 15 Schéma objektu .....	21
Obrázek 16 Detailní zobrazení oběhu TČ.....	23
Obrázek 17 Diagram p-h pro oběh R410A.....	23
Obrázek 18 Výparník B25T.....	29
Obrázek 19 Rozměry výparníku B25T [13].....	31
Obrázek 20 Nátrubky do výparníku [13].....	31
Obrázek 21 Kompresor ZH04K1P-PFZ-524 [14] .....	32
Obrázek 22 Kondenzátor B10T [13].....	34
Obrázek 23 Rozměry kondenzátoru B10T [13].....	35
Obrázek 24 Expanzní ventil TIH-Z13 M [15].....	36
Obrázek 25 Sběrač 118U3474 [15] .....	37
Obrázek 26 Filtrdehydrátor 023Z0246 [15] .....	38
Obrázek 27 Skutečný oběh TČ .....	39
Obrázek 28 Pravý pohled na 3D návrh TČ .....	40
Obrázek 29 Levý pohled na 3D návrh TČ .....	40



## Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní parametry .....	20
Tabulka 2 Parametry pro R410A .....	25
Tabulka 3 Vypočítané hodnoty pro R407C .....	26
Tabulka 4 Vypočítané hodnoty pro R134a.....	27
Tabulka 5 Porovnání výpočtů.....	28
Tabulka 6 Parametry výměníku B25T .....	30
Tabulka 7 Parametry kompresoru [14].....	33
Tabulka 8 Parametry kondenzátoru B10T [13].....	35
Tabulka 9 Parametry expanzního ventilu [15].....	36
Tabulka 10 Parametry sběrače 118U3474 [15] .....	37
Tabulka 11 Tabulka parametrů filtrdehydrátoru [15] .....	38

## Seznam zkratek

Název veličiny:	Zkratka veličiny:	Jednotky:
Potenciál globálního oteplování	GWP	[-]
Tepelné čerpadlo	TČ	[]
Tlak	P	[bar]
Entropie	s	[kJ]
Entalpie	h	[kJ/kg]
Teplota	T	[°C]
Teplota chladiva v kondenzátoru	$t_k$	[°C]
Teplota vody na vstupu do kondenzátoru	$t_{k1}$	[°C]
Teplota vody na výstupu do kondenzátoru	$t_{k2}$	[°C]
Teplota chladiva ve výparníku	$t_v$	[°C]
Teplota vody na vstupu do výparníku	$t_{v1}$	[°C]
Teplota vody na výstupu do výparníku	$t_{v2}$	[°C]
Teplota přehřátí	$\Delta t_p$	[°C]
Teplota podchlazení	$\Delta t_d$	[°C]
Topný faktor	COP	[-]
Předaný výkon	$Q_c$	[kW]
Výkon kompresoru	L	[kW]
Odebraný výkon	$Q_f$	[kW]
Chladicí faktor	EER	[-]
Termostatický expanzní ventil	TEV	[]
Elektronický expanzní ventil	EEV	[]
Sezonní topný faktor	SCOP	[-]
Venkovní jednotka/tepelné čerpadlo	HP	[]
Zásobník užitkové vody	SW	[]
Zásobník ohříváné vody	HW	[]
Polyethylen	PE	[]
Entalpie na výstupu z kondenzátoru	$h_{k,out}$	[kJ/kg]
Entalpie na výstupu z výparníku	$h_{v,out}$	[kJ/kg]
Teoretická entalpie na vstupu z kond.	$*h_{k,in}$	[kJ/kg]
Teplota spodní vody na vstupu	$t_{sv,in}$	[°C]
Teplota spodní vody na výstupu	$t_{sv,out}$	[°C]
Hmotnostní průtok oběhu	$\dot{m}_{sv}$	[kg/s]
Teplota otopné vody na výstupu	$t_{uv,in}$	[°C]
Teplota otopné vody na vstupu	$t_{uv,out}$	[°C]
Hmotnostní průtok oběhu	$\dot{m}_{uv}$	[kg/s]
Výparná teplota	$t_v$	[°C]
Kondenzační teplota	$t_k$	[°C]
Teplota přehřátí	$t_{ph}$	[°C]

Teplota podchlazení	$t_{pch}$	[°C]
Teplota na vstupu do výparníku	$t_{v,in}$	[°C]
Teplota na výstupu z výparníku	$t_{v,out}$	[°C]
Teplota na vstupu do kondenzátoru	$t_{k,in}$	[°C]
Teplota na výstupu z kondenzátoru	$t_{k,out}$	[°C]
Tlak v nízkotlaké oblasti	$p_{no}$	[MPa]
Tlak ve vysokotlaké oblasti	$p_{vo}$	[MPa]
Hmotností průtok oběhu	$\dot{m}_{ch}$	[kJ/kg]
Teplo výparníku	$Q_{vyp}$	[kJ/kg]
Teplo kondenzátoru	$Q_{kon}$	[kJ/kg]
Práce kompresoru	$W_{kom}$	[kJ/kg]
Výkon výparníku	$P_{vyp}$	[kW]
Výkon kondenzátoru	$P_{kon}$	[kW]
Výkon kompresoru	$P_{kom}$	[kW]
Částečně fluorované uhlovodíků	HFC	[ ]

# Obsah

Úvod .....	5
<b>1. Teoretická část.....</b>	<b>6</b>
1.1 Přehřívání par a podchlazení chladiva .....	9
1.2 Topný faktor .....	10
1.3 Reálný popis TČ .....	12
1.4 Druhy TČ .....	15
1.4.1 Čerpadlo vzduch-voda a země-voda .....	17
1.4.2 Čerpadla voda-voda .....	19
<b>2. Praktická část.....</b>	<b>20</b>
2.1 Tepelná bilance .....	22
2.2 Výběr komponent .....	29
2.2.1 Návrh výparníku .....	29
2.2.2 Návrh kompresoru .....	32
2.2.3 Návrh kondenzátoru .....	34
2.2.4 Návrh expanzního ventilu .....	36
2.2.5 Návrh sběrače chladiva .....	37
2.2.6 Návrh filtrdehydrátoru.....	38
2.3 Reálný oběh a 3D model .....	39
<b>3. Závěr .....</b>	<b>41</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>43</b>



## Úvod

V dnešním dynamickém a rozvíjejícím se světě projevuje stále více populace zájem o energetiku, potenciální úspory, které přináší a také možné způsoby, jak energetické přístroje ekologicky a ekonomicky zajistit. Mezi tyto zařízení bezesporu patří tepelné čerpadlo, které bylo v posledních letech pro řadu podniků a domácností ekonomicky výhodné. Avšak i na tepelné čerpadlo se vztahují ekologické restriktce, a to hlavně v podobě zákazu určitých chladiv, kvůli možnému výskytu částic freonu.

S první teoretickou myšlenkou tepelného čerpadla přišel v roce 1852 matematický fyzik a inženýr Lord Kelvin, který tvrdil, že pokud může komprese páry odebrat teplo vzduchu a tím jej ochladit, může mu teplo dodat a oteplít jej. První a funkční tepelné čerpadlo země-voda bylo vynalezeno v roce 1900. Popularita tepelných čerpadel v ČR vzrostla až na počátku 80. let, do té doby byla tepelná čerpadla považována spíše za raritu.

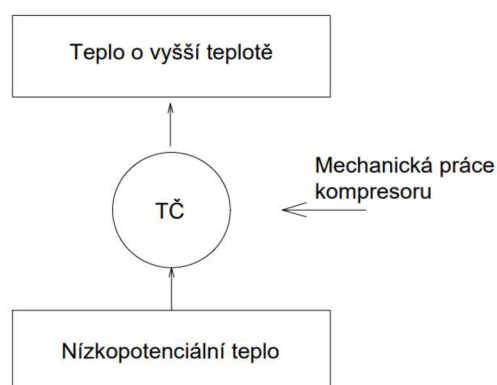
Tato práce se bude primárně orientovat na objasnění principů fungování tepelného čerpadla, jeho jednotlivé komponenty a následný ruční výpočet, který bude rovněž podložen výpočtem prostřednictvím programu. Přičemž hlavním předpokladem práce je, že čerpadlo bude typu voda-voda, a že konečná teplota v místnosti bude dosahovat 20 °C.

Záměrem je pomocí výpočtu navrhnout šest hlavních komponent (výparník, kompresor, kondenzátor, expanzní ventil, sběrač chladiva a filtr). Práce nebude brát v potaz další komponenty a zapojení, které reálné tepelné čerpadlo může či musí mít.

Tato práce se orientuje primárně na objasnění principů fungování tepelného čerpadla.

## 1. Teoretická část

Tepelné čerpadlo (dále jen TČ) je technické zařízení, které získává teplo z okolí k oteplení daného objektu, je založeno na principu pravotočivého uzavřeného tepelného systému. Druh látky, kterou TČ dostává z okolí se liší dle zvoleného typu TČ. K tepelné výměně dojde jen tehdy, když se přivede do systému tepelná energie o větším potenciálu, než je potenciál pracovní látky. To lze graficky demonstrovat na Obrázek 1.



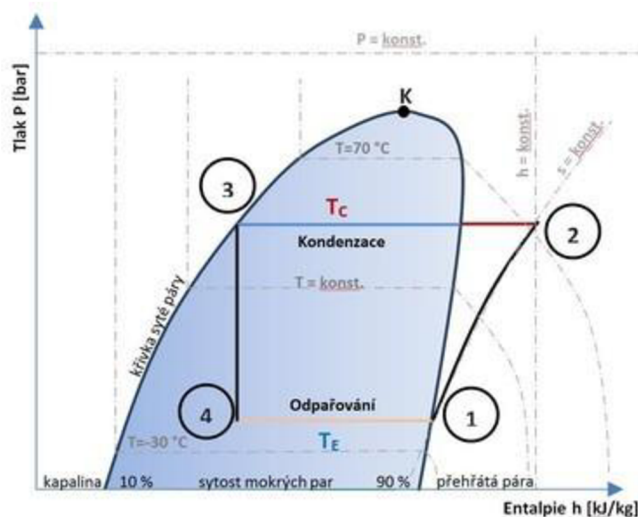
Obrázek 1 Přeměna energie

TČ se skládá z několika komponent. Mezi elementární komponenty patří kompresor, výparník, kondenzátor a expanzní ventil. V praxi má TČ mnohem více komponent jako je např. zásobník chladiva, tepelné či tlakové čidlo a filtr. Některé z komponent potřebují k provozu elektrickou energii. A to je příklad kompresoru, u kterého je výstupem mechanická energie a vstupem již dříve zmíněná elektrická energie. Dodatečné komponenty, které slouží k regulaci TČ, rovněž vyžadují elektrickou energii. [2] [3] [7] [8].

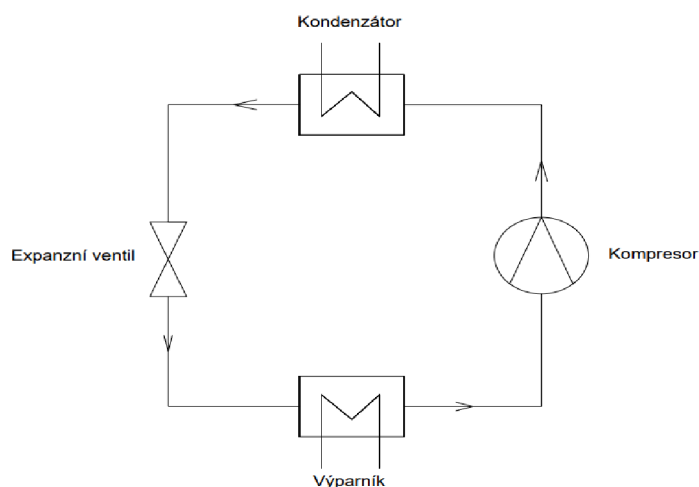
Nutno dodat, že TČ je uzavřený termodynamický systém, ve kterém probíhá několik termodynamických jevů. Celým tímto systémem koluje pracovní látka tzv. chladivo. Chladivo odebírá tepelnou energii z okolního prostředí (např. vzduch, podzemní voda) a předává ji vodě (užitková voda, voda do topení). [4] [3] [1]

Celý cyklus začíná ve výparníku, kde se chladivo za sníženého tlaku a vysoké teploty začíná vypařovat s pomocí tepla z prostředí (voda ze země nebo vzduch z okolí) (děj 4-1). Stlačením chladiva v kompresoru se chladivo zahřeje a je vpuštěno do kondenzátoru (děj 1-2). V kondenzátoru chladivo předá tepelnou energii užitkové vodě a tím sníží svoji teplotu a přemění aktuální skupenství zpět na kapalné (děj 2-3). Chladivo proudí dál do expanzního ventilu, kde se zvýší jeho teplota a tlak, aby se mohl ve výparníku opět přeměnit na páru (děj 3-4). Oběh a p-h diagram TČ je znázorněn na Obrázek 2 a Obrázek 3. [2] [3] [7] [8]

- 1-2 - Izoentropická komprese (při stálé entropii)
- 2-3 - Izobarická ochlazení (při stálém tlaku, kondenzace)
- 3-4 - Adiabatické škrcení (při stálé entalpii)
- 4-1 - Izobarické ohřátí (při stálém tlaku, vypařování)

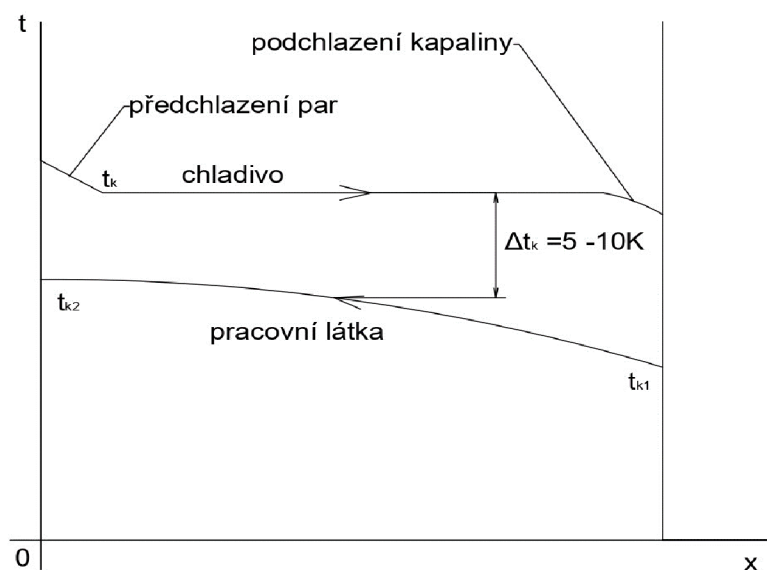


Obrázek 2 Reálný diagram tepelného čerpadla [4]

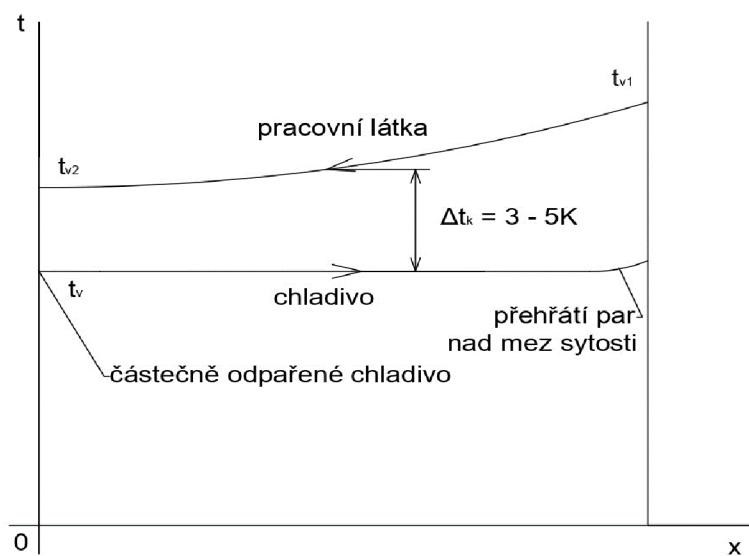


Obrázek 3 Oběh TČ

Pro pochopení principu fungování kondenzátoru a výparníku existují pracovní diagramy obou zařízení, viz. Obrázek 4 a Obrázek 5.



Obrázek 4 Pracovní diagram kondenzátoru



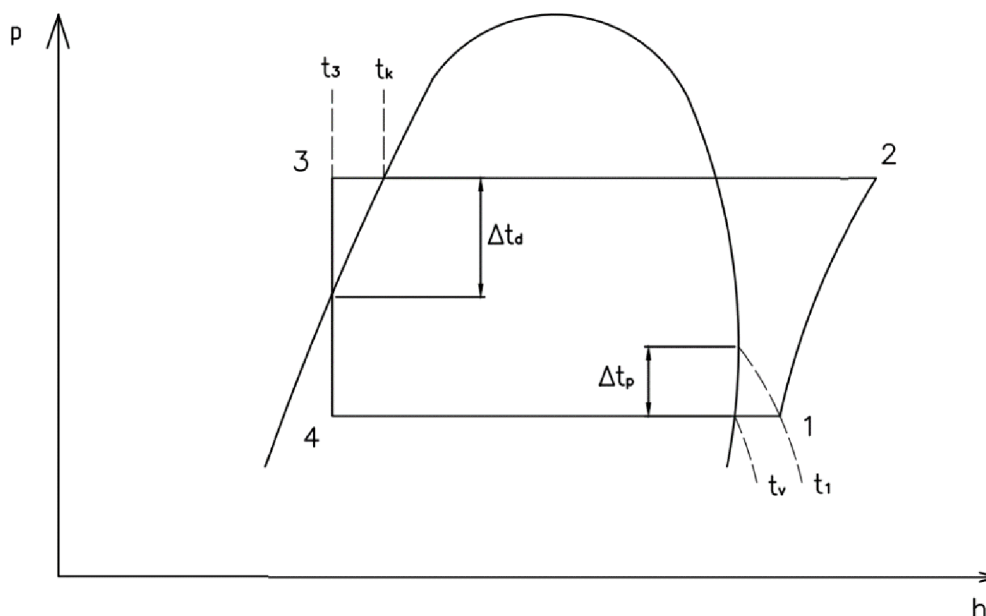
Obrázek 5 Pracovní diagram výparníku

## 1.1 Přehřívání par a podchlazení chladiva

Přehřívání par nastává ve výparníku a je to jev v oběhu, který je uměle vyvolán. Dochází k němu například při přívodu tepla z okolí, nebo s dodatečným výměníkem za výparníkem. V oběhu ho potřebujeme, protože chceme zajistit, aby do kompresoru šlo jen plynné chladivo. Označuje se  $\Delta t_p$ . Opakem přehřívání par je jejich nedostatečná přeměna skupenství, a ta je nežádoucí. Chladivo, které se nevypaří a zůstává v kapalně formě, musí být ze systému odstraněno ještě před vstupem do kompresoru, jinak dojde k jeho poškození.

K podchlazení nastává za kondenzátorem. Je žádoucí, protože chceme, aby termostatický expanzní ventil správně fungoval. Podchlazení umožňuje přítok chladiva a prodlužuje životnost potrubí, dochází k tzv. snížení kavitace. Označuje se  $\Delta t_d$ . Ke snazšímu pochopení této problematiky lze využít grafické znázornění procesů přehřívání a podchlazení pomocí Obrázek 6. Oba jevy se vyskytují pouze v reálných případech, proto nejsou vyobrazeny v teoretických diagramech, i když pro potřeby výpočtu jsou zcela nezbytné. [3] [6] [4] [5]

Oba jevy jsou znázorněny v Obrázek 6.



Obrázek 6 Přehřívání par a podchlazení chladiva

## 1.2 Topný faktor

Topný faktor COP je velice důležitá hodnota při návrhu tepelného čerpadla. Jedná se o podíl energie předané topnému médiu a mechanické energie dodané kompresorem. Topný faktor musí být vždy větší než jedna a vyšší je tehdy, když rozdíl vstupních teplot zdroje a tepla na výstupu je co nejmenší. Při možnosti čerpadla, tzv. režimu chlazení se výsledná hodnota nazývá chladicí faktor. Typicky se označuje EER. Jednoduše řečeno oba faktory udávají, jak je čerpadlo efektivní v dané operaci (vytápění x chlazení). [3] [2] [4]

$$COP = \frac{Q_c}{L} \qquad EER = \frac{Q_f}{L}$$

Hodnota topného faktoru se odvíjí od zvoleného typu chladiva a kompresoru. Dále se liší i v hodnotách teplot spotřeby otopnou soustavou. Tedy o jaké topení se jedná, zda je podlahové či slouží k vytápění určitého tělesa a teploty ochlazovaného prostředí (země, vzduch, voda). Obvykle se hodnota COP pohybuje kolem 2 až 5, to však není vždy stále a během chodu se jeho hodnota mění. Jako příklad může být TČ, které má výkon 12 kW a spotřebuje 3 kW, poměr těchto čísel nám dá 4 a to je COP. Zápis topného faktoru zajišťuje norma EN 14 511. Čím menší teplota na výstupu z okruhu TČ (otopná voda), tím větší hodnota COP. Z tohoto důvodu se doporučuje zavádět do objektů podlahové vytápění, které vyžaduje menší teploty vody, než u radiátorů. Na Obrázek 7 od firmy Spirála lze vidět v tabulce topné faktory jejich čerpadel voda-voda za podmínek W10/W35 nebo W50. W10 znamená teplota přehřátí 10 °C a W35 teplota kondenzace 35 °C. [4] [16] [17]

Technické parametry SPIRÁLA voda-voda on/off														
Typ SPIRÁLA WW		6	7	8	9	10	12	15	17	20	23	25	29	35
<b>Parametry za podmínky W10/W35 (dle ČSN EN 14511-2)</b>														
Topný výkon	[kW]	6,13	7,15	8,35	9,596	10,43	12,39	15,12	17,14	19,56	23,19	25,21	29,24	35,29
Efektivní el. příkon	[kW]	1,06	1,23	1,45	1,712	1,80	2,12	2,71	3,08	3,62	4,14	4,53	5,27	6,38
<b>COP za podmínky W10/W35</b>		5,80	5,82	5,77	5,60	5,81	5,85	5,59	5,56	5,40	5,60	5,57	5,55	5,54
<b>COP za podmínky W10/W55</b>		3,47	3,49	3,45	3,35	3,48	3,50	3,58	3,56	3,46	3,59	3,57	3,56	3,55
<b>SCOP Referenční podmínky -22 / +35</b>		6,31	6,34	6,30	6,19	6,35	6,41	5,99	5,96	5,83	6,01	5,98	5,96	5,95
Energetická třída		A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++
<b>SCOP Referenční podmínky -22 / +55</b>		4,72	4,75	4,71	4,62	4,75	4,79	4,65	4,63	4,52	4,66	4,64	4,62	4,61
Energetická třída		A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++	A+++
<b><u>Hydraulické parametry</u></b>														

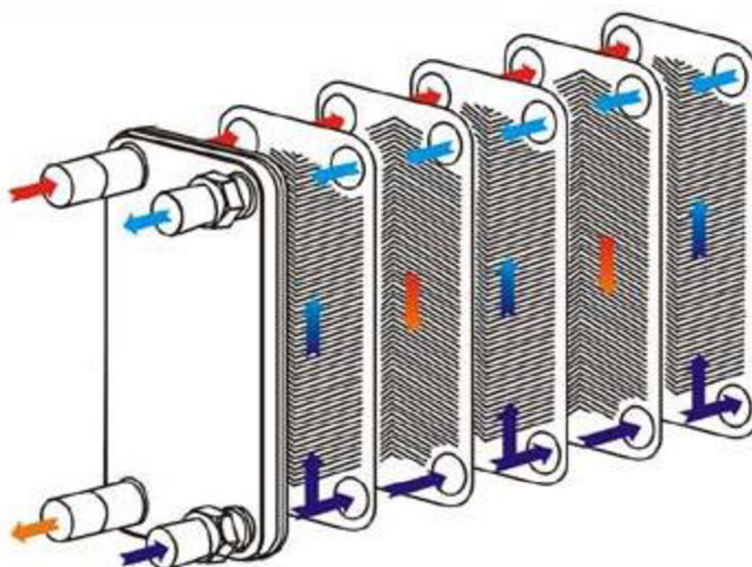
Obrázek 7 Technické parametry čerpadel Spirála [17]

Existuje ještě takzvaný sezónní topný faktor SCOP, ten se zjišťuje z dostupných dat od testování TČ v laboratořích. Navrhne se čerpadlo pro danou teplota vzduchu a z klimatických dat za celý rok se zjistí, kolik hodin se tato teplota dokáže udržet. Z toho nám vyjde potřebná a spotřebovaná energie a následně SCOP. Oba parametry ať už COP nebo SCOP jsou měřeny v laboratořích. Hodnota SCOP je dosažitelná jen za určených podmínek a není stálá. K porovnávání tepelných čerpadel se místo SCOP, někdy používá hodnota energetické účinnosti. [4] [16]

### 1.3 Reálný popis TČ

Hlavní komponenty, ze kterých se skládá tepelné čerpadlo jsou: výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. V realitě je sestava TČ mnohem složitější. Mezi další komponenty patří minimálně vana nebo zásobník na chladivo, kde se ukládá přebytečná pracovní látka, která se nedokázala vypařit, nebo se zde ukládá nové chladivo pro uvedení do systému. Regulace je velice důležitou součástí každého oběhu, nejčastější regulace je takzvaná „ekvitermní regulace“. Ta se používá u TČ vzduch-voda a slouží k regulaci teploty topné vody podle teploty okolního vzduchu. U TČ země-voda jsou zapotřebí ponorná čerpadla, která čerpají vodu z vrtu do systému. [3] [4] [5]

Výparníky obecně vypařují chladivo za nízkého tlaku. Přívodem média z okolí (vzduch, voda) se chladivo otepluje a vypařuje. Asi nejpoužívanější v TČ je deskový výměník. Ten se skládá z několika vylisovaných desek, které mají profil podobný „vlně“. Když se sváří dohromady vytváří kanál, ve kterém proudí jednotlivá média. Tyto desky jsou poté stlačeny dohromady pomocí pevné desky a svařené k sobě. Výhodou těchto výměníků jsou vysoké přenášené výkony a velká účinnost. Nevýhodou je složitý přístup do výměníku, kvůli svarům a tlakové ztráty. Je i dost složité, dané výměníky vyčistit. Popis deskového výměníku lze vidět na Obrázek 8. [3] [6] [4] [5] [7] [8]

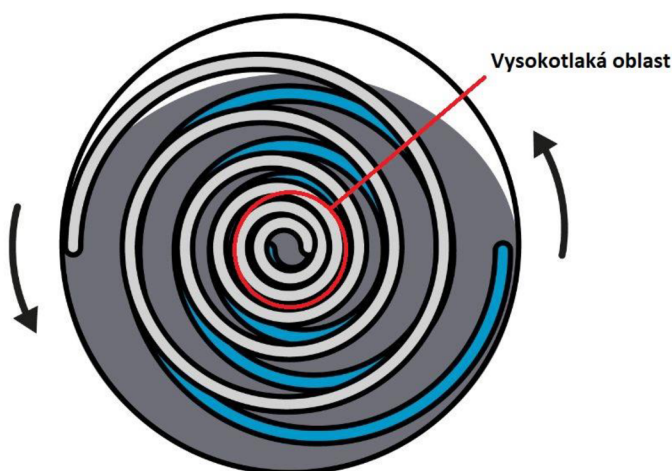


Obrázek 8 Deskový výměník [10]



Hlavní funkce kompresoru je nasávat přehřáté chladivo a stlačovat ho na úroveň tlaku, při kterém chladivo kondenzuje, následně poslat chladivo do kondenzátoru, kde zkapalní. V dnešní době je běžně kompresor poháněn elektromotorem a jeho nejčastější typy využívané u tepelných čerpadel jsou pístová, rotační a spirálová (SCROLL). Kompresory jsou nejvíce ekonomicky náročné ze všech komponentů v oběhu tepelného čerpadla. [3] [6] [4] [5] [7] [8]

Nejdůležitější části u kompresorů SCROLL jsou dvě spirály, které jsou do sebe vloženy. První spirála má osu pevnou a druhá se nesoustředěně vychyluje od své osy při otáčení, obě se zároveň otáčejí stejnou rychlostí. Vyosením druhé spirály dojde ke změně místa dotyku spirál a prostor mezi spirálami se na jedné straně zmenší. Tento prostor se zmenší na straně nasávání chladiva a chladivo se stlačí. Největší tlak je dosažen v tzv. vysokotlakém prostoru, který se nachází ve středu spirál. Zde je umístěn i otvor pro vytlačení chladiva. Princip funkce SCROLL kompresoru je vidět na Obrázek 9. [3] [6] [4] [5] [7] [8]



Obrázek 9 Popis SCROLL kompresoru [12]

Účel kondenzátoru je zchladit a zkapalnit chladivo, pomocí dalšího média. Rozdělují se podle zvoleného média na chlazené vodou a chlazené vzduchem. U tepelných čerpadel se používají kondenzátory stejné jako výparníky, a to buďto deskové či trubkové. Na rozdíl od výparníku, zde bude chladivo předávat teplo vodě, která bude zateplovat místnost. Největší roli ve výběru toho správného kondenzátoru hraje určitě jeho spotřeba vody, cena této vody a její kvalita. [3] [6] [4] [5] [7] [8]

Expanzní ventil se rozděluje podle způsobu řízení tlaku v oběhu a jeho hlavní funkcí je udržovat tlakový rozdíl v oběhu tepelného čerpadla. První typ expanzního ventilu je kapilární, tento typ nedokáže regulovat nástřik do výparníku a používá se jen při konstantních provozních podmínkách. Další dva druhy jsou termostaticky řízený expanzní ventil (TEV) a elektronicky řízený expanzní ventil (EEV). U tepelných čerpadel se obzvláště používají ventily TEV. Tryska, kterou TEV ventily obsahují, je otevírána silou způsobenou tlakem plynů na membránu. Vypouklá membrána zatlačí pomocí pružiny na regulační šroub a otevře hrdlo trysky. Po otevření chladivo vytéká ven z ventilu a ventil se zavře pomocí vyrovnávacího tlaku, působícího na membránu z druhé strany. Ventil je vidět na Obrázek 10. [3] [6] [4] [5] [7] [8]



Obrázek 10 Expanzní ventil

## 1.4 Druhy TČ

Podle teplotnosné látky se rozdělují tepelná čerpadla na typ:

- vzduch-voda
- voda-voda
- země-voda

Dále dle energie pohonu na:

- elektrická
- plynná
- zkapalněná paliva

A dle pohonu na:

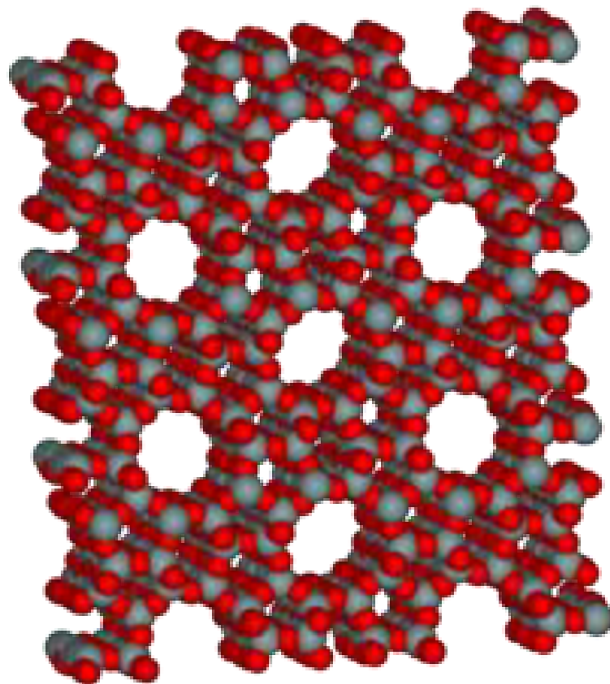
- Kompresorová
- Turbokompresorová
- Absorpční
- Adsorpční

Nejčastější kombinace pro TČ je kompresor s elektrickým pohonem. Dalším druhem TČ jsou takzvaná sorpční TČ, mezi ně patří adsorpční a absorpční. Obě nezískávají mechanickou energii z kompresoru, ale tepelnou energii z mezimolekulárních vazeb mezi adsorbentem či adsorbentem a chladivem. Absorpční TČ používá chladivo, které se dokáže rozpustit ve studené vodě, může být kapalné i plynné. Absorpce je fyzikální děj, kde se plyn rozpouští v kapalině, plyn se nazývá absorbát a kapalina adsorbent. Při rozpouštění, voda bere teplo ve výparníku médiu přiváděného z okolí (vzduch, voda). Poté proudí do ohřívače, kde se opět ohřeje. V ohřívači chladivo vypařuje a odděluje od vody, tento plyn o vysokém tlaku, proudí do druhého výměníku, kde potom předává teplo vodě. V tomto výměníku se může zkapalnit a potom proudí zpět do absorbéru a znovu se rozpouští ve chlazené vodě. Tento cyklus se poté opakuje. [4]

Adsorpční čerpadla je velice podobné absorpčnímu. Rozdíl je způsobu brání tepla médiu, u adsorpčních čerpadel musí chladivo přilnout na povrch adsorbentu. Adsorpce je proces na fázovém rozhraní tuhé látky a páry. Molekuly páry se vážou na tuhou fázi silami. Tuhá fáze je adsorbent a pára je absorbát. Jako adsorbent se používají takzvané zeolity, což jsou přírodní

látka, která vznikne reakcí vody a nekystalických amorfních vulkanických skel. Zeolity se používají díky jejich pórovaté struktuře, jejich atomové uspořádání vytváří mezi spoji kanálky, ve kterých se pracovní látka zachycuje, to je vidět na Obrázek 11. V tomto případě může chladivo nebo pracovní látka být voda nebo jiná kapalina či plyn. [4]

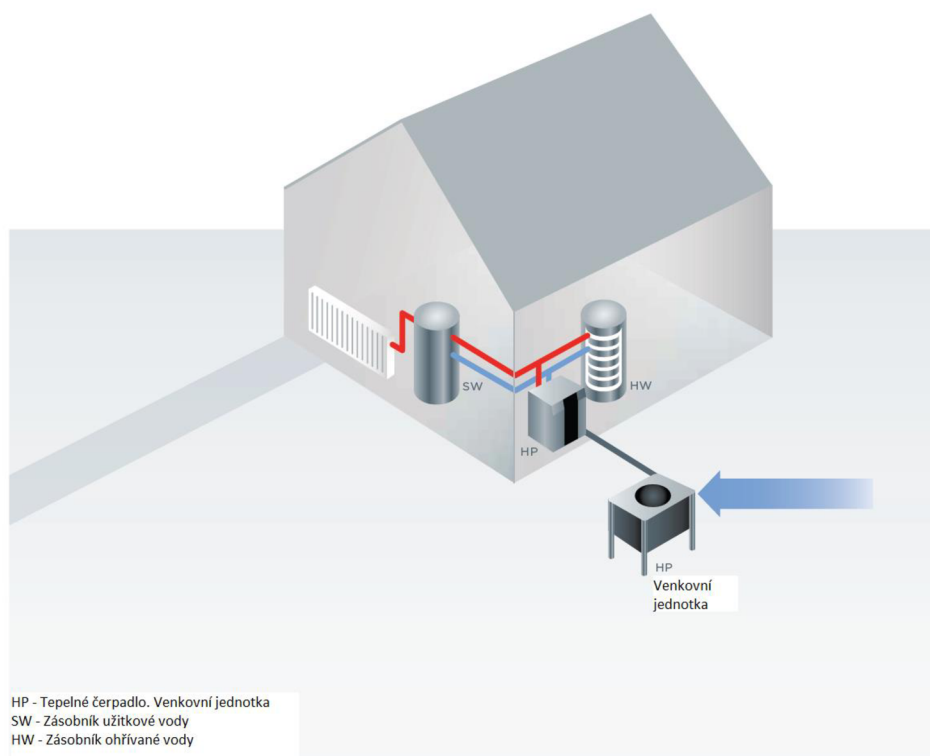
Kompresorová TČ mají většinou větší efektivitu nežli sorpční TČ, a to hlavně díky malému podílu mezi vygenerovanou energií a energií vloženou. Výhoda sorpčních TČ spočívá v jednoduché konstrukci a ve možném využití odpadní tepelné energie. Sorpční TČ se dají využít i jako chladničky, a proto byli v Československu velmi rozšířené. [4]



*Obrázek 11 Atomová struktura Zeolitu [4]*

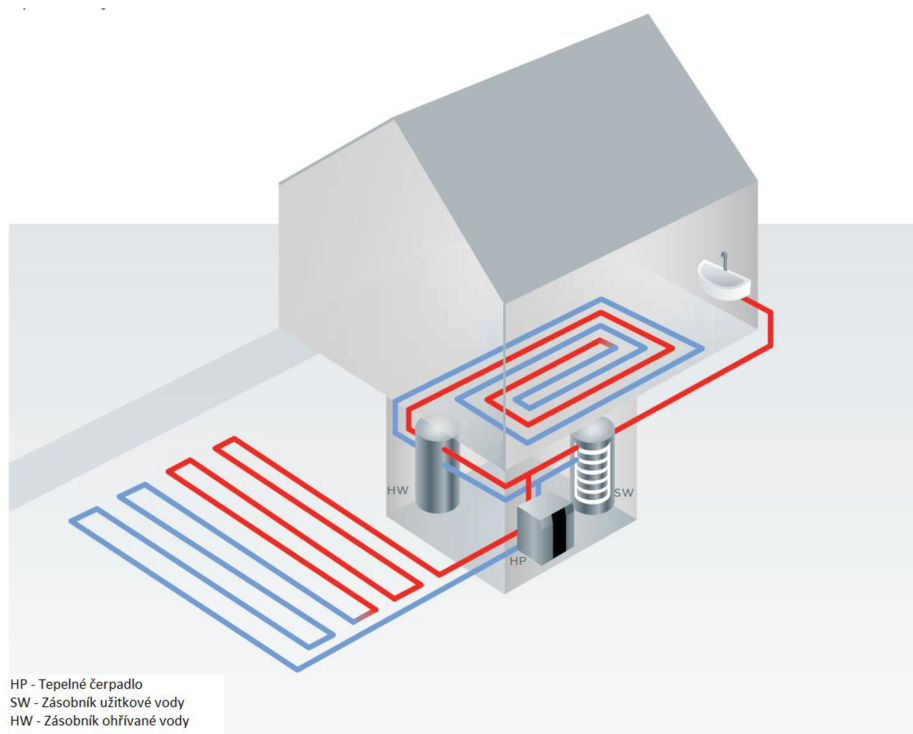
### 1.4.1 Čerpadlo vzduch-voda a země-voda

Čerpadla typu vzduch-voda primárně pracují s teplotou okolního vzduchu, jenž je přiváděn do výparníku pro ohřev chladiva. Teplota vzduchu musí být taková, aby se po výměně tepla, chladivo ohřálo a změnilo v páru. Tento okamžik přeměny z jednoho skupenství na druhé, je často náročné přesně načasovat, a proto dochází v řadě případů k přehřívání vybraného chladiva. V příkladu tepelného čerpadlo je tento moment přehřívání však považován za výhodný stav. Vzduch je následně vypouštěn zpět do okolního prostředí. Pro potřeby výpočtu u TČ a jeho kvality je podstatné zohlednit a zakomponovat rozdílné teploty na různých místech v daném objektu. Parametry a výsledné hodnoty plynoucí z výpočtu TČ jsou ovlivněny několika faktory, a to např. konkrétní lokalitou, kde bude tepelné čerpadlo namontováno a taktéž na ně působí změny teploty vzduchu v průběhu jednotlivých ročních období. Systém, na kterém funguje čerpadlo typu vzduch-voda lze pozorovat na Obrázek 12. [4] [3] [7] [8]



Obrázek 12 Čerpadlo vzduch-voda [9]

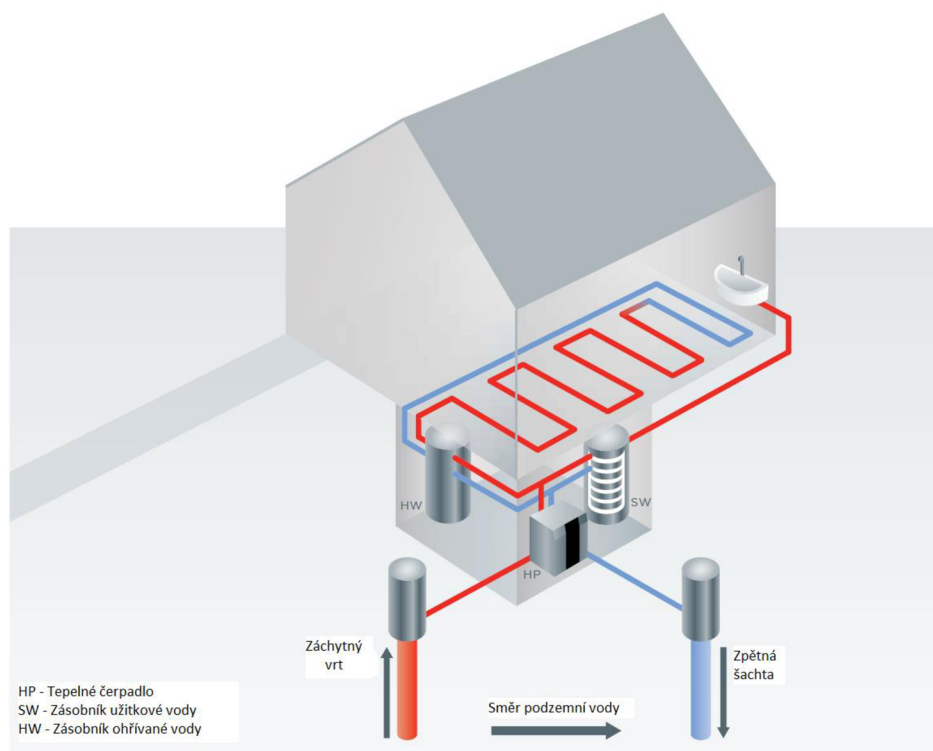
Čerpadla na principu země-voda, využívají teploty půdy k ohřátí vody v topném zařízení. Návrh čerpadel země-voda se může uskutečnit pomocí zemní sondy nebo podpovrchovými kolektory. Pro umístění zemní sondy je nutné zajistit geologické povolení k vyvrtání půdy. Hlubkový vrt zasahuje do hloubky cca do 100 metrů, vrtem poté vedou dva svazky hadic z PE, kterými proudí teplo. Klíčovým atributem je půdní typ, její zavodnění a rovněž jakost. Suchá půda má zpravidla menší měrný tepelný tok, nežli půda s vyšším obsahem spodních vod. Realizace za pomoci kolektorů je prostorově náročnější metodou, protože kolektory se umísťují do hloubky 1,5 metrů a alespoň 0,2 metrů pod nezamrzlou hloubkou půdy v zimním období. Vliv vodnatosti půdy je zde velmi podstatný, jelikož suchá půda má přirozeně menší měrný tepelný tok na rozdíl od půdy vlhkého charakteru. Princip TČ země-voda je vidět na Obrázek 13. [3] [7] [8]



Obrázek 13 Čerpadlo země-voda [9]

## 1.4.2 Čerpadla voda-voda

Čerpadla voda-voda čerpají vrtem spodní vodu k tepelné výměně a poté ji vypouští zpět šachtou. Stejně tak jako u zemních čerpadel je potřeba provést geologickou zkoušku půdy pro čerpací vrt a zpětný vrt. Alternativně se čerpadlo může připojit i do studny, pokud voda ve studni splňuje příslušné požadavky na kvalitu. Nashromážděnou vodu lze získat z povrchové části půdy, ale ta je tepelně proměnlivá, a proto nezaručuje nepřetržitý chod TČ. Podzemní voda má stálou teplotu okolo 8 až 10 °C, z tohoto důvodu je geologický vrt z hlediska účinnosti vhodnější variantou než získávání vody z půdního povrchu. Čerpadla typu voda-voda dosahují mezi jinými druhy TČ největších topných faktorů, avšak jejich instalace a provoz nelze zajistit na všech místech. Navržení je vidět na Obrázek 14. [3] [7] [8]



Obrázek 14 Čerpadlo voda-voda [9]



## 2. Praktická část

Úvodem je důležité si stanovit základní parametry. Vybrané čerpadlo je typu voda-voda, přičemž voda bude odčerpávána ze zemské půdy prostřednictvím geologického vrtu. Předpokládá se, že geologická struktura a půdní podmínky jsou vyhovující a poloha pro umístění vrtu je ideální. Spodní voda může mít teplotu např. okolo 8 až 10 °C. Pro potřeby práce jsem se rozhodl přiklonit k hodnotě 10 °C a současně bude do země vrácena ochlazená na 8 °C.

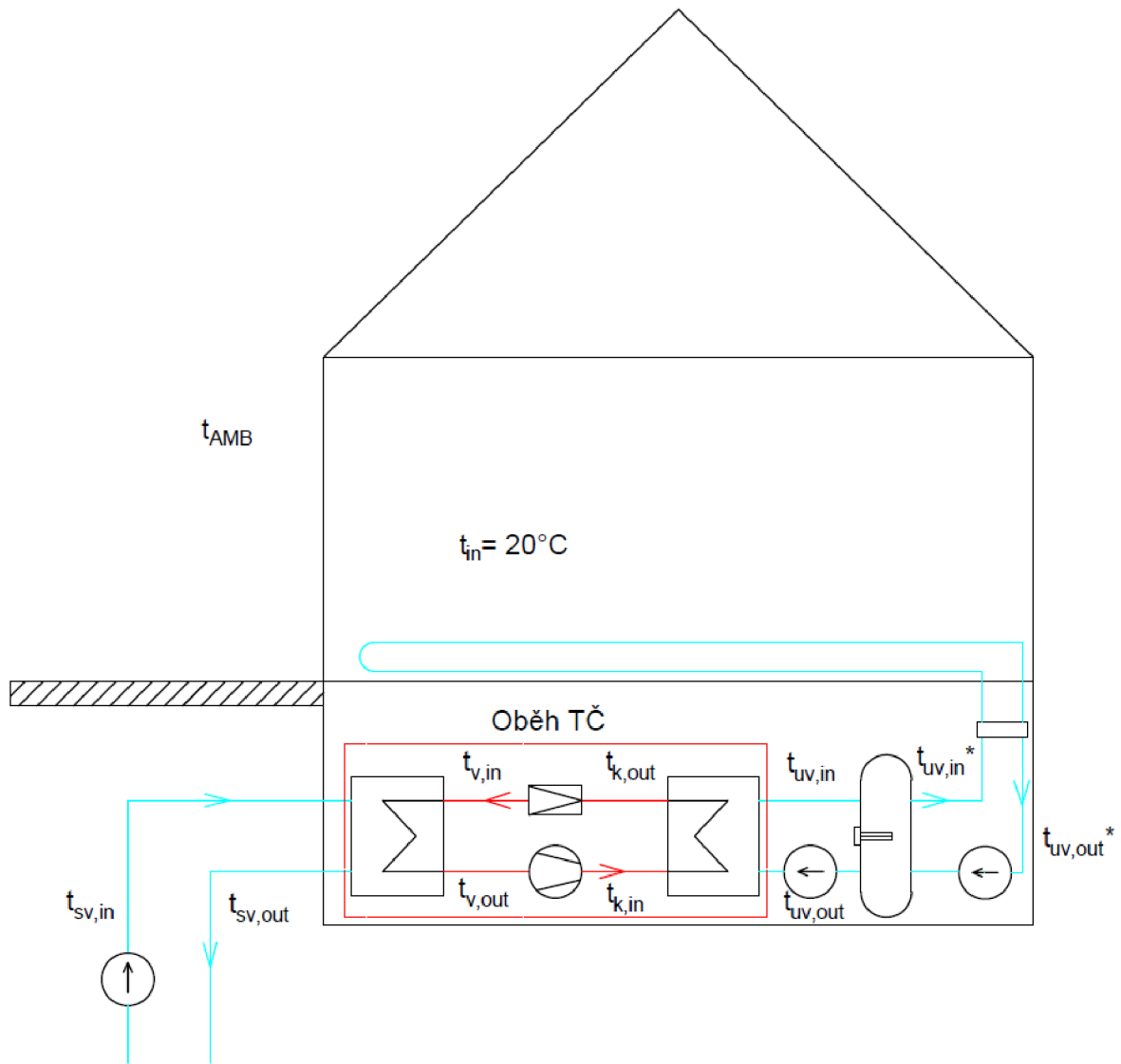
Úkolem tepelného čerpadla bude vytápět pasivní dům, přitom zákazník požaduje konstantní teplotu vnitřních prostor na 20 °C. Vytápění bude realizováno prostřednictvím podlahového topení. Na vstupu do topení bude mít voda 35 °C a na konci oběhu se teplota vody bude pohybovat okolo 28 °C. Základní parametry se nachází v Tabulka 1.

Název veličiny	Zkratka veličiny	Hodnota
Teplota uvnitř objektu	$t_{in}$	20 °C [4]
Teplota spodní vody na vstupu	$t_{sv,in}$	10 °C [4]
Výkon TČ	$Q_p$	7 kW [4]
Teplota vody na vstupu do topení	$t_{uv,in}^*$	35 °C [4]
Teplota vody na výstupu do topení	$t_{uv,out}^*$	28 °C [4]

Tabulka 1 Základní parametry

Z daných teplot lze vypočítat teplotní bilanci v oběhu TČ, tudíž dopočítat zbylé hodnoty neznámých teplot. Pro správný návrh komponentů je zapotřebí znát hmotnostní průtok. Tlaky v jednotlivých částech oběhu se dají zjistit z teplotní bilance. Znalost těchto nezbytných parametrů umožňuje navrhnout jednotlivé komponenty TČ, přičemž účinnost TČ je rovna 0,8. Tepelná bilance je vypočítána pro chladiva R134a a R407C, nicméně pro typ R410A je názorně demonstrována ručním výpočtem. Schéma objektu a umístění TČ je znázorněno na Obrázek 15.





Obrázek 15 Schéma objektu

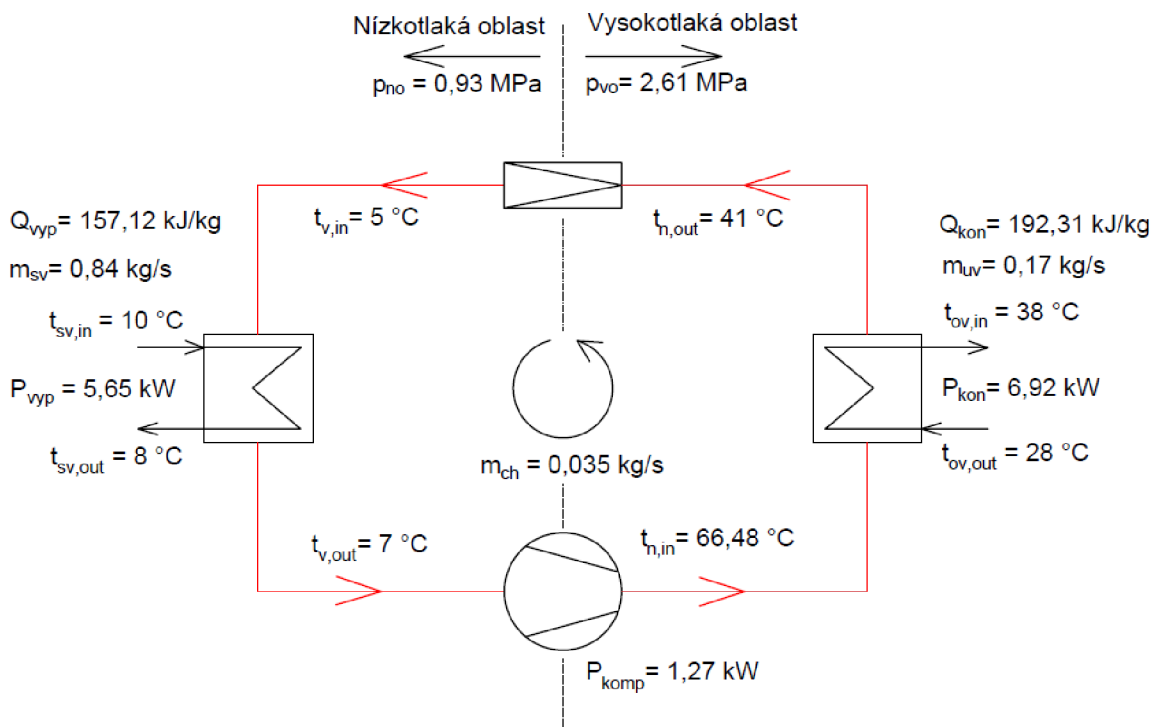
## 2.1 Tepelná bilance

Byl vytvořen výpočetní model jazyku Python, který byl navržen tak, aby si při dané teplotě a druhu látky převzal z knihovny CoolProp hodnotu jejího tlaku, entalpie a entropie. Pro dosažení tepelné bilance u TČ, jsou stěžejní dvě teploty. Jednou z těchto veličin je teplota vypařování chladiva a druhou je teplota kondenzace chladiva. Obě lze navrhnout dle vstupních teplot a pochopení funkce výparníku a kondenzátoru. Podle funkce výparníku, která je znázorněna v Obrázek 5, je zřejmé, že se teplota vypařování  $t_v$  bude pohybovat kolem 5-7 °C. Po několika uskutečněných pokusech byla vybrána  $t_v = 5$  °C a teplota přehřátí chladiva 2 °C.

Vnitřní prostory jsou vytápěny na konstantních 20 °C a při podlahovém vytápění musí otopná voda, která teče do systému topení, mít alespoň 35 °C. Elektrická patrola slouží k dohřátí vody na 35 °C, a to za nízkých venkovních teplot. Kondenzační teplota chladiva se bude z funkce kondenzátoru na Obrázek 4 pohybovat okolo 40 až 45 °C, přitom volím  $t_k = 43$  °C a teplotu podchlazení 4 °C.

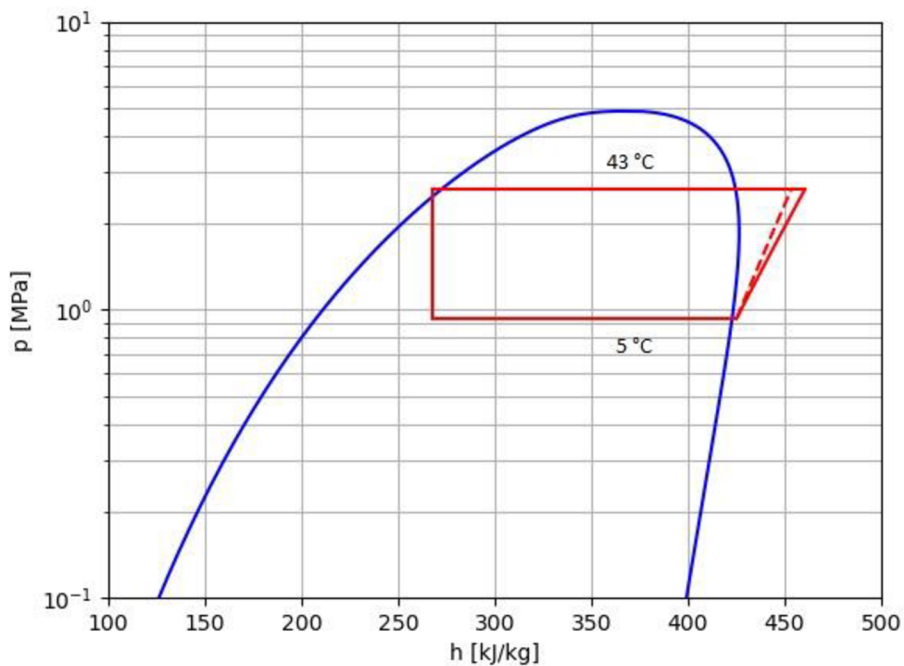
Po zvolení těchto teplot, dokáže program spočítat teploty, tlaky, entalpie a entropie v zásadních místech oběhu TČ. Pro návrh komponent TČ budou důležité teploty, tlaky a hmotnostní průtoky. Další klíčovou veličinou je teplota po kompresi a po expanzi. Teplota po expanzi se podle programu rovná  $t_{v,in} = 5$  °C, a to zároveň odpovídá teplotě vypařování chladiva. Zde je zapotřebí poukázat na to, že teplota po expanzi se musí jen přiblížit teplotě vypařování a chladivo v této fázi ještě není vypařené, ale je pouze ve formě vlhké páry. Po kompresi se teplota rovná  $t_{k,in} = 66,48$  °C.

V oběhu tepelného čerpadla se nachází dvě oblasti, těmi jsou nízkotlaká a vysokotlaká oblast. Nízkotlaká oblast začíná za ventilem, pokračuje do výparníku a končí na začátku kompresoru. Tlak v této oblasti je roven 0,93 MPa. Zbytek systému (konec kompresoru, kondenzátor a začátek ventilu) tvoří vysokotlaká oblast a zde je tlak roven 2,61 MPa. Celý oběh tepelného čerpadla je detailněji vykreslen pomocí schéma na Obrázek 16.



Obrázek 16 Detailní zobrazení oběhu TČ

Na Obrázek 17 je nakreslen p-h diagram daného oběhu, při použití chladiva R410A.



Úl.-

Obrázek 17 Diagram p-h pro oběh R410A

Poslední, přesto zcela zásadní veličinou pro návrh komponent je hmotnostní průtok. Ten je obzvláště významný pro návrh kompresoru.

$$\dot{m} = \frac{P_{T\check{c}} \cdot 1000}{q_{kon}}$$

Vzorec obsahuje jednu neznámou a tou je teplo kondenzátoru  $q_{kon}$ . Pro výpočet tepla kondenzátoru je nutné odečíst hodnotu entalpie po kondenzaci od entalpie před kondenzací. Teplo, které kondenzátor potřebuje k přeměně, je v podstatě rozdíl entalpií. Hodnoty entalpií v daných bodech dovede skript v programu Python Anaconda spolehlivě určit.

Z programu Anaconda:  $h_{k,out} = 271,99 \text{ kJ/kg}$ ,  $h_{v,out} = 425,14 \text{ kJ/kg}$ ,

$h_{k,in}^* = 453,3 \text{ kJ/kg}$  = teoretická entalpie

$$h_{k,in} = h_{v,out} + \frac{(h_{k,in}^* - h_{v,out})}{\eta} = 425,14 + \frac{453,3 - 425,14}{0,8} = 460,33 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{vyp} = h_{v,out} - h_{v,in} = 425,14 - 268,02 = 157,12 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{kon} = h_{k,in} - h_{k,out} = 460,33 - 271,99 = 192,31 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_{ch} = \frac{P_{T\check{c}} \cdot 1000}{q_{kon}} = \frac{7 \cdot 1000}{192310} = 0,036 \text{ kg/s}$$

Výsledné hodnoty, kterých si lze výše povšimnout, vyšly v souladu s výsledkem v programu Python Anaconda.

Výpočet hmotnostních průtoků ve spodní a užitkové vodě lze provést následovně.

$$Q_p = \dot{m}_{sv} \cdot c \cdot \Delta t$$

$$\dot{m}_{sv} = \frac{Q_p}{c \cdot (t_{sv,in} - t_{sv,out})}$$

$$\dot{m}_{sv} = \frac{7000}{4180 \cdot (10 - 8)} = 0,84 \text{ kg/s}$$

Užitková voda:

$$\dot{m}_{uv} = \frac{Q_p}{c \cdot (t_{uv,in} - t_{uv,out})}$$

$$\dot{m}_{uv} = \frac{7000}{4180 \cdot (38 - 28)} = 0,17 \text{ kg/s}$$

Topný faktor a práce kompresoru:

$$COP = \frac{q_{kon}}{w_{kom}} = \frac{192,31}{35,19} = 5,465$$

$$w_{kom} = h_{k,in} - h_{v,out} = 460,33 - 425,14 = 35,19 \text{ kJ/kg}$$

Oběh	Název veličiny	Zkratka veličiny	Hodnota
Oběh spodní vody	Teplota spodní vody na vstupu	$t_{sv,in}$	10 °C
	Teplota spodní vody na výstupu	$t_{sv,out}$	8 °C
	Hmotnostní průtok oběhu	$\dot{m}_{sv}$	0,84 kg/s
Oběh otopné vody	Teplota otopné vody na výstupu	$t_{uv,out}$	38 °C
	Teplota otopné vody na vstupu	$t_{uv,in}$	28 °C
	Hmotnostní průtok oběhu	$\dot{m}_{uv}$	0,17 kg/s
Oběh TČ	Výparná teplota	$t_v$	5 °C
	Kondenzační teplota	$t_k$	43 °C
	Teplota přehřátí	$t_{ph}$	2 °C
	Teplota podchlazení	$t_{pch}$	2 °C
	Teplota na vstupu do výparníku	$t_{v,in}$	5 °C
	Teplota na výstupu z výparníku	$t_{v,out}$	7 °C
	Teplota na vstupu do kondenzátoru	$t_{k,in}$	61,2°C
	Teplota na výstupu z kondenzátoru	$t_{k,out}$	41 °C
	Tlak v nízkotlaké oblasti	$p_{no}$	0,93 MPa
	Tlak ve vysokotlaké oblasti	$p_{vo}$	2,61 MPa
	Hmotností průtok oběhu	$\dot{m}_{ch}$	0,036 kg/s
	Teplo výparníku	$q_{vyp}$	157,12 kJ/kg
	Teplo kondenzátoru	$q_{kon}$	192,31 kJ/kg
	Práce kompresoru	$w_{kom}$	35,19 kJ/kg

Tabulka 2 Parametry pro R410A

Takto vypadá výpočet pro chladivo R410A a pro ostatní chladiva je identický, z toho důvodu uvedu pouze tabulku s parametry. Topný faktor u R410A vychází 5,465, což je v porovnání s hodnotami v Obrázek 7, vysoká hodnota.

Pro porovnání výsledků a určení správného a efektivního oběhu musí práce obsahovat výpočty pro další návrhy. Pro potřeby této práce je důležité porovnat efektivitu oběhu při změně chladiva. Další dvě chladiva jsou R407C a R134a. V případě chladiva R407C se jedná o směs částečně fluorovaných uhlovodíků (dále jen HFC) a R134a je čisté HFC. Chladivo R410A je směs HFC. Pro R407C bude výpočetní tabulka vypadat takto (Tabulka 3).

Oběh	Název veličiny	Zkratka veličiny	Hodnota
Oběh spodní vody	Teplota spodní vody na vstupu	$t_{sv,in}$	10 °C
	Teplota spodní vody na výstupu	$t_{sv,out}$	8 °C
	Hmotnostní průtok oběhu	$\dot{m}_{sv}$	0,84 kg/s
Oběh otopné vody	Teplota otopné vody na výstupu	$t_{uv,out}$	38 °C
	Teplota otopné vody na vstupu	$t_{uv,in}$	28 °C
	Hmotnostní průtok oběhu	$\dot{m}_{uv}$	0,17 kg/s
Oběh TČ	Výparná teplota	$t_v$	5 °C
	Kondenzační teplota	$t_k$	43 °C
	Teplota přehřátí	$t_{ph}$	2 °C
	Teplota podchlazení	$t_{pch}$	2 °C
	Teplota na vstupu do výparníku	$t_{v,in}$	5 °C
	Teplota na výstupu z výparníku	$t_{v,out}$	7 °C
	Teplota na vstupu do kondenzátoru	$t_{k,in}$	67,86 °C
	Teplota na výstupu z kondenzátoru	$t_{k,out}$	41 °C
	Tlak v nízkotlaké oblasti	$p_{no}$	0,55 MPa
	Tlak ve vysokotlaké oblasti	$p_{vo}$	1,88 MPa
	Hmotnostní průtok oběhu	$\dot{m}_{ch}$	0,037 kg/s
	Teplo výparníku	$q_{vyp}$	151,76 kJ/kg
	Teplo kondenzátoru	$q_{kon}$	189,56 kJ/kg
	Práce kompresoru	$w_{kom}$	37,8 kJ/kg
	Topný faktor	COP	5,015

Tabulka 3 Vypočítané hodnoty pro R407C

Topný faktor pro R407C vychází 5,015.

Pro R32 bude výpočetní tabulka vypadat takto (Tabulka 4).

Oběh	Název veličiny	Zkratka veličiny	Hodnota
Oběh spodní vody	Teplota spodní vody na vstupu	$t_{sv,in}$	10 °C
	Teplota spodní vody na výstupu	$t_{sv,out}$	8 °C
	Hmotnostní průtok oběhu	$\dot{m}_{sv}$	0,84 kg/s
Oběh otopné vody	Teplota otopné vody na výstupu	$t_{uv,out}$	38 °C
	Teplota otopné vody na vstupu	$t_{uv,in}$	28 °C
	Hmotnostní průtok oběhu	$\dot{m}_{uv}$	0,17 kg/s
Oběh TČ	Výparná teplota	$t_v$	5 °C
	Kondenzační teplota	$t_k$	43 °C
	Teplota přehřátí	$t_{ph}$	2 °C
	Teplota podchlazení	$t_{pch}$	2 °C
	Teplota na vstupu do výparníku	$t_{v,in}$	5 °C
	Teplota na výstupu z výparníku	$t_{v,out}$	7 °C
	Teplota na vstupu do kondenzátoru	$t_{k,in}$	54,27 °C
	Teplota na výstupu z kondenzátoru	$t_{k,out}$	41 °C
	Tlak v nízkotlaké oblasti	$p_{no}$	0,35 MPa
	Tlak ve vysokotlaké oblasti	$p_{vo}$	1,1 MPa
	Hmotnostní průtok oběhu	$\dot{m}_{ch}$	0,04 kg/s
	Teplo výparníku	$q_{vyp}$	145,44 kJ/kg
	Teplo kondenzátoru	$q_{kon}$	175,55 kJ/kg
	Práce kompresoru	$w_{kom}$	30,12 kJ/kg
	Topný faktor	COP	5,829

Tabulka 4 Vypočítané hodnoty pro R134a

Topný faktor pro R134a vychází 5,829.

Topné faktory pro chladiva R134a, R407C a R410A vycházejí 5,829, 5,015 a 5,465. Z tohoto hlediska jsou výhodná dvě chladiva, a to je R134a a R410A. R134a má sice výrazně lepší COP, ale má menší tepelnou vodivost a velkou tlakovou ztrátu. Zároveň potřebuje větší plochu pro přenos tepla na výměnících a větší kompresor, což zvyšuje náklady oběhu. R410A dosahuje dobrého poměru mezi tlakovými ztrátami a COP. Má lepší tepelnou vodivost a

system je díky němu kompaktnější. Chladivo R410A se může i lépe odmrazovat. Rozdíl mezi R410A a R407C je malý, kde R410A je ve většině případech lepší volba. Nevýhodou R410A a R407C je jejich hodnota potenciálu globálního oteplování (GWP), která u obou překračuje hodnotu 2000, kde u chladiva R134a je rovna 1430. I přes tuto nevýhodu se autor rozhodl zvolit do tohoto oběhu chladivo R410A, kvůli jeho celkově větší spolehlivosti a relativně dobré efektivitě. Porovnání hodnot pro jednotlivá chladiva lze spatřit v Tabulka 5. [5] [14]

	Název veličiny:	Hodnota:			Jednotky [-]
		R410A	R407C	R134c	
Oběh	Chladivo	R410A	R407C	R134c	[]
Oběh spodní vody	Teplota spodní vody na vstupu	10	10	10	[°C]
	Teplota spodní vody na výstupu	8	8	8	[°C]
	Hmotnostní průtok oběhu	0,84	0,84	0,84	[kg/s]
Oběh otopné vody	Teplota otopné vody na výstupu	38	38	38	[°C]
	Teplota otopné vody na vstupu	28	28	28	[°C]
	Hmotnostní průtok oběhu	0,17	0,17	0,17	[kg/s]
Oběh TČ	Výparná teplota	5	5	5	[°C]
	Kondenzační teplota	43	43	43	[°C]
	Teplota přehřátí	2	2	2	[°C]
	Teplota podchlazení	2	2	2	[°C]
	Teplota na vstupu do výparníku	5	5	5	[°C]
	Teplota na výstupu z výparníku	7	7	7	[°C]
	Teplota na vstupu do kondenzátoru	61,2	67,86	54,27	[°C]
	Teplota na výstupu z kondenzátoru	41	41	41	[°C]
	Tlak v nízkotlaké oblasti	0,93	0,55	0,35	[MPa]
	Tlak ve vysokotlaké oblasti	2,61	1,88	1,1	[MPa]
	Hmotnostní průtok oběhu	0,036	0,037	0,04	[kg/s]
	Teplo výparníku	157,12	151,76	145,44	[kJ/kg]
	Teplo kondenzátoru	192,31	189,56	175,55	[kJ/kg]
	Práce kompresoru	35,19	37,8	30,12	[kJ/kg]
Topný faktor	5,465	5,015	5,829	[]	

Tabulka 5 Porovnání výpočtů



## 2.2 Výběr komponent

### 2.2.1 Návrh výparníku

V případě výparníku půjde o klasický deskový výměník, který bude určen k tepelným čerpadlům a také rovněž navržen pro chladivo R410A. Jedna z největších firem s velkou škálou tepelných výměníků je firma SWEP, zde autor volí výparník i kondenzátor. Typ výparníku B25T je vysoce efektivní a vhodný pro tepelná čerpadla, a proto je ideální do zadaného oběhu. Všechny výměníky značky SWEP dokáží pracovat stejně účinně jak při malé, tak i vysoké zátěži, což je dělá velice výhodnými. Zvládnou pracovat při tlaku až 5 MPa, proto daleko přesahují tlakové požadavky z výpočtu. Desky výměníku jsou z nerezové oceli a pájené mědí. Nátrubky výměníku jsou navrženy pro rychlé pájení trubek, to lze vidět na Obrázek 20. Vzhled a rozměry výměníku jsou na Obrázek 18 a Obrázek 19. Parametry jsou zobrazeny v Tabulka 6.[13]

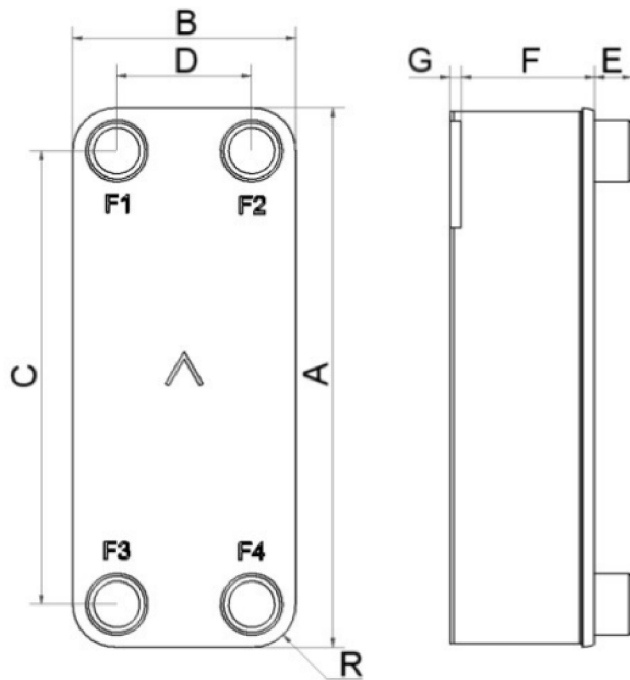


Obrázek 18 Výparník B25T [13]

<b>Typ B25T</b>	<b>Hodnota</b>
Hmotnostní průtok	2,5 kg/s
Max. tlak	5 MPa
Materiál	Nerezová ocel, měď
Tepelný výkon	5,7 kW
Počet plátů	20
Plocha přenosu tepla	1,13 m <sup>2</sup>
Povolená chladiva	R410A, R134a

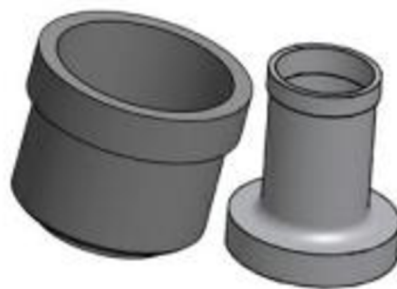
*Tabulka 6 Parametry výměníku B25T [13]*

Všechny parametry byly vypočítané na vybrané zadání, pomocí specializovaného kalkulátoru firmy SWEP, a to vše bylo možné za pomoci specializovaných odborníků v této firmě. Výparník je z těchto důvodů funkční při daných parametrech a podmínkách. Je i velice efektivní, díky jeho nízkému počtu plátů. Čím je menší výměník, tím více je spolehlivý v udržení tlakové hladiny a rovněž zabere i méně místa v prostoru.



#	MM
A	526
B	119
C	479
D	72
F	4,00+2,25*(NoP)
G	6
R	23
E_1	20
E_2	45

Obrázek 19 Rozměry výparníku B25T [13]



Obrázek 20 Nátrubky do výparníku [13]

## 2.2.2 Návrh kompresoru

Jako kompresor volím typ SCROLL, protože je nejvíce používaný v TČ. Tento typ kompresoru byl vyvinut na počátku 20. století a nyní je nejpoužívanější kompresor v oblasti TČ. Kompresor budu volit podle používaného chladiva R410A. Zvolený kompresor je typ ZH04K1P-PFZ-524 firmy Copeland, který se používá u TČ při vysokých teplotách a je vhodný pro zvolené chladivo. Firma Copeland je přední a největší dodavatel SCROLL kompresorů na světě. Je navržen pro vypařovací teploty okolo  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ale fungovat bude i za větších teplot. Teplota vypařování chladiva vychází přesně  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , takže je pro tento případ vhodný k použití. Dále je velice tichý a s malou úrovní vibrací, má také nízkou spotřebu oleje k promazání. Základní parametry kompresoru jsou znázorněny v Tabulka 7 Parametry kompresoru a jeho vzhled na Obrázek 21.[14]



Obrázek 21 Kompresor ZH04K1P-PFZ-524 [14]

<b>Typ: ZH04K1P-PFZ-524</b>	<b>Hodnota</b>
Výkon	0,9 kW
Průtok	0,93 kg/s
Účinnost	0,8
Příkon	1,12 kW
Média	R410A
Množství oleje	0,7 l
Výparná teplota	-7 °C
Kondenzační teplota	50 °C
Tepelná kapacita	6 kW

*Tabulka 7 Parametry kompresoru [14]*

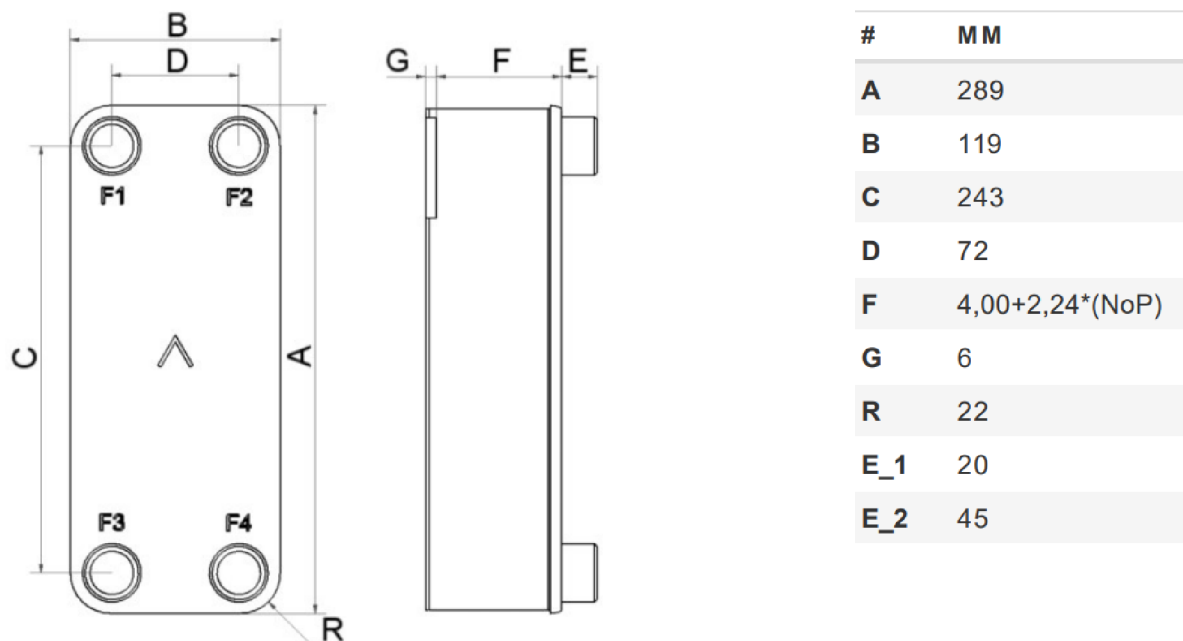
Kompresor je optimalizován na obě technologie (vytápění i klimatizace), ale má větší efektivitu při vytápění, kde se používá vysokoteplotní voda. Volím tento kompresor, protože dokáže fungovat za mých podmínek, a to hlavně za výparných a kondenzačních teplot. Hmotnostní průtok bohužel není stejný nebo blízký hodnotě, která je spočítaná v tepelné bilanci, ale je to jeden z kompresoru od značky Copeland s nejmenším průtokem. Výkonově bude kompresor stačit, kvůli už velice vysokém tepelném výkonu z výparníku.

### 2.2.3 Návrh kondenzátoru

Kondenzátor budu vybírat opět vybírat z firmy SWEP. Tepelný výměník musí splňovat použitelnost pro dané chladivo a zajišťovat efektivitu při vyšších teplotách. Samozřejmě, výměník musí být použit jako kondenzátor. Kondenzátor B10T je velice vhodný pro daný případ, jeho vzhled a rozměry jsou vidět na Obrázek 22 a Obrázek 23. Používá se skoro ve všech oblastech vytápění a chlazení, díky jeho flexibilitě. A je vysoce efektivní s velmi malou ztrátou tlaku. Je skvělý jak pro jednofázové aplikace, tak do aplikací s chladivem. Parametry kondenzátoru podrobněji v Tabulka 8. [13]



Obrázek 22 Kondenzátor B10T [13]



Obrázek 23 Rozměry kondenzátoru B10T [13]

Typ: B10T	Hodnota
Průtok	0,42 kg/s
Max. tlak	5 MPa
Materiál	Nerezová ocel, měď
Tepelný výkon	7,61 kW
Počet plátů	20
Plocha přenosu tepla	0,56 m <sup>2</sup>
Dovolená chladiva	R134a, R410A

Tabulka 8 Parametry kondenzátoru B10T [13]

## 2.2.4 Návrh expanzního ventilu

Poslední komponent ke zvolení je expanzní ventil, nejvíce používaný typ ventilu je termostatický. Ventil, který jsem zvolil se jmenuje TIH-Z13 M od firmy Copeland, jeho vzhled je vidět na Obrázek 24. Všechny vstupy a výstupy tohoto ventilu jsou vyrobeny pro pájení trubek, takže jsou ideální pro tento případ. Je vhodný pro chladivo R410A a má vysokou životnost při aplikaci v TČ. Parametry ventilu jsou popsány v Tabulka 9. [15]



Obrázek 24 Expanzní ventil TIH-Z13 M [15]

Typ: TIH-Z13 M	Hodnota:
Kapacita	5,9 kW
Rozsah vypařovací teploty	-35 až 15 °C
Materiál	Mosaz, měď
Max. provozní tlak	4 MPa
Zmařený entropický spád	0,0012 kW

Tabulka 9 Parametry expanzního ventilu [15]



## 2.2.5 Návrh sběrače chladiva

Sběrač chladiva je tlaková nádoba, která je umístěna v oběhu nejčastěji mezi kondenzátorem a expanzním ventilem, nebo mezi ventilem a výparníkem. Slouží hlavně ke skladování chladiva a k jeho distribuci do oběhu, v případě nedostatku. Dále slouží k oddělování bublinek páry od kapaliny chladiva. Existují sběrače vysokotlaké a nízkotlaké, jak název napovídá, rozdělení určuje, jestli jsou umístěni v nízkotlaké nebo vysokotlaké oblasti. V nízkotlaké oblasti se sběrače umísťují, kvůli nucené cirkulace chladiva, a to není tento případ. Budu tedy sběrač umísťovat mezi kondenzátor a ventil do vysokotlaké oblasti, kde bude doplňovat chladivo na oběhu, aby se nezměnil hmotností průtok. Pro tento případ volím sběrač typu 118U3474 od firmy Danfoss. Parametry sběrače jsou zobrazeny v Tabulka 10. Samotný sběrač je vidět na Obrázek 25. [4] [15]

Typ: 118U3474	Hodnota
Pracovní tlak	8 MPa
Max. teplota	50 °C
Min. teplota	-45 °C
Max. objem	7,6 l
Hmotnost nádoby	1,2 kg

Tabulka 10 Parametry sběrače 118U3474 [15]



Obrázek 25 Sběrač 118U3474 [15]

## 2.2.6 Návrh filtrdehydrátoru

Funkce filtrdehydrátoru je taková, že zachycuje nečistoty z okruhu chladiva i vody. Dokáže zachycovat i menší pevné částice. Filtrdehydrátor nezachycuje jen nečistoty, ale zbavuje chladivo vody a kyselosti. Do oběhu se mohou pájet na trubky nebo se používají filtry, které mají kalíškové spoje. Na obalu filtrdehydrátoru je šipkou znázorněn směr toku chladiva a ten se při montáži musí dodržet. Komponent je umístěn za sběračem. Volím do mého oběhu filtrdehydrátor typu 023Z0105 od firmy Danfoss. Parametry filtru jsou vidět na Tabulka 11 a jeho vzhled na Obrázek 26 [15]



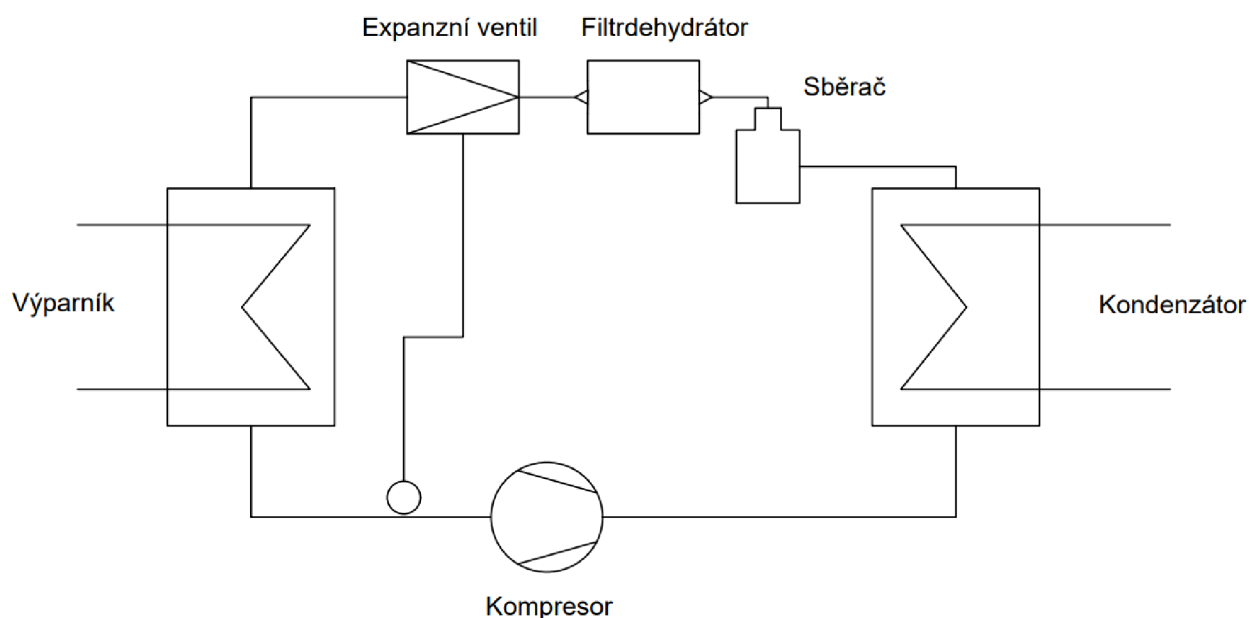
Obrázek 26 Filtrdehydrátor 023Z0246 [15]

Typ: 023Z0246	Hodnota
Pracovní tlak	4,6 MPa
Max. teplota	70 °C
Min. teplota	-40 °C
Max. objem	0,62 l
Materiál přípojek	Měď
Materiál nádoby	Ocel
Mazaní olejem	Ne
Chladiva bez oleje	R134A, R410A, R515A

Tabulka 11 Tabulka parametrů filtrdehydrátoru [15]

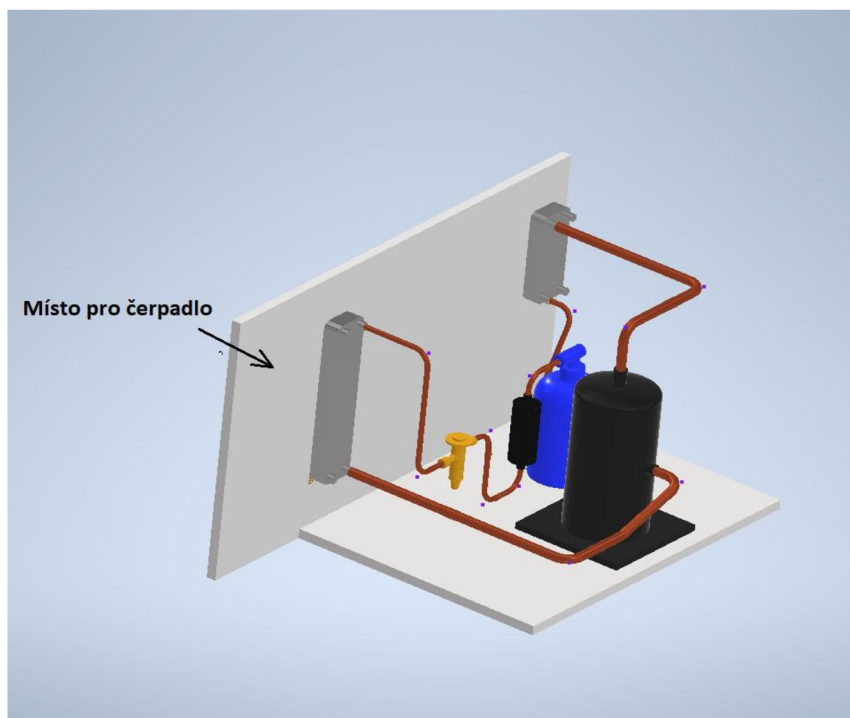
## 2.3 Reálný oběh a 3D model

Po navržení všech základních komponent je důležité, znovu nakreslit a zobrazit oběh tohoto TČ. Do oběhu jsou usazeny nové komponenty a to sběrač, filtrdehydrátor a za výparník je usazené tepelné čidlo z ventilu. 3D model je nakreslen programu Autodesk Inventor 2024, a je to jen jednoduchý náhled na možné zapojení tohoto TČ. Do reálného oběhu musí být navrženo mnohem více komponent. Tento návrh nebere v potaz řízení celého objektu, každé TČ musí mít řídicí jednotku. Není zde ani správné provedení trubkového systému mezi komponenty, ani zavedené elektrické kabely. Práce také nenavrhuje uložení TČ v prostoru a ani bezpečnostní snímače. Podrobnější oběh TČ lze vidět na Obrázek 27.

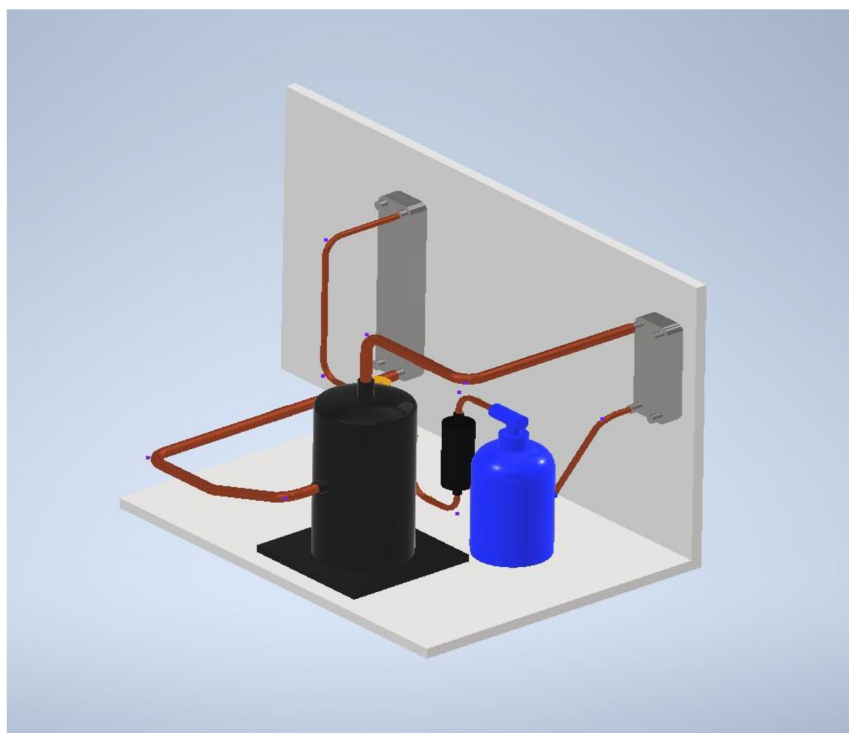


Obrázek 27 Skutečný oběh TČ

Autor práce volí 2 pohledy na 3D návrh TČ, pravý pohled na Obrázek 28 ukazuje začátek oběhu, který je ve výparníku a následně pokračuje do černého kompresoru a šedého kondenzátoru. Levý pohled na Obrázek 29 pokračuje od kondenzátoru do modrého sběrače a černého filtrdehydrátoru. Konec oběhu je poté vidět opět na pravém pohledu na Obrázek 28, kde je žlutý expanzní ventil, ze kterého jde trubka zpět do šedého výparníku. U výparníku je místo pro čerpadlo spodní vody.



Obrázek 28 Pravý pohled na 3D návrh TČ



Obrázek 29 Levý pohled na 3D návrh TČ

### 3. Závěr

Pro reálný oběh by bylo zapotřebí vzít v potaz spoustu jiných faktorů a navrhnout spoustu jiných komponent, které by zajistili správný chod TČ. Reálný návrh musí obsahovat řídicí jednotku, správné vedení potrubí, přívod elektrické energie a elektrické kabely, vysokotlaký a nízkotlaký presostat a průtokový spínač. Práce ustanovila základní parametry TČ, fyzikální jevy, které probíhají v oběhu, jeho druhy a funkce jednotlivých komponent. Velice důležitá část práce je vysvětlení principu topného faktoru (COP), hodnota COP se obvykle u čerpadel vzduch-voda, pohybuje mezi 2 až 5 a u voda-voda nad 5. [4] [16]

Dále se práce zabývá výpočtem pro zvolené parametry, které jsou výkon čerpadla, teplota uvnitř objektu, teplota spodní vody, teplota na vstupu do topení a teplota na výstupu z topení. Tepelná bilance je vypočítána pro tři různá chladiva, a to jsou R410A, R407C a R134a. Výpočet je proveden v programu Python-Anaconda a dokáže zjistit teploty v každé oblasti TČ, hodnotu tlaků v jednotlivých oblastech oběhu, teplo a práce jednotlivých komponent, entalpie a entropie v jakémkoliv místě oběhu a hmotnostní průtoky vody a chladiva. Velice důležitý parametr TČ je topný faktor (COP), který pro chladiva R410A, R134a a R407C vychází 5,468, 5,829 a 5,015. Z výpočtu vyšla tato fakta:

- R134a má nejlepší výsledky pro tento oběh. Má nejmenší hodnoty tlaků. Práce kompresoru a tepla co vyprodukuje výměníky jsou menší než u ostatních chladiv. Hodnota COP u R134a je větší než COP u jiných chladiv. Nicméně to není nejlepší chladivo a často má velké tlakové ztráty v oběhu a má malou tepelnou vodivost. R134a se používá spíše u chlazení. [4] [14] [16]
- Chladivo R410A má velice dobré výsledky COP, a to asi jenom o 6,2 % méně než R134a. Hodnoty tlaků jsou větší jak u R134a, ale ne tolik, aby to mohlo zkomplikovat výběr komponent. Hodnoty tepel výměníků a práce kompresoru jsou větší jak u R134a. R410A má ale výhodu oproti R134a, a to v tom, že má malé tlakové ztráty a větší tepelnou vodivost. Je také daleko více používané v TČ než R134a, hlavně kvůli jeho větší spolehlivosti, kterou vymění pouze za menší topný faktor. [4] [14] [16]
- R407C je velice podobné chladivo R410A, ale skoro ve všech faktorech je v tomto výpočtu horší. A proto R410A je nejvhodnější do tohoto oběhu. [4] [14] [16]

Po výpočtu tepelné bilance a Volím typ výparníku B25T a kondenzátoru B10T. Výměníky byly zvoleny podle kalkulátoru firmy SWEF. Kompresor a expanzní ventil jsou vybrány od společnosti Copeland, která patří mezi jediné firmy, které produkují kompresory typu SCROLL. Jako kompresor volím typ ZH04K1P-PFZ-524, který má nejvíce podobný hmotnostní průtok, jako vyšel v tepelné bilanci a zároveň dodává příkon, který po součtu s výkonem výparníku, dává přibližnou hodnotu výkonu TČ. Expanzní ventil volím TIH-Z13 M, kvůli jeho vhodnému použití v TČ. Sběrač chladiva volím typ od značky Danfoss, kde splňuje objem a tlak, který dokáže vydržet. Poslední komponenta je filtrdehydrátor, který volím od značky Danfoss. Tlak v oběhu a typ chladiva splňují podmínky filtrdehydrátoru. [4] [14] [16] [15] [13]

Na konci práce jsou 3D obrázky modelu, možného zapojení tohoto oběhu a jak by TČ mohlo vypadat v realitě. 3D model nezahrnuje dodatečné komponenty, pouze výparník, kompresor, kondenzátor, sběrač chladiva, filtrdehydrátor a expanzní ventil.

## Seznam použité literatury

- [1] MATUŠKA, Tomáš. Nízkopotenciální zdroje pro tepelná čerpadla [PDF]. Praha, © 2023. Dostupné také z: [https://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P7-tepelna\\_cerpadla\\_NPT.pdf](https://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P7-tepelna_cerpadla_NPT.pdf)
- [2] MATUŠKA, Tomáš. Navrhování a bilancování tepelných čerpadel [PDF]. Praha, © 2023. Dostupné také z: [https://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P6-tepelna\\_cerpadla\\_navrhovani\\_bilancovani.pdf](https://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P6-tepelna_cerpadla_navrhovani_bilancovani.pdf)
- [3] MATUŠKA, Tomáš. Základy tepelných čerpadel [PDF]. Praha, © 2023. Dostupné také z: [https://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P5-tepelna\\_cerpadla\\_zaklady.pdf](https://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P5-tepelna_cerpadla_zaklady.pdf)
- [4] TZB-info. TZB-info [online]. 2001 [cit. 2023-10-10]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/>
- [5] DVOŘÁK, Zdeněk. Chladicí technika. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1971. 04-233-71-I.
- [6] ŽERAVÍK, Antonín. Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]. Přerov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 80-239-0275-X.
- [7] HYNČICA, Martin. TEPELNÉ ČERPADLO ZEMĚ - VODA. Brno, 2008. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [8] KUBIK, Martin. Tepelná čerpadla. Brno, 2010. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [9] TOP HEAT S.R.O. Tepelná čerpadla Gorenje [online]. © 2023 [cit. 2023-10-30]. Dostupné z: [https://www.tepelna-cerpadla-gorenje.cz/vypis\\_menu/12-voda-voda-aquagor.html](https://www.tepelna-cerpadla-gorenje.cz/vypis_menu/12-voda-voda-aquagor.html)
- [10] G-MAR S.R.O. G-MAR [online]. © 2014 [cit. 2023-10-30]. Dostupné z: <https://www.g-mar.cz/pajene-vymeniky/>
- [11] Veskom [online]. © 2023 [cit. 2023-10-30]. Dostupné z: <https://www.veskom.cz/kompresory/lamelove-kompresory>
- [12] ATLAS COPCO. Spirálový kompresor [online]. 2022 [cit. 2023-11-12]. Dostupné z: <https://www.atlascopco.com/cs-cz/compressors/air-compressor-blog/scroll-compressors>
- [13] SWEP. SWEP.net [online]. © 2022 [cit. 2024-04-02]. Dostupné z: <https://www.swep.net/>
- [14] COPELAND LP. Copeland [online]. ©2024 [cit. 2024-04-09]. Dostupné z: <https://www.copeland.com/en-us>
- [15] DANFOSS. Danfoss [online]. 2019 [cit. 2024-04-10]. Dostupné z: <https://www.danfoss.com/cs-cz/>

[16] Abeceda tepelná čerpadla [online]. 2006 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z:  
<https://www.abeceda-cerpadel.cz/>

[17] Tepelná čerpadla Spirála [online]. © 2024 [cit. 2024-05-14]. Dostupné z:  
<https://www.tepelna-cerpadla-spirala.cz/>