



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

ENERGY INSTITUTE

**NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA PRO CHLADICÍ  
SYSTÉM ŘÍZENÉHO KVAŠENÍ VÍNA**

DESIGN OF A HEAT PUMP FOR A COOLING SYSTEM OF CONTROLLED WINE FERMENTATION

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**RUDOLF BRUCHÁČEK**

**Ing. FILIP TOMAN**

BRNO 2023

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Rudolf Brucháček**  
Studijní program: Základy strojního inženýrství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Filip Toman**  
Akademický rok: 2022/23

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 tepelného čerpadla pro chladicí systém řízeného kvašení vína**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Během kvasícího procesu je uvolňováno kvasné teplo, které způsobuje zahřívání kvasícího rmutu. Protože při zvýšení teploty nad 20 °C začne docházet k tepelné smrti kvasinek, je nezbytně nutné teplo vzniklé kvašením odvést mimo kvasící rmut.

#### **Cíle bakalářské práce:**

- Popsání principu tepelného čerpadla a přehled typů TČ.
- Popis chladicího zařízení pro řízené kvašení.
- Návrh tepelného čerpadla pro chladicí zařízení.

#### **Seznam doporučené literatury:**

BALÁŠ, Marek. Kotle a výměníky tepla. Vydání druhé. Brno: Akademické nakladatelství CERM@s.r.o. Brno, 2013, 119 stran : ilustrace. ISBN 978-80-214-4770-7.

STEHLÍK, Petr, Josef KOHOUTEK a Jan NĚMČANSKÝ. Tepelné pochody: výpočet výměníku tepla. Brno: VUT Brno, 1991, 129 s. : obr., tabulky, grafy. ISBN 80-214-0363-2.

KUPPAN, Thulukkanam. Heat exchanger design handbook. New York: Marcel Dekker, 2000, x, 1119. ISBN 0-8247-9787-6.

PAVELEK, Milan. Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 192 s. ISBN 978-80-214-4300-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se v první části zabývá řešením problematiky tepelných čerpadel a využití chladicích zařízení pro řízené kvašení vína. Ve druhé části pak návrhem konkrétního tepelného čerpadla pro toto chladicí zařízení. Jedná se o tepelné čerpadlo vzduch–voda s možností reverzace chodu. Návrh komponent zařízení byl realizován za pomoci výpočtových softwarů známých firem, které se problematikou zabývají (Select 8, SSP G8, Coolsector 2, Coolpack). Výstupem práce je konkrétní návrh komponent a energetické zhodnocení pomocí topného/chladicího faktoru.

## Abstract

This bachelor's thesis deals in the first part with research on the issues of heat pumps and the use of cooling devices for controlled fermentation of wine. The second part involves the design of a specific heat pump for this cooling device. It is an air-to-water heat pump with the possibility of reversible operation. The design of the device components is realized using calculation software from well-known companies specializing in this field (Select 8, SSP G8, Coolsector 2, Coolpack). The output of the thesis is a specific component design and an energy evaluation using the coefficient of performance.

## Klíčová slova

tepelné čerpadlo, chladicí zařízení, kompresor, vinařství, tepelný výměník

## Keywords

heat pump, cooling device, compressor, winemaking, heat exchanger

## Citace

BRUCHÁČEK, Rudolf. *Návrh tepelného čerpadla pro chladicí systém řízeného kvašení vína*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Filip Toman

# Návrh tepelného čerpadla pro chladicí systém řízeného kvašení vína

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Filipa Tomana. Uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....  
Rudolf Brucháček  
26. května 2023

## Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce, panu Ing. Filipu Tomanovi, za čas, ochotu a rady při konzultacích bakalářské práce.

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>3</b>
<b>1 Popis tepelného čerpadla</b>	<b>4</b>
1.1 Historie tepelných čerpadel . . . . .	4
1.2 Princip fungování TČ . . . . .	5
1.2.1 Efektivita TČ . . . . .	7
1.2.2 TČ s kompresorem . . . . .	8
1.2.3 Absorpční TČ . . . . .	8
1.2.4 Hybridní TČ . . . . .	9
1.2.5 TČ v reverzním režimu . . . . .	10
<b>2 Zdroje tepla a druhy TČ</b>	<b>11</b>
2.1 TČ vzduch–voda . . . . .	11
2.2 TČ voda–voda . . . . .	12
2.2.1 Podzemní voda . . . . .	12
2.2.2 Tekoucí, nebo stojatá povrchová voda . . . . .	12
2.3 TČ země–voda . . . . .	13
2.3.1 Vodorovné zemní kolektory . . . . .	13
2.3.2 Vertikální zemní kolektory . . . . .	13
<b>3 Komponenty chladicího okruhu TČ</b>	<b>15</b>
3.1 Kompresor . . . . .	15
3.1.1 Pístové kompresory . . . . .	15
3.1.2 Spirálové scroll kompresory . . . . .	15
3.1.3 Dvojitý rotační kompresor . . . . .	16
3.1.4 Další typy kompresorů . . . . .	17
3.2 Kondenzátor . . . . .	17
3.2.1 Deskový kondenzátor . . . . .	17
3.3 Expanzní ventil . . . . .	18
3.3.1 Termostatický expanzní ventil (TEV) . . . . .	18
3.3.2 Elektronický expanzní ventil (EEV) . . . . .	18
3.4 Výparník . . . . .	19
3.4.1 Lamelový výparník . . . . .	19
3.4.2 Deskový výparník . . . . .	19
3.4.3 Trubkový výparník . . . . .	19
<b>4 Návrh TČ pro chladicí zařízení</b>	<b>20</b>
4.1 Chladicí zařízení pro řízené kvašení . . . . .	20

4.1.1	Fermentace vína a podstata chlazení . . . . .	20
4.1.2	Popis chladicího zařízení . . . . .	21
4.2	Zadání pro návrh TČ . . . . .	22
4.3	Chladivo . . . . .	22
4.4	Návrh jednotlivých komponent . . . . .	23
4.4.1	Kompresor . . . . .	23
4.4.2	Výměník chladivo R290–nemrznoucí směs . . . . .	24
4.4.3	Výměník chladivo R290–vzduch . . . . .	25
4.4.4	Expanzní ventil . . . . .	25
4.4.5	Filtrdehydrátor . . . . .	27
4.4.6	Průhledítko . . . . .	27
4.4.7	Zpětný ventil . . . . .	27
4.4.8	Čtyřcestný ventil . . . . .	28
4.4.9	Elektromagnetický ventil . . . . .	28
4.4.10	Presostat . . . . .	28
4.4.11	Sběrač kapalného chladiva . . . . .	29
4.4.12	Odlučovač kapalného chladiva . . . . .	29
4.4.13	Návrh potrubí . . . . .	29
4.5	Zapojení TČ . . . . .	30
4.5.1	Režim ohřevu . . . . .	30
4.5.2	Režim chlazení . . . . .	31
4.6	COP . . . . .	31
	<b>Závěr</b>	<b>33</b>
	<b>Literatura</b>	<b>34</b>
	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů</b>	<b>37</b>

# Úvod

V dobách, ve kterých se neustále zpřísňují ekologické požadavky na stavby a je kladen čím dál větší důraz na obnovitelné zdroje energie, hrají tepelná čerpadla velmi důležitou roli. Jejich dlouhodobý provoz je z ekonomického hlediska výhodný a negativní vliv na životní prostředí minimální.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na popsání principu, přehled jednotlivých druhů a na návrh tepelného čerpadla (dále jen TČ), které může být použito ve vinařském provozu při řízeném kvašení vína. Takové TČ bude primárně určeno pro chlazení, protože při výrobě bílého vína, jehož produkce je ve vinařské oblasti Morava majoritní, je nutné kvasné teplo odvádět. Při výrobě červeného vína je nutné naopak teplo přivést, a tak musí být TČ schopné funkce i v režimu ohřevu.

V moderním vinařství se TČ uplatňují ve středních a větších vinařských provozech. Používají se nejen pro řízené kvašení, ale i pro chlazení/vytápění výrobních hal a přilehlých budov. Do největších provozů se instalují TČ o výkonu stovek kW. U malovinařů nemají obvykle ekonomický smysl a přistupuje se k užití průmyslových agregátů. Nicméně i tento návrh bude určen pro malý provoz, kde bude chlazen nerezový tank o objemu 5000 litrů.

Cílem práce je výběr konkrétních komponent a energetické zhodnocení navrženého okruhu. K výběru komponent je přistoupeno pomocí použití programů předních firem, které se určitou problematikou zabývají. Konkrétně se jedná o program Select 8 firmy Copeland k návrhu kompresoru, SSP G8 od firmy Swep k výpočtu výměníků, Coolsector 2 od firmy Danfoss k návrhu komponent kapalinového potrubí a k analýze chladicího cyklu program CoolPack.

Práce je členěna do 4 kapitol. Rešeršní část začíná základním představením TČ v kapitole č. 1. Popis TČ s různými zdroji tepla se nachází v kapitole č. 2. Základní a nejdůležitější komponenty chladicího okruhu jsou uvedeny v kapitole č. 3. Popis chladicího zařízení pro řízené kvašení a vlastní návrh všech komponent cyklu je v kapitole č. 4.

# Kapitola 1

## Popis tepelného čerpadla

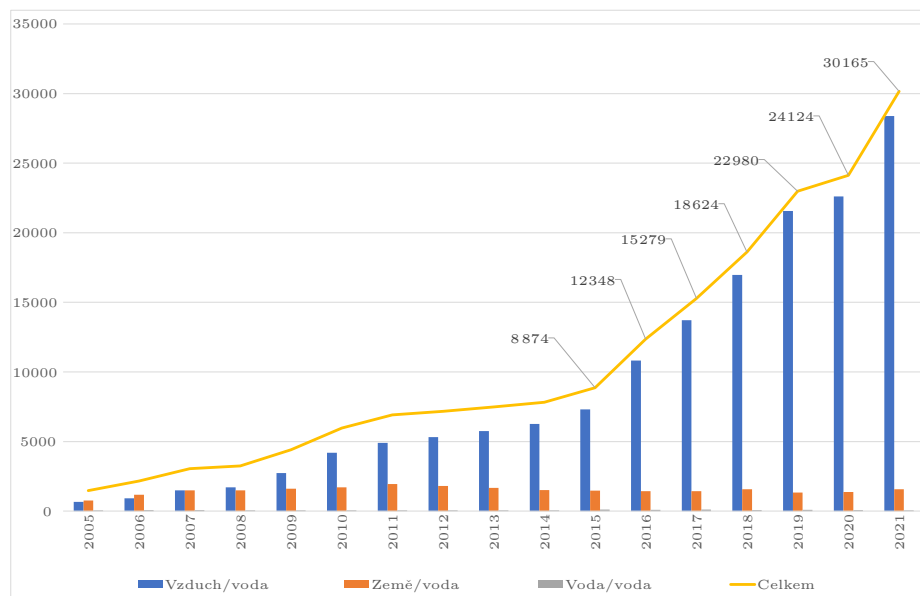
### 1.1 Historie tepelných čerpadel

Počátek vzniku TČ se datuje již do 2. poloviny 18. století. Pro společnost bylo v tehdejší době prioritou vyvinout chladicí zařízení, které by pomáhalo uchovávat potraviny čerstvé. TČ funguje obdobně, ale je využíváno v obráceném směru. Jako první s tímto vynálezem přišel skotský fyzik William Cullen. Zkonstruoval malé zařízení, které umožňovalo absorbovat teplo z okolního vzduchu. Použil čerpadlo k vytvoření částečného vakua nad vysoce hořlavou kapalinou – diethyletherem, který se odpařoval [1]. Na základě jeho teorie postavil americký vynálezce Jacob Perkins v roce 1834 vůbec první ledničku, přičemž ve svém patentu “Apparatus and means for producing ice, and in cooling fluids” uvedl parní kompresní cyklus (Vapour-Compression Cycle) [9]. Samotné principy technologie TČ formuloval především S.N.L.Carnot v díle „Úvahy o hybné síle ohně a strojích vyvolávajících tuto sílu“, kde mimo jiné popsal i známý Carnotův cyklus. Později na něj významně navázal William Thomson (lord Kelvin), jenž na základě jeho prací formuloval roku 1852 druhou větu termodynamickou [33]. Myšlenku tepelného čerpadla využívajícího teplo ze zemního zdroje představil jako první americký vynálezce Robert C. Webber v roce 1948 [1].

Větší rozmach TČ se dostavil po roce 1932 s vynálezem chladiv na bázi chlorovaných uhlovodíků. Jedná se o látky ze skupiny CFC, tzv. tvrdé freony, a ze skupiny HCFC, tzv. měkké freony. Tato chladiva byla bezpečná, nejedovatá a chemicky velmi stálá. O jejich negativním dopadu na ozonovou vrstvu se dlouho nevědělo a v ČR se tvrdé freony používaly až do roku 1995 [8].

Od roku 1973 v České republice roste zájem o netradiční zdroje energie. Důvodem byla ropná krize vyvolaná arabsko-izraelskou válkou, byť se naší země významně nedotkla. Do roku 1990 bylo dovezeno, nebo vyrobeno asi 100 kusů TČ. Jejich skutečné využití bylo ale značně problematické, změna nastala až po roce 1990 se zavedením soukromého podnikání. Instalace TČ v devadesátých letech narážela na dva problémy – levná paliva a malou informovanost veřejnosti. Osvěta byla realizována prostřednictvím státních podpor a referenčních instalací [16].

Počátkem 21. století roste v ČR zájem o úsporu energie a tedy i počet instalací TČ. Podle statistického šetření Ministerstva průmyslu a obchodu ČR, kde šetření probíhalo u všech výrobních i dovozních firem, můžeme prodeje TČ v letech 2004–2021 vidět v grafu 1.1. Je vidno, že v ČR ve většině převažují systémy vzduch–voda a jejich počet stále roste. Prodeje TČ země–voda se dlouhodobě drží na nízkých ustálených hodnotách a systémy voda–voda se u nás využívají jen zřídka kvůli nedostatku vhodných vodních zdrojů [16].

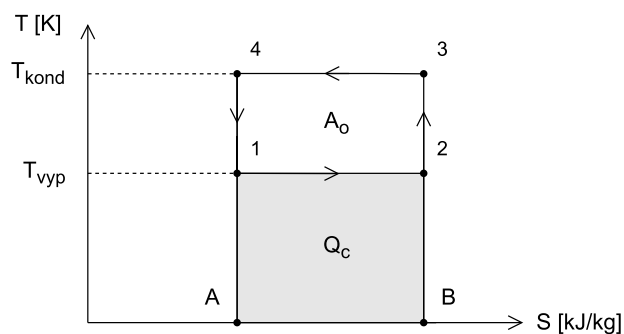


Obrázek 1.1: Počet prodaných tepelných čerpadel v ČR celkem a dle typu [16].

## 1.2 Princip fungování TČ

Podle druhého zákona termodynamiky (2.TDZ) teplo přechází z tělesa studenějšího na těleso teplejší. TČ odebírá toto nízkopotenciální teplo z okolního prostředí, jako je vzduch, voda, země (více kapitola 2, str. 11), a umožňuje ho převést na vysokopotenciální teplo, které můžeme prakticky využít např. na zvýšení teplotních hodnot užitečných k vytápění domu, ohřevu vody a podobně.

TČ pracují velmi podobně jako chladicí zařízení, rozdíl je v tom, které teplo se snažíme využít. Zatímco u chladicího zařízení chceme teplo  $Q_H$  odvést, v případě TČ v kondenzátoru teplo  $Q_H$ , které je uvolněno z chladiva, předáváme do vody, nebo jiné ohřívané látky. Pro dosažení tohoto cíle musíme chladivu přivést nízkopotenciální teplo  $Q_C$  z vhodného zdroje a dodat energii kompresoru (v případě kompresorového oběhu), nebo cirkulačnímu čerpadlu (v případě absorpčního oběhu, viz 1.2.3). Dodávaná energie může být elektrická (elektromotor), nebo mechanická (spalovací motor). Vzhledem k pořizovacím nákladům, konstrukci a údržbě jde v drtivé většině o pohon elektromotorem. Často se jedná o hermeticky uzavřenou jednotku i s kompresorem. Na obrázku 1.2 je zobrazen levotočivý Carnotův cyklus, tedy ideální pracovní cyklus TČ s kompresorem.



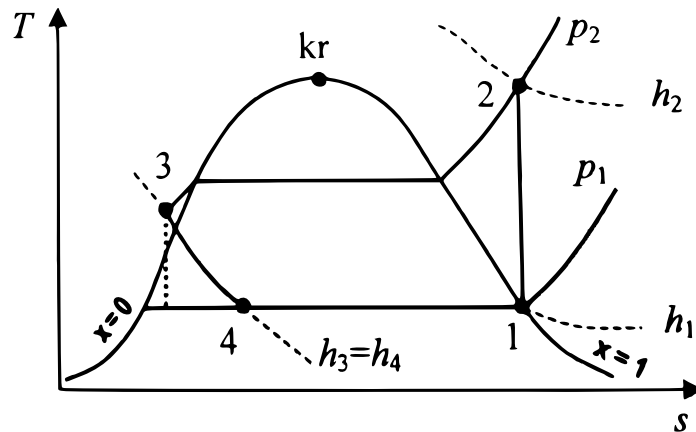
Obrázek 1.2: Carnotův cyklus TČ znázorněný v T-s diagramu [33].

Jednotlivé děje v Carnotově cyklu jsou:

- 1 → 2 izotermické vypařování chladiva,
- 2 → 3 adiabatická komprese,
- 3 → 4 izotermická kondenzace chladiva,
- 4 → 1 adiabatická expanze.

Práce  $A_o$  je celková práce cyklem vykonaná a  $Q_C$  je teplo získané z venkovního zdroje. Výsledné teplo se získá jejich součtem  $Q_H = A_o + Q_C$ . Carnotův cyklus ale nezohledňuje reálné vlastnosti pracovních látek – chladiv, tepelné ztráty do okolí a skutečnou účinnost zdroje pohonné energie [14].

Skutečný pracovní oběh se častěji nahrazuje Rankinovým cyklem. Ten sice také není realizovatelný, ale odchylky od reálného oběhu jsou poměrně malé. Příklad Rankinova cyklu pro kompresorové TČ je na obrázku 1.3.

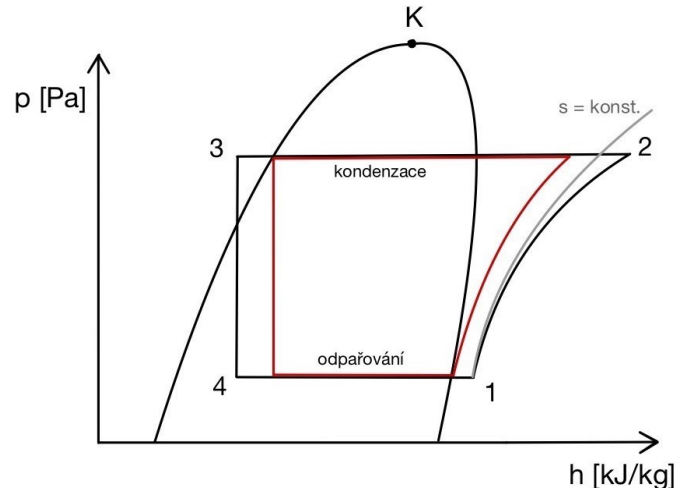


Obrázek 1.3: Rankinův cyklus TČ znázorněný v T–s diagramu [18].

Rankinův cyklus je charakterizován těmito ději:

- 1 → 2 izoentropická komprese syté páry na přehřátou páru,
- 2 → 3 izobarické ochlazení přehřátých par na mez sytosti a následná kondenzace na mez syté kapaliny,
- 3 → 4 izoentalpické škrcení na mokrou páru,
- 4 → 1 izotermické vypařování chladiva.

Pracovní oběh TČ je také často zobrazován v p–h diagramu (závislost tlaku na měrné entalpii). Na obrázku 1.4 je červeně vykreslen Rankinův cyklus a černou barvou reálný cyklus. Na vstupu do kompresoru (bod 1) by měla být podle Rankinova cyklu sytá pára, ve skutečnosti pára vstupuje již přehřátá. Z praktického hlediska je to však nutností, aby se do kompresoru nedostávala kapalina. Na konci kondenzace je ve skutečnosti pára podchlazena do oblasti syté kapaliny (bod 3). Tím je ošetřeno, aby se do expanzního ventilu nedostávaly bublinky plynu. Komprese chladiva také neprobíhá právě izoentropicky (děj 1–2), vždy je potřeba počítat s mechanickými ztrátami, ztrátami přenosem tepla, vnitřní netěsností atd. Tím narůstá množství dodané práce kompresorem pro stlačení na požadovaný tlak [23].



Obrázek 1.4: Rankinův a reálný cyklus TČ znázorněný v p–h diagramu.

V této práci se budu zabývat pouze TČ s kompresorem, ale existují i jiné druhy, jako jsou absorpční TČ (více v kapitole 1.2.3) a hybridní TČ (kapitola 1.2.4).

### 1.2.1 Efektivita TČ

Na začátku je důležité uvést srovnávací faktory, podle kterých se dá na jednotlivá TČ nahlížet. Měřítkem energetické výhodnosti pro TČ určené k vytápění je jmenovitý topný faktor (dále jen COP, z angl. Coefficient of Performance). Podle Carnotova cyklu je COP spočítán dle rovnice

$$\varepsilon_H = COP_H = \frac{|Q_H|}{A_o} = \frac{|Q_H|}{|Q_H| - Q_C} = \frac{T_H}{T_H - T_C}. \quad (1.1)$$

Ve skutečném provozu, kde Carnotův cyklus neplatí, je COP stanoven pro jeden standardní provozní bod dle normy ČSN EN 14511-1. Jedná se o bezrozměrné číslo, jehož velikost závisí na konkrétním druhu TČ. Za běžných podmínek se pohybuje v mezích (2,5 - 5,0). Vztah pro výpočet je

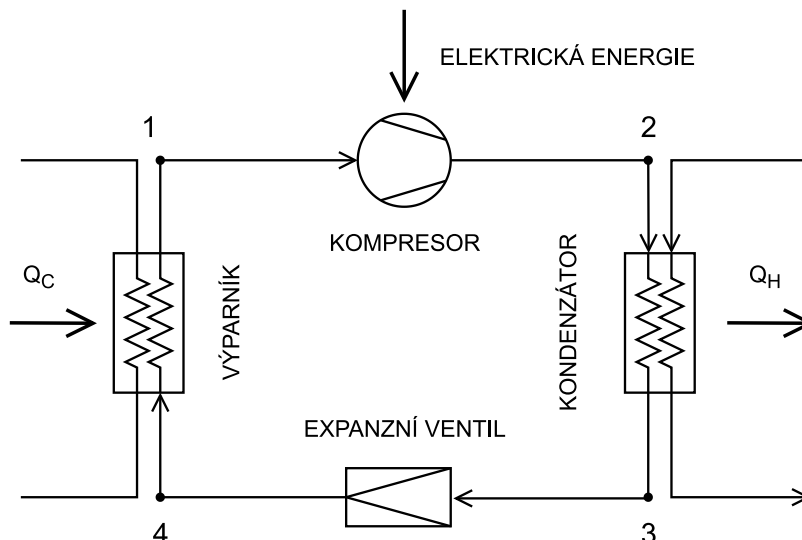
$$\varepsilon_H = COP_H = \frac{\Psi}{P_c + P_{aux}}, \quad (1.2)$$

kde  $\Psi$  je celkový tepelný výkon čerpadla,  $P_c$  příkon potřebný pro provoz kompresoru a  $P_{aux}$  příkon potřebný mimo kompresor (překonání tlakové ztráty výparníku a kondenzátoru, odtávání výparníku atd.) [26].

Sezónní topný faktor SCOP lépe ukazuje efektivitu TČ při celoročním provozu. Do SCOP se zahrnují i energetické ztráty vlivem cyklování tepelného čerpadla, energetická spotřeba záložního elektrokotle (pokud je potřeba), energetická spotřeba tepelného čerpadla v pohotovostním režimu či při náběhu, ztráty vychlazením výměníků v době mimo provoz apod. Nicméně i faktor SCOP je definován pro standardizované podmínky provozu dle normy ČSN EN 14825, jako jsou tepelné ztráty budovy, odběr teplé vody, definovaná otopná soustava, doba provozu atd. Takové podmínky většinou přesně neodpovídají instalaci TČ v konkrétní situaci, ale SCOP může posloužit jako hodnotící parametr při výběru konkrétního výrobku. Vypočtený SCOP se používá pro klasifikaci tepelných čerpadel do tříd energetické účinnosti při jejich štítkování [26].

### 1.2.2 TČ s kompresorem

Kompresorové chladicí zařízení odpařovací patří mezi velice efektivní způsoby chlazení. Podle prvního termodynamického zákona (1.TDZ) teplota roste se zvýšením tlaku, k tomu slouží v oběhu kompresor. Kompresorový systém můžeme vidět na obrázku 1.5. Jedná se o uzavřený okruh skládající se ze čtyř základních částí – výparníku, kompresoru, kondenzátoru a expanzního ventilu.

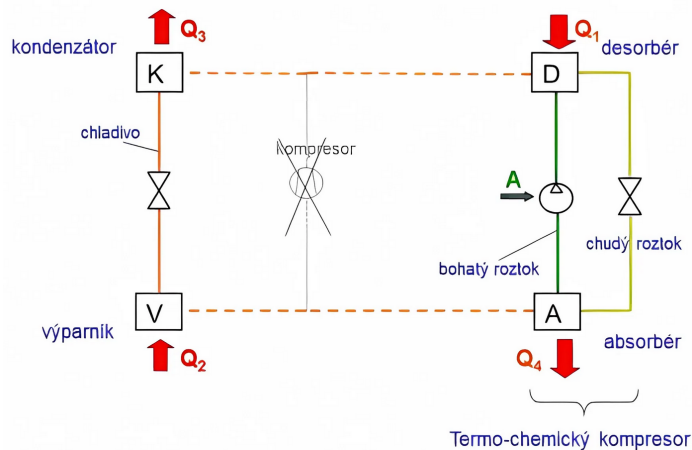


Obrázek 1.5: Obecné principiální schéma TČ s kompresorem [33].

V nízkotlaké části na tzv. primární straně je vždy výparník. To je výměník tepla, do kterého se přivádí pomocí vhodného média nízkopotenciální teplo z okolního zdroje ( $Q_C$ ). Do výparníku je pod vysokým tlakem vstříkováno kapalné chladivo. To se rychle odpařuje, protože tlak ve výparníku je nižší. Vypařování probíhá teoreticky za konstantní teploty a konstantního tlaku. Tento plyn je nasáván kompresorem a při průchodu se silně zahřeje. Svůj užitek má i ztrátové teplo kompresoru, které je zde předáno plynu. Stlačený plyn o vysoké teplotě putuje do sekundárního výměníku, tzv. kondenzátoru. Tam své vysokopotenciální teplo ( $Q_H$ ) předá topné vodě, kterou využijeme např. pro vytápění a plyn zkondenzuje. V kapalném stavu je chladivo vedeno skrz expanzní ventil zpět do výparníku. Takto běží cyklus pořád dokola [33].

### 1.2.3 Absorpční TČ

Absorpční chladicí zařízení využívají pro přenos tepelné energie na vyšší teplotní úroveň absorpční oběh, který shodně s parním oběhem využívá fázovou změnu chladiva ve výparníku a v kondenzátoru. Místo dodané práce kompresorem využije dodané teplo z vhodného zdroje. Absorpční TČ je vhodné použít v místech s dostupným zdrojem levné tepelné energie. Schéma absorpčního TČ je naznačeno na obrázku 1.6. Typickými příklady absorpčních oběhů jsou trigenerační jednotky (současná výroba elektrické energie, tepla a chladu), nebo systémy dálkového zásobování chladem. Jednou z variant je i oběh difuzní. Ten nevyžaduje elektrickou energii a je využíván v hotelových chladničkách. Jeho výhodou je velmi nízká hlučnost [25].



Obrázek 1.6: Obecné principiální schéma absorpčního TČ [25].

V absorpčním oběhu koluje vždy chladiivo a absorpční látka. Typické dvojice chladiv a absorbentů můžeme vidět v tabulce 1.1. Do výparníku (V) je vstřikováno kapalné chladiivo, které se odpařuje vlivem přivedeného tepla ( $Q_2$ ). Páry jsou v absorberu absorbovány do kapalné absorpční látky, se kterou vytvoří roztok a současně se uvolní teplo ( $Q_4$ ). Bohatý roztok je pomocí cirkulačního čerpadla dopraven do desorbéru (D). Tam je přiváděno teplo ( $Q_1$ ) buď za pomoci integrovaných hořáků (jedná-li se o přímo vytápěné absorpční oběhy), nebo je zdrojem tepla předeřhátá voda nebo pára z jiného zdroje (nepřímo vytápěné absorpční oběhy). Z roztoku jsou vypuzeny páry chladiva, které kondenzují v kondenzátoru (K) a předávají teplo ( $Q_3$ ). Chudý roztok absorbentu je veden přes škrťací ventil zpět do absorberu. Zkapalněné chladiivo je přes škrťací ventil vedeno do výparníku a proces se opakuje [25].

Tabulka 1.1: Chladiva a absorbenty pro absorpční TČ [25].

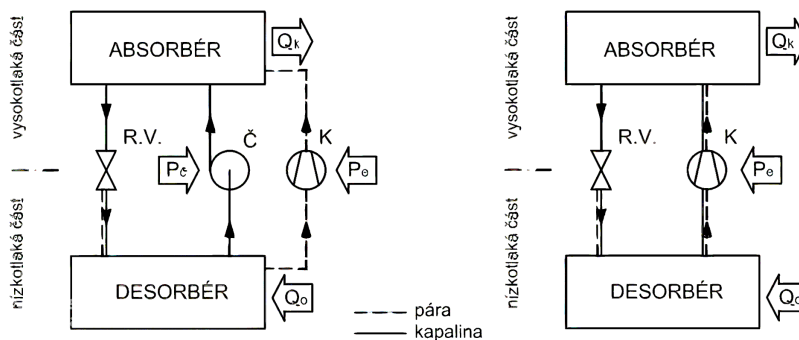
chladiivo	absorbent
NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O	roztok H <sub>2</sub> O-LiBr
H <sub>2</sub> O	NaOH
H <sub>2</sub> O	roztok H <sub>2</sub> O-LiCl

### 1.2.4 Hybridní TČ

Hybridní TČ kombinují prvky kompresorových a absorpčních oběhů. Základem je kompresorový oběh, kde se použitá pracovní směs skládá ze dvou složek (chladiivo + absorbent). Místo výparníku je použit desorbér a místo kondenzátoru absorbér. Chladiivo je mezi nimi dopravováno přes kompresor (K). Absorbent je veden buď samostatným okruhem pomocí čerpadla (Č), nebo společně s chladiivem přes kompresor (tzv. mokrá komprese). Rozdíly jsou schematicky znázorněny na obrázku 1.7. V praxi se mokrá komprese kvůli složitější konstrukci kompresoru příliš nevyužívá a stále je ve výzkumu. Na rozdíl od absorpčního chlazení, kde se desorbér nachází ve vysokotlaké části oběhu, je umístěn v části nízkotlaké a využívá přivedené nízkopotenciální teplo ( $Q_0$ ). Absorbér je zase umístěn v části vysokotlaké a produkuje vysokopotenciální teplo ( $Q_k$ ). Záměr konstrukce hybridního TČ je zřejmý, a to navýšit topný, resp. chladičivý faktor COP oproti absorpčnímu TČ, nebo oběhu s kom-

presorem. Zvýšení je teoreticky možné díky využití tepelné energie chemických reakcí při absorpci a desorpci [12].

Dobré je také zmínit, že v literatuře psané v anglickém jazyce se používá pro výraz hybridní tepelné čerpadlo především označení „absorption/compression heat pump“.

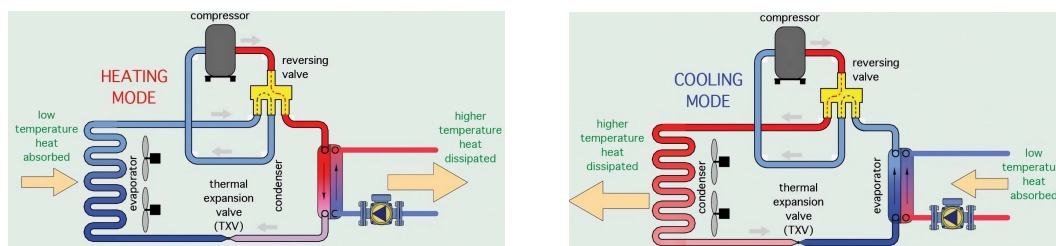


Obrázek 1.7: Hybridní TČ s odděleným oběhem (vlevo) a s mokrou kompresí (vpravo) [12].

Hybridní TČ (dále jen HTČ) jsou sice v provozu prakticky neznámá, ale nachází se již několik praktických realizací. „**Stokar a Trepp** (1987, Švýcarsko) zkonstruovali HTČ s dvojicí látek  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ , pracovní podmínky: chlazení vody z  $40\text{ }^\circ\text{C}$  na  $15\text{ }^\circ\text{C}$ , ohřev vody ze  $40\text{ }^\circ\text{C}$  na  $70\text{ }^\circ\text{C}$ . **Groll a Radermacher** (1994) jako první experimentovali s hybridním cyklem s přímou výměnou tepla mezi absorbérem a desorbérem (tzv. direct desorber/absorber heat exchange – DAHX). Vlastní zařízení ohřívalo vodu v sekundárním okruhu z  $58\text{ }^\circ\text{C}$  na  $74\text{ }^\circ\text{C}$ . **IFE + Hybrid Energy AS** (2005) – významným uplatněním technologie HTČ z poslední doby je zařízení s pracovní dvojicí  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  o výkonu 300 kW v Norsku. Jeho úkolem je využití odpadního tepla v mlékárně, je schopno transformovat tepelnou energii z teplotních hladin  $0 - 60\text{ }^\circ\text{C}$  na  $75 - 100\text{ }^\circ\text{C}$ “ [12].

### 1.2.5 TČ v reverzním režimu

Aby bylo možné TČ provozovat i v režimu chlazení, chod čerpadla musí být reverzovatelný. Změna směru proudění je zajištěna elektromagnetickým čtyřcestným ventilem. Topná voda je tedy ochlazována, teplo je vraceno zpět do venkovního zdroje. Chlazení se dá rozlišit na pasivní a aktivní. Při pasivním chlazení je kompresor odpojen a teplo samovolně odchází. Jedná se o neekonomičtější a nejvíce ekologický způsob. V případě aktivního chlazení kondenzátor převeze funkci výparníku a obráceně, kompresor plní svou původní funkci. Takto se dá realizovat i odmrazení výparníku, když se v systémech vzduch–voda tvoří námraza.



Obrázek 1.8: TČ v režimu vytápění (vlevo) a chlazení (vpravo) [2].

## Kapitola 2

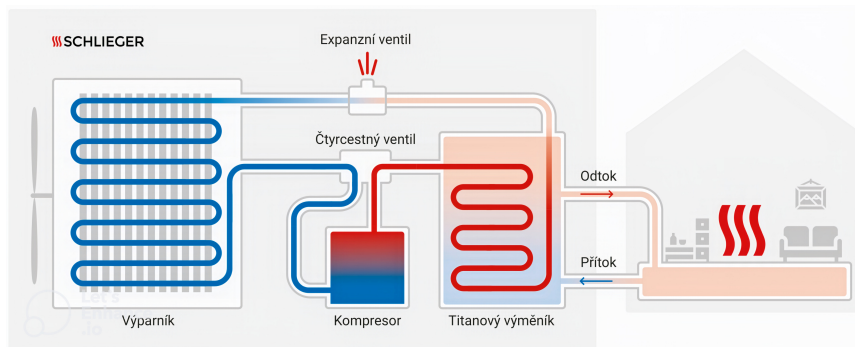
# Zdroje tepla a druhy TČ

Podle zdroje, ze kterého je získáváno nízkopotenciální teplo, lze TČ rozdělit na několik druhů. První slovo v názvu představuje právě tento zdroj tepla. Druhým slovem v názvu je voda, tj. médium, do kterého se teplo předává.

### 2.1 TČ vzduch–voda

Tento typ TČ je rozšířený díky jednoduchosti instalace, relativně nízké ceně, nízkým nárokům na prostor a také dostupnosti okolního vzduchu, který slouží jako zdroj tepla. Mezi jeho nevýhody patří klesání COP s klesající teplotou okolního vzduchu. Když je největší mráz a je potřeba topit nejvíc, tak je COP nejnižší. Podle referenčních materiálů firem je vytápění možné do  $-15\text{ °C}$ , ale některé společnosti přiznávají, že hranice pro efektivní vytápění je  $-5\text{ °C}$  [33]. Proto TČ tohoto druhu nebývají často zapojena monovalentně (tj. bez přídatného zdroje), ale bivalentně, tedy vybavena např. malým elektrokotlem. Další možností je využití původního plynového kotle jako doplňkového zdroje. Ten může v případě potřeby převzít celý výkon, nebo jeho část. Nezanedbatelné jsou také emise hluku, na které se vztahují hygienické požadavky [20]. U všech tepelných čerpadel vzduch–voda je nutné počítat s tím, že se na výparníku při nižších teplotách může tvořit námraza. Obvykle tuto námrazu kontroluje regulátor, který přibližně jednou za hodinu automaticky spustí odmrazování pomocí reverzního chodu.

Obecně lze instalace TČ vzduch–voda rozdělit na variantu kompaktní (monoblok) a variantu dělenou (split). Schéma kompaktního zapojení čerpadla vzduch–voda můžeme vidět na obrázku 2.1. Celé TČ je včetně všech komponent umístěno ven a od výrobce naplněno chladivem. Výparník je obvykle doplněn ventilátorem pro lepší přenos tepla. Topná voda vede trubkami z kondenzátoru do domu. Instalace tohoto typu je jednoduchá, musí se však zabránit případnému zamrznutí těchto trubek a kondenzátoru při náhlém výpadku proudu. Možným opatřením je např. použití nemrzoucí směsi v celém systému. U varianty typu split už kondenzátor není součástí bloku, ale je umístěn do domu. Potrubím putuje chladivo a topná voda je ohřívána až uvnitř domu. Zamrznutí trubek tady nehrozí. Rozdíly mezi těmito dvěma typy nejsou zásadní, závisí na konkrétních okolnostech instalace TČ.



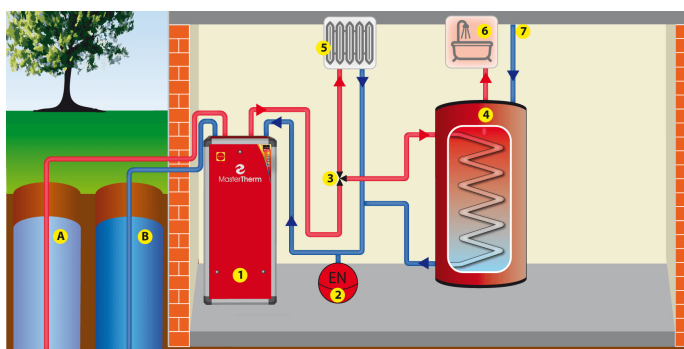
Obrázek 2.1: TČ vzduch-voda [20].

## 2.2 TČ voda–voda

System voda-voda, pokud je správně navržen, může být nejvhodnějším zdrojem tepla pro TČ. Umožňuje dosažení vysokého COP, proto je často provozován jako monovalentní. Jako zdroj, vhodný pro využití nízkopotenciálního tepla, můžeme použít podzemní i povrchovou vodu.

### 2.2.1 Podzemní voda

Teplota podzemní vody je stálá a po celý rok se pohybuje v rozmezí 8 – 10 °C v hloubce 10 metrů pod zemí. Z toho se dá předpokládat, že COP bude relativně stálý i během zimních měsíců. COP může dosahovat hodnot mezi 4 – 5 [33]. System se nedá realizovat pouhým vložením výměníku do studny. Pokud by se voda nepohybovala, začala by zamrzat. Z toho důvodu musí proudit a odebírat teplo z okolí. Jak můžeme schematicky vidět na obrázku 2.2, voda se čerpá oběhovým čerpadlem do druhé, tzv. vsakovací studny (B), která musí být vzdálena od zdrojové studny (A) natolik, aby se do ní voda pouze nevracela. Vodní spád proto musí být směrem od zdrojové studny. TČ tedy funguje díky pohybu podzemních vod. Součástí oběhu by měl být také filtr, umístěný mezi čerpací studnou a výměníkem, aby nedocházelo k zanášení TČ.



Obrázek 2.2: TČ využívající podzemní vody [13].

### 2.2.2 Tekoucí, nebo stojatá povrchová voda

Instalace TČ jsou možné i do povrchových vod, jako jsou rybníky, řeky a nádrže. Voda v zemi dosahuje teploty okolo 4 °C, a proto musí být zajištěn vyšší průtok. Jako výměník

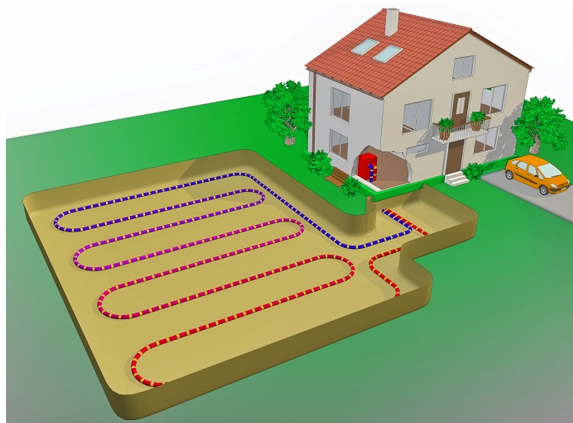
se používá polyethylenová (PE) hadice, která je umístěná na dně a naplněná nemrznoucí směsí. Pokud vodě klesne teplota pod 4 °C, začne docházet k namrzání povrchu a značně se snižuje účinnost [33]. Mezi výhody patří nízká cena, nízké provozní náklady, téměř žádná hlučnost a údržba. Je ale potřeba získat povolení od správce povodí a dodržet ekologické požadavky.

## 2.3 TČ země–voda

Systémy TČ země–voda čerpají sluneční energii akumulovanou v půdě. V našich podmínkách jsou velmi oblíbené. Jednotlivé realizace se liší polohou kolektorů v zemi.

### 2.3.1 Vodorovné zemní kolektory

Kolektory, jimiž jsou PE hadice, se instalují do hloubky asi 1,2 – 1,5 m pod zem, ve vzdálenosti 60 – 80 cm od sebe. Přívodní hadice následně vedou ohřívání médium (nemrznoucí směs) v nezamrznuté hloubce k výměníku TČ umístěného v domě, nad zemským povrchem tedy nemusí být vůbec nic vidět. Sběrná plocha musí být velká, aby se teplo stihlo přes léto akumulovat. Udává se 3–4 krát větší než je velikost vytápěné plochy. Větší plocha znamená vyšší teplotu ohřívání média a tím pádem vyšší COP a výkon TČ. Je to důležité i pro omezení promrzání půdy v okolí kolektorů. Často to má však za následek rozsáhlé výkopové práce a devastaci pozemku [33]. Existuje i varianta instalace tzv. slinek, v terminologii zahraniční literatury. Vzniknou tak, že se kolo PE hadice pouze roztáhne a vzniklá „oka“ hadice se svážou. Podle pozice, podle které jsou vloženy do výkopu, se slinky označují V (vertikální), resp. H (horizontální).

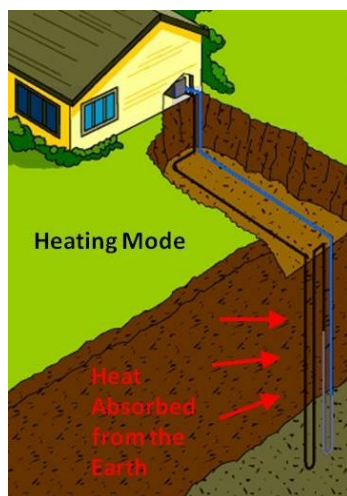


Obrázek 2.3: Vizualizace vodorovného zemního kolektoru [30].

### 2.3.2 Vertikální zemní kolektory

Vertikální kolektor je variantou zcela nenáročnou na prostor. Jde opět o PE hadice (můžou být i měděné trubky) vložené do hloubkového vrtu, který má průměr okolo 15 cm. Zbylé místo je zaplněno plastickou směsí. Teplota v hloubce 10 metrů a hlouběji má celoročně téměř stálou teplotu a průměrný COP je trvale vyšší než 3. Potřebná hloubka vrtu nebo jejich počet závisí na více faktorech, je to složení podloží, množství podzemní vody atd. Na místě je tedy geologický průzkum před začátkem realizace. TČ s vertikálním zemním kolektorem je při správném návrhu schopno pracovat v monovalentním provozu [33]. Kvůli

vrtným pracím je cena oproti vodorovnému kolektoru vyšší. V letních měsících se dá kolektor využít pro klimatizaci při opačném chodu TČ. Teplo je do vrtu „ukládáno“ a dochází k jeho regeneraci – odmražení. Teplo se tak ve vrtu akumuluje na další topnou sezónu [21].



Obrázek 2.4: Vizualizace vertikálního zemního kolektoru [17].

## Kapitola 3

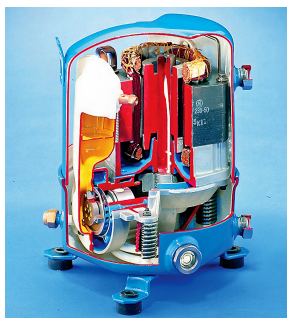
# Komponenty chladicího okruhu TČ

### 3.1 Kompresor

Kompresor se dá považovat za nejdůležitější část TČ. Stlačuje páry chladiva, které se tím zahřívají. Prakticky to probíhá zmenšováním pracovního prostoru, ve kterém jsou páry chladiva uzavřeny. Na jeho kvalitě závisí ekonomika provozu a je nejnákladnější součástí na zařízení. Požadujeme nízkou hlučnost, minimální údržbu, spolehlivost a dlouhodobou životnost. Typy, využívající se v TČ, jsou především pístové a spirálové (scroll) kompresory. Nejčastěji v hermetickém provedení, tj. pohonný motor a kompresor na jedné hřídeli, uzavřeny v jedné nádobě [11].

#### 3.1.1 Pístové kompresory

Pístové kompresory jsou nejstarším typem provedení kompresorů. Píst svým pohybem stlačuje ve válci plyn, který odchází výfukovým ventilem. Princip je stejný jako u spalovacího motoru, jen ventily se otevírají a zavírají samotným tlakem plynu. Negativní vliv na účinnost pístového kompresoru má škodný prostor, tj. prostor mezi pístem v horní úvratí a hlavou válce. Výhodou těchto kompresorů je nižší cena, ale mají vysokou hlučnost a životnost obvykle nepřesahuje 15 let [11]. Ve větší míře jsou dnes nahrazovány jinými typy kompresorů, hlavně typu scroll. Řez pístovým kompresorem můžeme vidět na obrázku 3.1.

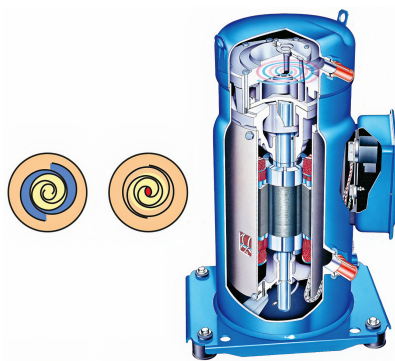


Obrázek 3.1: Řez pístovým kompresorem [23].

#### 3.1.2 Spirálové scroll kompresory

Kompresory typu scroll patří dnes mezi nejpoužívanější a nejoblíbenější. Známe je už od počátku 20. stol., ale kvůli výrobě náročné na přesnost jsou používány až od 80. let. Dosahují

nejlepších výsledků COP, protože eliminují škodný prostor. Nemají klikový mechanismus a méně pohyblivých částí zvyšuje životnost a spolehlivost. Absence ventilů vede ke snížení hlučnosti. Funkce těchto kompresorů je znázorněna na obr. 3.2. Krajními otvory spirály je nasáván studený vzduch (modrá barva) a stlačován směrem ke středu. Stlačování je realizováno pohybem pohyblivé spirály vůči statické (nejedná se o rotační pohyb). Středem vychází stlačený vzduch (červená barva). Aby byla zajištěna funkce, je tyto kompresory potřeba nepřetržitě mazat [23].



Obrázek 3.2: Scroll kompresor [23].

Další generací kompresorů scroll je systém EVI (Economized Vapor Injection) scroll. Jedná se o dvoustupňovou kompresi s možností mezistupňového chlazení. To je provedeno uváděním zchlazených par chladiva přímo do kompresního prostoru, a to pomocí otvorů ve scroll spirále. Tím se omezí výsledná kompresní teplota, což má za následek zvětšení pracovní oblasti kompresoru a zvýšení výkonu [7, 28].

Za nejnovější generaci se dají považovat tzv. Digital Scroll kompresory. Uvedeny do provozu jsou od roku 2000. Jejich výhodou je, že nemusí běžet stále na maximum, umožňují modulaci od 10 – 100 % jmenovitého výkonu podle potřeby. [4]

### 3.1.3 Dvojitý rotační kompresor

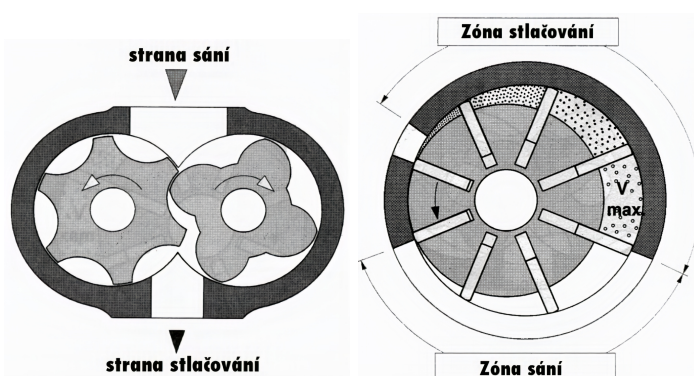
Za vývojem dvojitého rotačního kompresoru stojí japonská firma Toshiba. Kompresor je tvořen dvěma komorami, kde se v protilehlých polohách v každé z nich otáčí vačka. Vačka stlačuje chladivo společně s pohyblivou komorovou přepážkou, která odděluje prostor sání a výtlačku. Konstrukce je výhodná pro vysokou účinnost, kompaktní rozměry a nízkou hlučnost. Výhodou je i malé mechanické namáhání, které má za následek nižší potřebu mazání [28]. Tento kompresor v řezu můžeme vidět na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: Dvojitý rotační kompresor [28].

### 3.1.4 Další typy kompresorů

Mezi další typy můžeme řadit kompresor šroubový a rotační lamelový. První zmíněný obsahuje dva šroubovitě rotory, které se po sobě odvalují. Na obou rotorech je více šroubovitých drah, které do sebe při otáčení přesně zapadají. Tyto rotory jsou s minimální vůlí uloženy do dvou válců (schéma viz obr. 3.4 vpravo). Toto zařízení je obtížné na konstrukci. Je nutná vyjímečně vysoká výrobní přesnost, aby nedocházelo k únikům vzduchu mezi rotorem a válcem, nebo otláčování šroubů. Rotační lamelový kompresor je v principu podobný dvojitému rotačnímu kompresoru. Je tvořen válcovým pístem, který se pohybuje po vnitřním obvodu válcové komory. Okolo něj jsou uloženy ocelové lamely v podélných drážkách. Tyto lamely díky vysunutí odstředivou silou tvoří jednotlivé komory, které při rotaci zmenšují svůj objem a vzduch je stlačován (schématicky znázorněno na obrázku 3.4 vpravo). Vzduch vstupuje do komor přes sací filtr a sací regulátor [24].



Obrázek 3.4: Řez šroubovým kompresorem (vlevo) a lamelovým kompresorem (vpravo) [24].

## 3.2 Kondenzátor

Kondenzátor je výměník tepla, který musí snášet velké tlakové rozdíly. Na jedné straně vstupuje chladivo ve formě mírně přehřátých par, ochlazuje se, kondenzuje a poté zkapalněné vytéká. Na druhé straně se při průtoku ohřívá otopná voda. Tlak vody je běžně do 3 barů, tlak chladiva záleží na konkrétní použité směsi (řádově v desítkách barů). Při použití CO<sub>2</sub> jako chladiva tlak může přesahovat i 100 barů [29].

### 3.2.1 Deskový kondenzátor

Deskový kondenzátor je sestaven z nerezových desek opatřených vlnitými kanálky, ve kterých proti sobě proudí chladivo a voda a předávají si teplo podle 2. TDZ. Jako pájecí materiál mezi deskami bývá nejčastěji použita měď, v případě pracovní látky korodující s mědí se používá nikl nebo nerezová ocel [23]. Výhodou tohoto typu jsou kompaktní rozměry, vysoký přenášený výkon, jednoduchá montáž a dobrá odolnost i za vysokého tlaku. Pájené spoje nejsou rizikové na únik kapalin. Nevýhodou jsou tlakové ztráty a vyšší cena. Malé mezery mezi deskami mohou být zanášeny a jejich případné čištění je obtížné [33]. V TČ se pro své výhody i tak velice často používají. Na obrázku 3.5 je deskový kondenzátor BPHE (Brazed Plate Heat Exchanger) firmy SWEP. Existují i deskové kondenzátory v rozebíratelném provedení, ty se dají čistit, ale jsou kladeny požadavky na kvalitní těsnění.



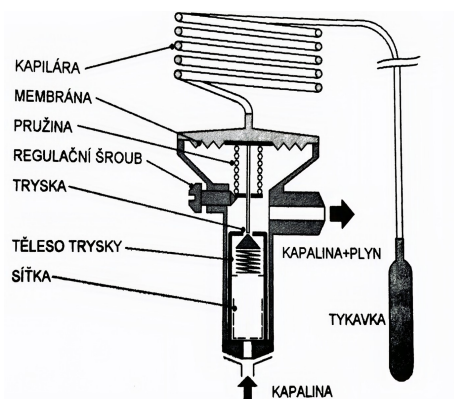
Obrázek 3.5: Deskový kondenzátor BPHE [23].

### 3.3 Expanzní ventil

Expanzní ventil (dále jen EV) tvoří hranici, přes kterou chladivo proudí z vysokotlaké části do nízkotlaké. Jeho smyslem je vstříkávání kapalného chladiva tryskou do výparníku, čímž reguluje přehřátí chladiva v oběhu před vstupem do kompresoru. EV se vyrábí v mechanickém, nebo elektronickém provedení.

#### 3.3.1 Termostatický expanzní ventil (TEV)

TEV pracuje pouze na mechanickém principu. Důležitou částí je teplotní čidlo, tzv. tykavka. Je to nádobka naplněná vhodnou látkou, která při zahřátí zvětší svůj objem a tlačí na membránu ventilu. Ta přes pružinu reguluje průtok chladiva tryskou. Tykavka se připojuje ke trubce vedoucí z výparníku v místě, kde bude dobře spojena s potrubím a nebude ji tepelně ovlivňovat okolní vzduch. Když se bude zvyšovat teplota chladiva, ventil se bude otevírat a opačně. Části jsou popsány obrázkem 3.6 [33].



Obrázek 3.6: Schéma termostatického expanzního ventilu [33].

#### 3.3.2 Elektronický expanzní ventil (EEV)

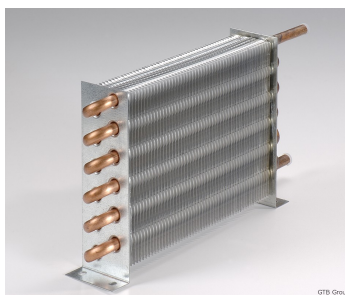
EEV umožňuje přesnější regulaci vstříkávání chladiva do výparníku a tím pádem dosažení vyššího COP než TEV. Před vstupem do kompresoru je nutné vždy mít chladivo ve stavu přehřáté páry. EEV dokáže citlivěji rozpoznat teplotu přehřátí než TEV, což je spojeno s nižší spotřebou kompresoru. Řízení je zpravidla už nastaveno z výroby a bezpečnostní důvody neumožňují jeho další úpravy [27].

## 3.4 Výparník

Výparník je podobně jako kondenzátor výměník tepla, který se nachází v nízkotlaké oblasti TČ. Odebrané teplo je předáváno zchlazenému chladivu, které se odpařuje. Regulaci průtoku zajišťuje expanzní ventil (viz kapitola 3.3). Látka předávající teplo je vzduch (TČ vzduch–voda), voda (voda–voda), nebo nemrznoucí směs (země–voda).

### 3.4.1 Lamelový výparník

Lamelové výparníky se používají v systémech vzduch–voda. Chladivo proudí měděnými trubkami, které jsou obvykle doplněny hliníkovými lamelami ke zvětšení plochy přenosu tepla. Vzduch je přes výparník proháněn ventilátorem. Na vstupu za expanzním ventilem musí být instalován rozdělovač vstřikovaného chladiva, abychom zajistili rovnoměrné vstřikování.



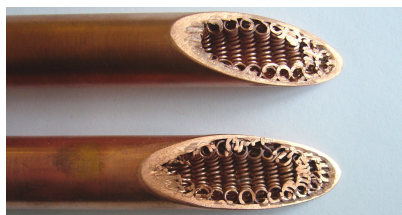
Obrázek 3.7: Lamelový výměník vzduch–chladiivo [10].

### 3.4.2 Deskový výparník

Deskové a trubkové výparníky se používají v systémech voda–voda. Princip deskového výparníku je téměř identický jako princip deskového kondenzátoru a je popsán v podkapitole 3.2.1. Výparník pracuje za nižších tlaků a má zpravidla větší rozměry.

### 3.4.3 Trubkový výparník

Trubkový výměník je obvykle složen z větší nádoby, do které je vložena svinutá trubka (svazek trubek) do spirály, aby bylo využito více plochy na přenos tepla. V trubce obvykle proudí chladivo a okolo ní voda. Výhodou trubkového výměníku je možnost využití i poměrně málo čistých vod díky snadnému čištění. Další variantou je pouze jedna vystředěná žebrovaná trubka uvnitř větší nádoby [33]. Česká firma Spirála vyvinula vlastní výparník, měděnou trubku, do které jsou napájené spirálky z měděných drátků pro zvětšení teplosměrné plochy (viz obr. 3.8).



Obrázek 3.8: Detail trubkového výparníku TČ Spirála [22].

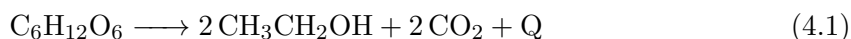
## Kapitola 4

# Návrh TČ pro chladicí zařízení

### 4.1 Chladicí zařízení pro řízené kvašení

#### 4.1.1 Fermentace vína a podstata chlazení

Kvašení (fermentace) vinného moštu je proces známý už lidem žijícím tisíce let před Kristem. Výroba vína se v tehdejší době dá těžko považovat za řízenou, protože lidé pili prakticky jen nakvašenou hroznovou šťávu. Zásahu o rozšíření vína do Evropy a zdokonalení technologie mají staří Řekové, kteří z vína udělali součást kultury antické doby. Víno na jižní Moravě je spjato až s X. římskou legií císaře Marca Aurelia, která zde sídlila ve druhé polovině druhého století po Kristu [31]. Aby výsledné víno mělo svou kvalitu, samotnému kvašení vinného moštu předchází sběr vyzrálých hroznů a odstopkování (tj. oddělení třapin od bobulí). Dále se to liší podle druhu vína. Při výrobě bílého vína následuje macerace, vylisování bobulí a odkalení vylisované šťávy. Dříve se kvasný proces nechával odehrát čistě přírodní cestou a i dnes se toho někteří tradiční vinaři drží. Moderní fermentace vína však bývá uskutečňována a řízena dodanými kvasinkami, které mají vliv na složení a výslednou chuť vína. Na českém trhu je již mnoho známých výrobců kvasinek, a tak si má vinař možnost vybrat a předem přibližně určit výslednou podobu vína. Z chemického hlediska je fermentace vína anaerobní přeměna sacharidů (glukóza, fruktóza) na etanol a oxid uhličitý. Řídí se podle rovnice alkoholového kvašení 4.1, kde  $Q$  je uvolněné kvasné teplo [15].



Bílá vína kvasí při nízkých teplotách mezi 14–18 °C. Uvolňované teplo by mělo za následek odumírání kvasinek, nebo ztráty aromatických složek vína, a proto je potřeba proces ochlazovat. Chladicí zařízení bývá realizováno podle nádoby, ve které fermentace probíhá. Červená vína se macerují i kvasí ve stavu vinného rmutu, tedy v podobě podrcených bobulí. Z těch jsou extrahovány látky charakteristické pro červená vína (např. třísloviny) a dostatek barvy, kterou červená vína vyžadují. Kvas probíhá v nerezových tancích – vinifikátorech, které jsou opatřeny mechanismem sloužícím k promíchávání rmutu. Červená vína nejsou potřeba při kvasu chladit, ale naopak ohřívat. Teplota kvasu by ve vrcholné fázi měla dosahovat až 30 °C [15], aby výsledná vína byla vhodná pro dlouhodobější uchovávání a vyzrávání.

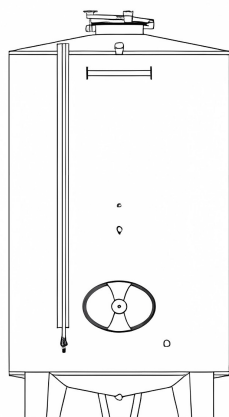
#### 4.1.2 Popis chladicího zařízení

Tradiční dřevěné sudy bývají chlazeny trubkovým výměníkem v podobě nerezového vlnovce, který je vložen do horního otvoru sudu (viz obrázek 4.1), a teplo moštu odebírá proudící chladivo. Vzhledem k malým objemům sudů (řádově stovky litrů) je tento způsob chlazení dostačující. V menších sudech dokonce chlazení není potřeba, protože kvas nedokáže vyprodukovat dostatek tepla pro smrt kvasinek.



Obrázek 4.1: Chlazení dřevěných sudů [19].

V nerezových tancích, ve kterých je mnohem větší objem vína (řádově i tisíce litrů), je chlazení realizováno zpravidla dvojitým pláštěm, nebo deskovým výměníkem.



Obrázek 4.2: Nerezový tank firmy Wottle s chladicím pláštěm [32].

V této bakalářské práci se nebudu zabývat konkrétní realizací chladicího výměníku, ale návrhem TČ pro chlazení. Vinný mošt bude kvasit v nerezovém tanku. Konkrétně se jedná o tank rakouské firmy Wottle (viz obr. 4.2 o parametrech dle tabulky 4.1). Stálou výměnu tepla zajišťuje chladicí plášť, který je na tank z výroby navařen a zkonstruován podle výrobce.

Tabulka 4.1: Parametry tanku z katalogu Wottle [32].

objem	5000 l
výška	3100 mm
průměr nádoby	1580 mm

## 4.2 Zadání pro návrh TČ

Pro aplikaci chlazení vinného moštu bude navrženo TČ následujících parametrů:

- kompresorový typ vzduch–voda
- chladicí výkon 5 kW
- kompaktní rozměry
- možnost reverzace chodu – chlazení/ohřev
- spolehlivost, co nejvyšší účinnost

TČ bude v provozu především na konci léta a na podzim. Teploty vzduchu, kdy pojede TČ na plný výkon, jsou podle teplot naměřených v meteorologické stanici Brno-Židenice brány v rozmezí  $0\text{ °C} - 25\text{ °C}$ <sup>1</sup>. Na druhé straně teplota chladicího média vedoucího do pláště nerezového tanku bude v případě chlazení v rozmezí  $-4\text{ °C} - 10\text{ °C}$  a v případě ohřevu  $30\text{ °C} - 40\text{ °C}$ . Aby mohlo být TČ provozováno jak pro chlazení, tak pro ohřev i v extrémních podmínkách, jsou teploty vypařování ( $T_v$ ) a kondenzace ( $T_k$ ) pro výpočet zvoleny následovně:

$$\begin{aligned}T_v &= -5\text{ °C} , \\T_k &= 45\text{ °C} .\end{aligned}$$

## 4.3 Chladivo

Chladivo TČ bude ze skupiny HC, tj. přírodních uhlovodíků a jejich směsí. Jedná se konkrétně o čistý propan s označením R290. Je to především ekologické chladivo splňující nejnovější limity. Nemá škodlivý vliv na ozónovou vrstvu, koeficient ODP (Ozone Depletion Potential), je 0,00. Jedná se o relativní číslo vztaženo k hodnotě ODP freonu R11, která je stanovena jako 1 [33]. Dalším důležitým koeficientem je GWP (Global Warming Potential). Ten udává, jak moc stejná hmotnost chladiva přispívá ke globálnímu oteplování vzhledem k CO<sub>2</sub> (GWP CO<sub>2</sub> je 1). R290 má GWP 3. Chladivo R290 je hořlavé a ve směsi se vzduchem je výbušné. Zápalná teplota činí asi 510 °C, která nesmí být překročena [33].

Podle normy ČSN EN 378-1+A1 se maximální množství náplně chladiva R290 počítá podle vztahu:

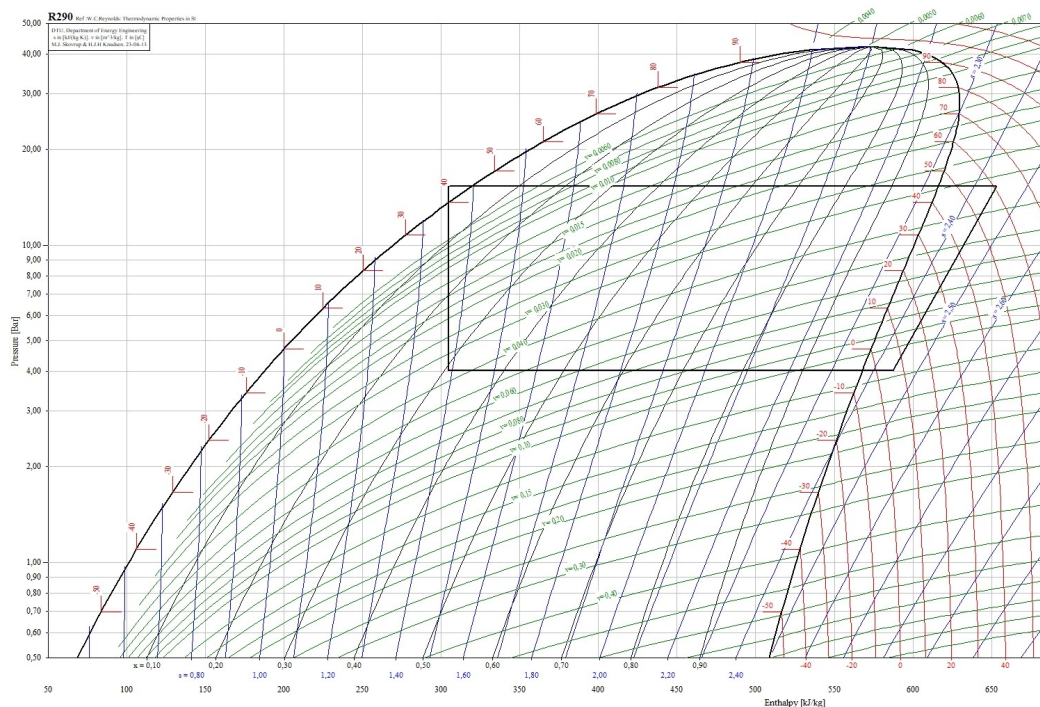
$$m_3 = 130\text{ m}^3 \cdot LFL, \tag{4.2}$$

kde  $m_3$  je dovolené maximální množství náplně v kg a  $LFL$  je dolní mez hořlavosti (lower flammable limit),  $LFL_{R290} = 0,038\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Maximální množství chladiva dané normou bude:

$$m_3 = 130 \cdot 0.038 = 4,94\text{ kg}.$$

Pracovní cyklus chladiva R290 v p–h diagramu je na obrázku 4.3. Byl vytvořen ve volně dostupném programu Coolpack.

<sup>1</sup><http://www.meteo.jankovic.cz/zaznamy/rok-2022/>



Obrázek 4.3: Cyklus chladiva R290 v p-h diagramu, vytvořeno v programu Coolpack.

## 4.4 Návrh jednotlivých komponent

Při navrhování jsem přistoupil k využití moderních, volně dostupných programů od nejznámějších firem, které se danou problematikou zabývají. Pro analýzu chladicích cyklů byl využit již dříve zmíněný program Coolpack. K návrhu kompresoru byl použit program Select 8, kde je možno na základě vložených údajů vybrat vhodný kompresor typu scroll od firmy Copeland. Pro návrh výměníků byl využit program Swep SSP G8 a pro návrh komponent kapalinového potrubí program Coolsector 2 od firmy Danfoss.

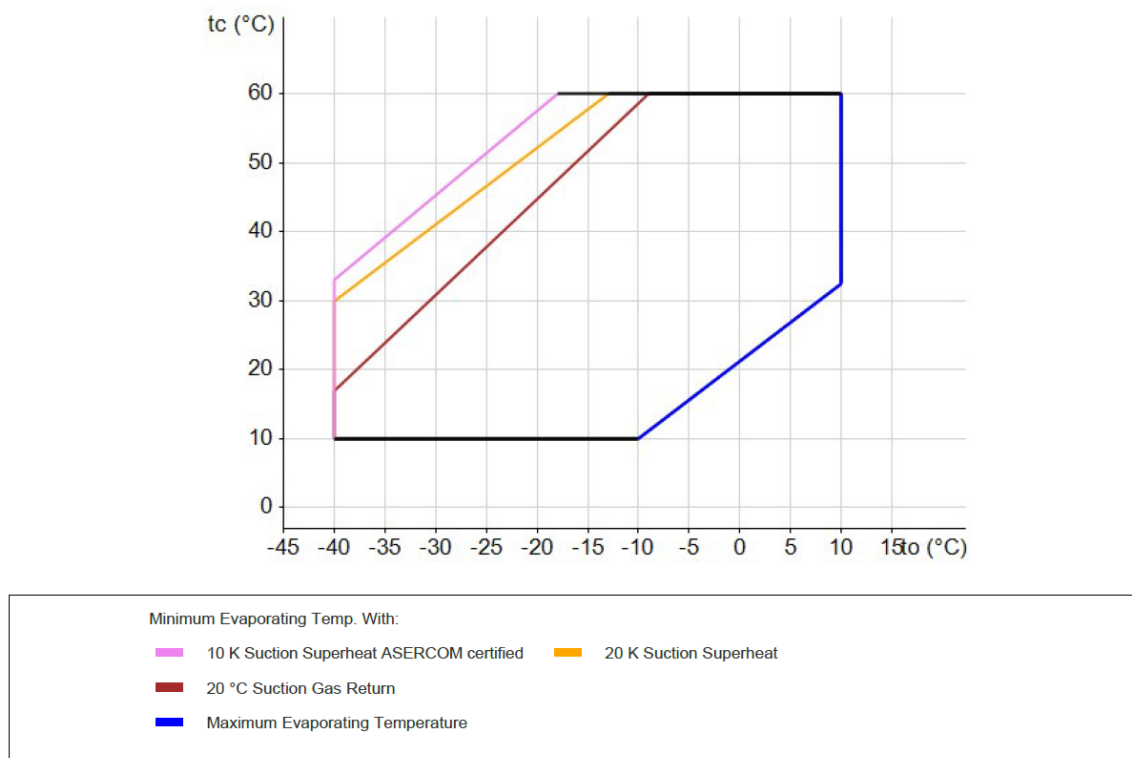
### 4.4.1 Kompresor

Kompresor se volí podle potřebného výkonu a použitého chladiva. V programu Select 8 byl konkrétně zvolen model ZB17KCU-TFMN. Technické parametry pro konkrétní provozní bod jsou shrnuty v tabulce 4.2.

Tabulka 4.2: Parametry kompresoru při teplotách -5 °C/45 °C.

Chladicí výkon	4,97 kW
Topný výkon	6,60 kW
Příkon	1,70 kW
COP	2,91
Průtok	17,75 g/s
Tlak na sání	4,06 bar
Tlak na výtlačku	15,34 bar
Izoentropická účinnost	68,41 %

Přehřátí před vstupem do kompresoru je navrženo na 11 K, aby bylo zamezeno případnému vniknutí kapalné fáze. Tuto hodnotu udává sám výrobce. Dle dokumentace se jedná o plně hermetický kompresor omezující únik chladiva, z výroby je naplněn olejem vhodným pro provoz chladiva R290, konkrétně se jedná o olej POE Hatcol 4467. Kompresor splňuje podmínky ATEX II, což jsou směrnice o prodeji zařízení a ochranných systémů určených k použití v prostředí s nebezpečím výbuchu a jejich uvádění do provozu (nutné při použití chladiva R290). Operační teploty znázorněny na obrázku 4.4 [5].



Obrázek 4.4: Operační teploty kompresoru B17KCU-TFMN, vytvořeno pomocí programu Select 8.

#### 4.4.2 Výměník chladivo R290–nemrznoucí směs

K návrhu výměníku byl použit program firmy Swep SSP G8. V režimu chlazení se na jedné straně vypařuje chladivo R290, na druhé straně proudí nemrznoucí kapalina pro chlazení nerezového tanku. Nemrznoucí kapalina je ve složení ethylen glykol–voda, kde ethylen glykolu je asi 30 %. Výměník byl v programu navržen dle zadaného průtoku, který je daný kompresorem, vstupních teplot a jednotlivých médií. Přehřátí je nastaveno na 11 K. Program automaticky srovná jednotlivé vyhovující produkty podle ceny (viz obrázek 4.5 – PFRating). Vykřičníky (na obrázku vlevo) symbolizují určitá rizika při použití konkrétního modelu, např. velké množství desek, nevhodné provozní tlaky atd. Podle doporučení byl následně zvolen výměník s označením B85x22.

	BPHE	A	m <sup>2</sup>	DP1	kPa	DP2	kPa	OS	%	Weight	kg	PFRating	▼
△	B25Tx22	1.26	6.87	1.8	0	4,95 - 7,81							
	B85x22	1.2	6.34	2.37	6	4,27 - 5,1							
	B80ASx22	1.2	5.92	1.04	0	5,7 - 6,36							
△	B20x48	1.29	3.86	1.84	0	4,43							
△	V25Tx22	1.26	6.75	1.8	0	6,69 - 8,47							
△	F85x22	1.2	6.28	2.37	6	4,55 - 5,37							
	B86x30	1.68	6.4	2.65	30	6,19							

Obrázek 4.5: Navržené výměníky dle aplikace SSP G8.

Jednotlivé parametry zvoleného výměníku jsou shrnuty v tabulce 4.3. Chladicímu výkonu 5 kW výměník z daných podmínek odpovídá.

Tabulka 4.3: Parametry výměníku B85x22.

Technické zadání	strana 1	strana 2
Médium	R290	Ethylenglykol–voda
Výkon	4,985 kW	
Vstupní teplota	-3,55 °C	10 °C
Výstupní teplota	6 °C	-4 °C
Průtočné množství	17,75 g/s	98,9 g/s
Teplosměrná plocha	0,264 m <sup>2</sup>	
Počet desek	22	

#### 4.4.3 Výměník chladivo R290–vzduch

Na jedné straně výměníku proudí chladivo R290 a na druhé straně je ventilátorem vháněn venkovní vzduch. Tento výměník bude lamelový (realizace viz kapitola 3.4.1). Předmětem bakalářské práce není konkrétní návrh lamelového výměníku, a tak po konzultaci s vedoucím práce bude stanoven jen jeho výkon. Ke stanovení byl také použit program Swep SSP G8. Průtok chladiva výměníkem je dán kompresorem. Před výměník bude instalován rozdělovač chladiva. Je to kuželové těleso s jedním vstupem a určitým počtem výstupů (obvykle 2,4,8). Slouží k zajištění rovnoměrné distribuce chladiva do jednotlivých trubek výměníku. Instaluje se ve svislé poloze, aby byl využit vliv gravitace. Všechny vývody musí být stejně dlouhé [33].

Tabulka 4.4: Parametry výměníku R290–vzduch.

Technické zadání	strana 1 – R290
Výkon	6,46 kW
Kondenzační teplota	45 °C
Výstupní teplota	40 °C
Průtočné množství	17,75 g/s

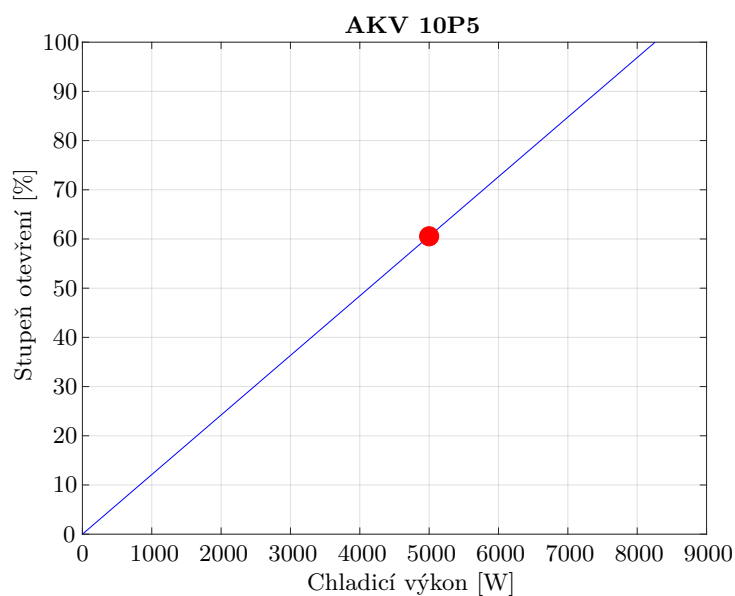
#### 4.4.4 Expanzní ventil

Pro návrh EV byl použit program Coolsector 2. Expanzní ventil bude elektronický (EEV). Podle parametrů výkonu, teploty vypařování, teploty kondenzace a hmotnostního průtoku byl vybrán EEV AKV 10P5.









Obrázek 4.6: EEV Danfoss AKV 10P5 [3].

Tento EEV je pro požadovaný výkon 5kW vhodný a má prostor i pro velké odchylky od předpokládaného výkonu. Závislost chladicího výkonu na otevření ventilu je vidět v grafu 4.7. Maximální výkon je 8,258 kW a EEV by se neměl provozovat pod výkon 826 W. To je hranice, pod kterou je EEV otevřen méně než z 10 % a dochází k nestabilitě.



Obrázek 4.7: Graf závislosti chladicího výkonu na stupni otevření ventilu.

Program Coolsector 2 byl použit i pro návrh dalších částí TČ. Přehled komponent kapalinového potrubí včetně místních tlakových ztrát lze vidět na obrázku 4.8. V pořadí, ve kterém budou komponenty umístěny v okruhu, jsou to zpětný ventil (NRV 10 v2), filtrdehydrátor (DCL 053/053s), elektromagnetický ventil (EVUL 4), průhledítko (SGP 10s) a expanzní ventil (AKV 10P5). Schéma celého okruhu se nachází v sekci 4.5. Program Coolsector 2 byl dále použit pro návrh čtyřcestného ventilu a presostatů.

						
	NRV 10 v2	DCL 053/053s	EVUL 4	SGP 10s	AKV 10P5	
<b>Tlaková ztráta -</b>	0%	0%	0%	0%	99%	<b>Celkem</b>
<b>Max. výkon [W]:</b>	-	-	-	-	8225	
<b>Min. výkon [W]:</b>	-	-	-	-	823	
<b>Zatížení [%]:</b>	-	-	-	-	61	
<b>DP [Pa]:</b>	4874	453,6	3506	282,9	1116000	1125000
<b>DT_sat [K]:</b>	0,1	0,0	0,1	0,0	49,7	50,0
<b>Rychlost proudění</b>	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	

Obrázek 4.8: Součásti kapalinového potrubí.

#### 4.4.5 Filtrdehydrátor

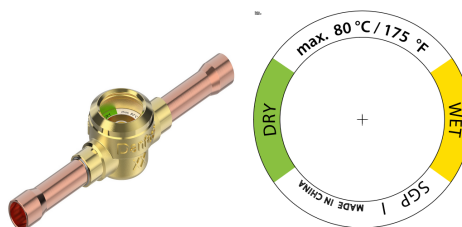
Filtrdehydrátor v okruhu slouží k pohlcování zbytkové vlhkosti a drobných pevných částic. Postačí pro tento případ použít filtrdehydrátor pro jednosměrný provoz, zapojení bude realizováno s použitím zpětných ventilů [33]. Vstupní údaje pro výběr filtrdehydrátoru byly výkon chladicího okruhu, teploty vypařování, kondenzace a rychlost proudění v kapalinovém potrubí. Zvolen byl konkrétně model DCL053/053s.



Obrázek 4.9: Filtrdehydrátor Danfoss DCL 053/053s [3].

#### 4.4.6 Průhledítka

Pomocí průhledítka se dá sledovat tok kapaliny v okruhu. Má v sobě zabudovaný indikátor vlhkosti na základě barvy (viz obr. 4.10). Vstupní údaje pro výběr průhledítka byly stejné, jako v případě volby filtrdehydrátoru. Vybrané bylo průhledítko SGP 10s I.



Obrázek 4.10: Průhledítka Danfoss SGP 10s I (vlevo), indikátor vlhkosti (vpravo) [3].

#### 4.4.7 Zpětný ventil

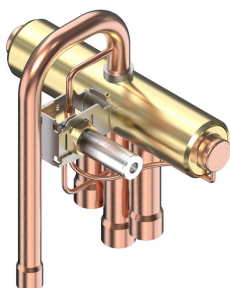
Zpětný ventil slouží k propouštění kapalného chladiva pouze v jednom směru. Byl zvolen ventil Danfoss NRV 10 v2.



Obrázek 4.11: Zpětný ventil Danfoss NRV 10 v2 [3].

#### 4.4.8 Čtyřcestný ventil

Čtyřcestný ventil slouží ke změně režimu chlazení/ohřev. Funguje to tak, že umožňuje dva způsoby propojení větví, přičemž se změní směr proudění chladiva v okruhu. Volí se na základě výkonu a použitého chladiva. Společnost Danfoss má širokou modelovou řadu, kde jsou jednotlivé modely znázorněny v grafu podle výkonu. V tomto případě jsem zvolil model STF-H0167.



Obrázek 4.12: Čtyřcestný ventil Danfoss STF-H0167 [3].

#### 4.4.9 Elektromagnetický ventil

Elektromagnetický ventil se umísťuje do kapalinového potrubí před EEV a slouží jako uzávěr, pokud je odstaven kompresor. Použit bude model EVUL 4.



Obrázek 4.13: Elektromagnetický ventil Danfoss EVUL 4 [3].

#### 4.4.10 Presostat

Presostaty jsou nastavitelné tlakové spínače, které v poruchovém stavu vypnou kompresor. Vysokotlaký presostat je umístěn na ventilu za kompresorem. Aktivuje se tehdy, když se zvýší tlak v potrubí, např. když je přerušen odvod tepla z kondenzátoru. Je zvolen model Danfoss KP 1E. Nízkotlaký presostat je umístěn na ventil před kompresor. Kontroluje pokles

tlaku na primární straně, který je zaviněn poklesem teploty chladiva. Může se to stát např. při poruše EEV, nebo při úniku chladiva [33]. Je zvolen model Danfoss KP 7EW.



Obrázek 4.14: Presostat Danfoss KP 1E [3].

#### 4.4.11 Sběrač kapalného chladiva

Sběrač kapalného chladiva má za úkol udržovat dostatečné množství chladiva v okruhu a pokud se v chladivu nachází bublinky páry, tak je oddělit dříve, než se dostanou do EV. Sběrač by měl být navržen tak, aby všechno chladivo v oběhu nenaplnilo sběrač do plna. Pro servisní účely se musí dát chladivo do sběrače zcela uzavřít [33]. Zvolen je sběrač firmy Frigomec o objemu 3,4 l.



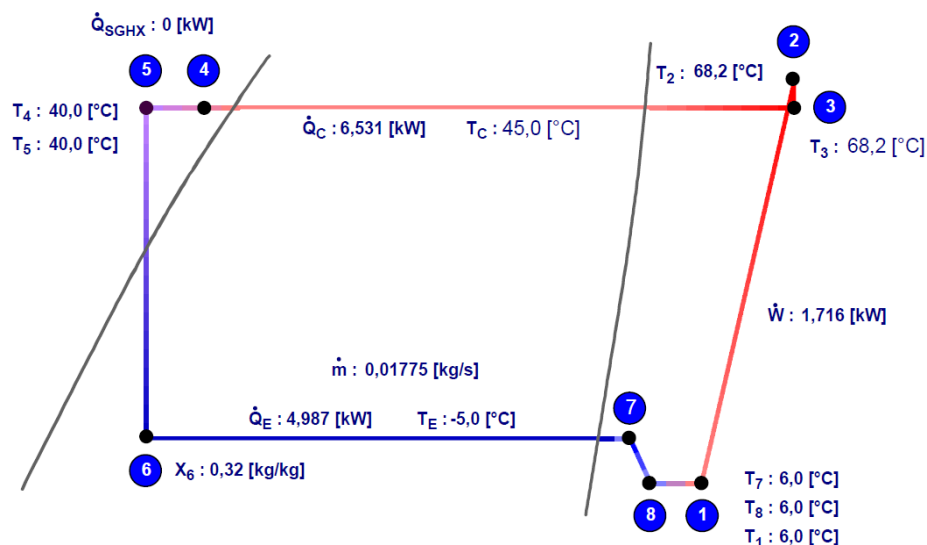
Obrázek 4.15: Sběrač chladiva Frigomec [6].

#### 4.4.12 Odlučovač kapalného chladiva

Odlučovače se využívají právě u TČ s reverzací chodu. Slouží jako ochrana proti vniknutí kapalné složky chladiva do kompresoru. Bude použit odlučovač od firmy Alco a bude ve svislé poloze umístěn před sání kompresoru. Je nutné vyvarovat se přenosu vibrací, v případě potřeby jako ochranu mezi odlučovač a kompresor použít pružný člen.

#### 4.4.13 Návrh potrubí

K návrhu potrubí byl použit program Coolpack, který umožňuje simulovat daný chladicí cyklus. Vstupem jsou teploty vypařování ( $T_E$ ) a kondenzace ( $T_C$ ), hmotnostní průtok ( $m$ ), přehřátí a podchlazení. Isoentropická účinnost kompresoru je dána výrobcem, ztrátový součinitel kompresoru (tzv. heat loss factor) je uvažován 10 %. Výstupem je schéma cyklu znázorněno v p-h diagramu (viz obr. 4.16).



Obrázek 4.16: Cyklus v p–h diagramu z programu Coolpack.

Přímo z cyklu lze v aplikaci vygenerovat doporučené vnitřní průměry potrubí pro určitou rychlosti. Podle toho jsou následně zvoleny měděné trubky, které už jsou uvedeny ve formátu, ve kterém se běžně prodávají, tj. „vnější průměr x tloušťka“.

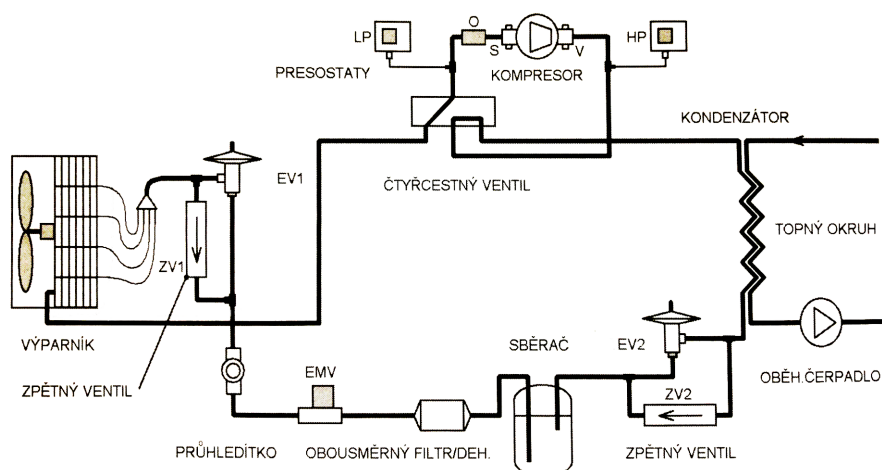
Tabulka 4.5: Dimenzování potrubí.

Sekce potrubí	Rychlost proudění	Návrh vnitřního průměru	Zvolená trubka
Sací	8 m/s	18,3 mm	Cu 22x1 mm
Výtlačná	12 m/s	8,1 mm	Cu 10x1 mm
Vedoucí kapalinu	0,76 m/s	8,0 mm	Cu 10x1 mm

## 4.5 Zapojení TČ

### 4.5.1 Režim ohřevu

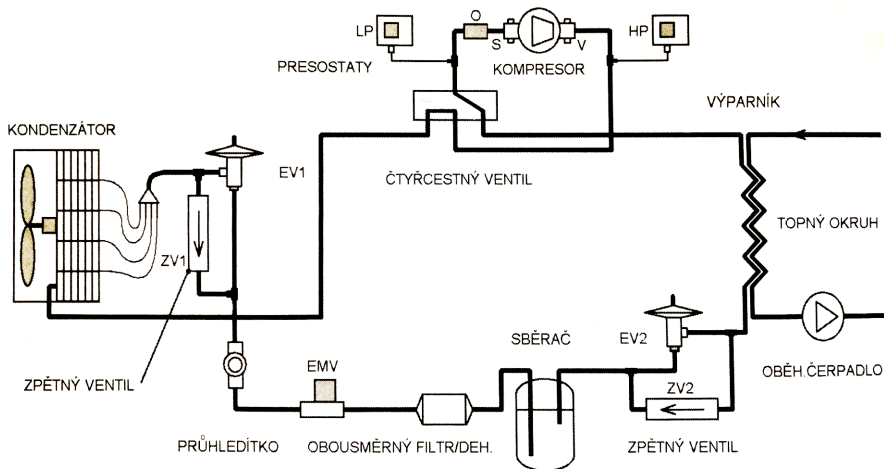
Pokud TČ pracuje v režimu ohřevu, je zapojeno jako na obr. 4.17. Na sání kompresoru se nachází nízkotlaký presostat (LP) a odlučovač kapalného chladiva (O). Na výtlak za kompresor je umístěn vysokotlaký presostat (HP). Následně mezi dvěma výměníky (oba umožňují plnit funkci kondenzátoru i výparníku) jsou umístěny dva EEV (EV1, EV2), vždy paralelně zapojeny se zpětným ventilem (ZV1, ZV2), aby se chod dal reverzovat a v provozu byl vždy pouze jeden. V tomto případě EV 1. V kapalinovém potrubí jsou umístěny sběrač kapalného chladiva, filtrdehydrátor, elektromagnetický uzavírací ventil (EMV) a průhledítko. Před výparníkem se nachází rozdělovač kapalného chladiva, který slouží k distribuci do jednotlivých trubek výparníku. Čtyřcestný ventil propojuje větve jdoucí z kompresoru a jednotlivých výměníků.



Obrázek 4.17: Schéma TČ v režimu ohřevu [33].

#### 4.5.2 Režim chlazení

V režimu chlazení se jedná o podobné zapojení jako v případě ohřevu. Čtyřcestný ventil zde propojuje jednotlivé větve tak, aby byl změněn směr proudění chladiva v okruhu. Výparník se stává kondenzátorem a obráceně. Všechny zbylé komponenty plní původní funkci, jen namísto EV1 pracuje EV2.



Obrázek 4.18: Schéma TČ v režimu chlazení [33].

#### 4.6 COP

Koeficient COP se neustále mění a bude vypočítán jen pro jeden konkrétní provozní bod, ke kterému je proveden celý návrh. Aby byly dodrženy stejné indexy, jako v grafu 4.16, pro chlazení platí rovnice 4.3. Celkový příkon je ve výpočtu omezen pouze na příkon kompresoru, který udává výrobce (viz tabulka 4.2).

$$COP_C = \frac{Q_E}{P_c} = \frac{4987}{1700} = 2,93 [-] \quad (4.3)$$

Pokud bude TČ v režimu ohřevu, přičemž teploty vypařování a kondenzace budou brány pro stejný provozní bod jako v případě chlazení, bude platit rovnice 4.4.

$$COP_H = \frac{Q_c}{P_c} = \frac{6531}{1700} = 3,84 [-] \quad (4.4)$$

# Závěr

Hlavní cíle práce byly popsat princip TČ a přehled používaných typů. Tomu jsou věnovány kapitoly 1, 2 a 3. Z rešeršní části potom vychází návrh TČ pro chladicí zařízení, využitého při řízeném kvašení vína (kap. 4).

Nejprve bylo nutné zvolit provozní podmínky návrhu. Teploty vypařování a kondenzace byly stanoveny tak, aby potřebný výkon byl zachován i za extrémních podmínek, tj. nejchladnějších dnů v případě ohřívání a obráceně. Jako chladivo byl použit ekologicky šetrný propan s označením R290, který je do menších systémů vhodný. Na základě těchto informací byly v jednotlivých programech navrženy komponenty okruhu. V programu Select 8 to byl kompresor, který udává určitý hmotnostní průtok okruhu. V návaznosti na to byly navrženy parametry výměníků v programu SSP G8. K návrhu většiny zbylých komponent okruhu byl použit program Coolsector 2. Posledním použitým softwarem byl Coolpack, který posloužil k analýze cyklu a návrhu potrubí. Používání těchto softwarů v praxi bylo velmi intuitivní a efektivní.

V závěru práce jsou uvedena schémata zapojení TČ v obou režimech chlazení/ohřev a výpočet COP pro již dříve definované provozní podmínky. Chladicí faktor dosahuje hodnoty 2,93 a topný faktor má pro stejný provozní bod hodnotu 3,84.

Práci vnímám jako přínosnou pro zatím poměrně málo rozšířenou technologii chlazení kvasu. Provést realizaci v praxi však skrývá mnoho výzev, na které bych v budoucnu rád navázal. Prostor pro zdokonalení systému je v přesném návrhu výměníků a celkové optimalizaci pro maximalizaci COP.

# Literatura

- [1] AUTOMATIC HEATING GLOBAL PTY LTD. *History of Heat Pumps* [online]. Automatic Heating, 2023 [cit. 2022-10-11]. Dostupné z: <https://www.automaticheating.com.au/complete-guide-to-heat-pumps/history-of-heat-pumps/>.
- [2] CALEFFI NORTH AMERICA, INC. *Air-to-Water Heat Pump Systems* [online]. idronics, 2020 [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://idronics.caleffi.com/magazine/27-air-water-heat-pump-systems>.
- [3] DANFOSS. *Climate Solutions pro chlazení* [online]. 2023 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://store.danfoss.com/cz/cs/Climate-Solutions-pro-chlazen%C3%AD/c/2000>.
- [4] EMERSON ELECTRIC CO. *Copeland™ scroll digital compressors* [online]. Emerson, 2023 [cit. 2022-01-26]. Dostupné z: <https://climate.emerson.com/en-us/products/heating-and-air-conditioning/commercial-scroll-compressors/modulating-compressors/digital>.
- [5] EMERSON CLIMATE TECHNOLOGIES, INC. *Product Guide 2015 for propane applications* [online]. 2015 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.alfaco.cz/doku/propan-emerson.pdf>.
- [6] SINOP CB A.S. *Zásobníky chladiva FRIGOMECC* [online]. 2023 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.esinop.cz/zasobniky-chladiva-frigomec>.
- [7] POSPÍŠIL, L. *Aplikace kompresorů scroll s EVI systémem* [online]. JDK, spol. s r.o., 2011 [cit. 2022-01-26]. Dostupné z: [https://www.jdk.cz/sites/default/files/ftp/ar\\_articles/AR007\\_CZ\\_Aplikace%20scroll%20EVI\\_R1.pdf](https://www.jdk.cz/sites/default/files/ftp/ar_articles/AR007_CZ_Aplikace%20scroll%20EVI_R1.pdf).
- [8] AC & HS, s.r.o. *Chladiva poškozující ozonovou vrstvu* [online]. AC & HS, 2018 [cit. 2022-10-13]. Dostupné z: <https://achs.cz/rady-klimatizace/chladiva-poskozujici-ozonovou-vrstvu/>.
- [9] GREENER LIVING LTD. *The history of the Air Source Heat Pump* [online]. Greener Living, 2023 [cit. 2022-10-11]. Dostupné z: <https://greenerliving.co.uk/the-history-of-the-air-source-heat-pump/>.
- [10] GTB GROUP. *Výparníky* [online]. GTB group, 2022 [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://www.gtbgroup.cz/cz/coils/produkty/vyparniky.html>.
- [11] HOT-ENERGY S.R.O. *O kompresorech* [online]. hotenergy, 2021 [cit. 2022-01-24]. Dostupné z: <https://hotenergy.cz/tepelna-cerpadla/o-kompresorech/>.

- [12] JANČÍK, L. Hybridní tepelná čerpadla. In: Konference studentské tvůrčí činnosti. [online]. Fakulta strojní ČVUT v Praze, 2007 [cit. 2022-01-21]. Dostupné z: [https://www.stc.fs.cvut.cz/history/2007/sbornik/Papers/DP/Jancik\\_Ludek\\_12116.pdf](https://www.stc.fs.cvut.cz/history/2007/sbornik/Papers/DP/Jancik_Ludek_12116.pdf).
- [13] AB THERM, S.R.O. *Ako fungujú tepelné čerpadlá voda-voda* [online]. master-therm, 2023 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: <https://www.master-therm.sk/poradna/ako-funguju-tepelne-cerpadla-voda-voda>.
- [14] MATUŠKA, T. *Tepelná čerpadla – základy* [online]. 2023 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P5-tepelna\\_cerpadla\\_zaklady.pdf](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P5-tepelna_cerpadla_zaklady.pdf).
- [15] MICHLOVSKÝ, M. *Příprava bílých vín*. 1. vyd. Rakvice: Vinselekt Michlovský, 2017. ISBN 978-80-905319-4-9.
- [16] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU (MPO). *Tepelná čerpadla v letech 1981–2018* [online]. MPO, 2005 - 2023 [cit. 2022-10-18]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2019/5/Tepelna-cerpadla-1981-2018-final-verze.pdf>.
- [17] OAKLAND UNIVERSITY. *What are ground source heat pumps?* [online]. 2021 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: <https://oakland.edu/energy/clean--research/geo/>.
- [18] PAVELEK, M. *Termomechanika*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. Vysoké učení technické v Brně. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-214-4300-6.
- [19] GOODE, J. *Making Provence rosé* [online]. Jamie Goode's wine blog, 2016 [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.wineanorak.com/wineblog/provence/making-provence-rose>.
- [20] SCHLIEGER. *Jak funguje tepelné čerpadlo vzduch-voda* [online]. Schlieger, 2022 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: <https://www.schlieger.cz/radce/jak-funguje-tepelne-cerpadlo-vzduch-voda>.
- [21] SOLAR ENVI A.S. *Tepelná čerpadla země/voda - Hlubinné vrty* [online]. solarenvi, 2014 [cit. 2022-01-26]. Dostupné z: <https://www.solarenvi.cz/a-47-tepelna-cerpadla-zeme-voda-hlubinne-vrty.html>.
- [22] TEPELNÁ ČERPADLA SPIRÁLA. *Tepelná čerpadla Spirála Nymburk* [online]. 2023 [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://www.tepelna-cerpadla-spirala.cz/produkty>.
- [23] SWEP INTERNATIONAL AB. *Refrigeration handbook* [online]. SWEP, 2022 [cit. 2022-01-25]. Dostupné z: <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/refrigerant-handbook/>.
- [24] MATTEI. *Proč Mattei?* [online]. PDF. Kompresory.com, 2003 [cit. 2022-01-25]. Dostupné z: <http://www.kompresory.com/doc/Matteipop2003.pdf>.
- [25] POSPÍŠIL, J. *Chladicí oběhy, trigenerace, dálkové chlazení* [online]. tzb-info, 2011 [cit. 2022-01-21]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/7910-chladici-obehy-trigenerace-dalkove-chlazení>.

- [26] MATUŠKA, T. *Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP* [online]. tzb-info, 2015 [cit. 2022-01-22]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivita-tepelnych-cerpadel-cop-a-scop>.
- [27] MICHAL, P. *Zkušenosti s provozem tepelných čerpadel 2.: Frekvenční měnič, expanzní ventil* [online]. tzb-info, 2022 [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/23323-zkusenosti-s-provozem-tepelnych-cerpadel-dil-2>.
- [28] DAVID, P. *Kompresory pro tepelná čerpadla* [online]. tzb-info, 2015 [cit. 2022-01-26]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13498-kompresory-pro-tepelna-cerpadla>.
- [29] MICHAL, P. *Zkušenosti s provozem tepelných čerpadel 4.: Zanesené kondenzátory a filtrace* [online]. tzb-info, 2022 [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/23733-zkusenosti-s-provozem-tepelnych-cerpadel-zanesene-kondenzatory-a-filtrace>.
- [30] PREMĚŘENÍ, A. S. *Vybíráme tepelné čerpadlo* [online]. tzb-info, 2012 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/8295-vybirame-tepelne-cerpadlo>.
- [31] NÁRODNÍ VINAŘSKÉ CENTRUM, O.P.S. *Historie a současnost vinařství v ČR* [online]. Národní vinařské centrum, 2023 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.vinarskecentrum.cz/o-vine/historie-a-soucasnost>.
- [32] WOTTLE.AT. *Tanks* [online]. Wottle, 2023 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: <https://www.wottle.at/en/traubenverarbeitung/tanks/#1458735603314-297ca389-ff48>.
- [33] ŽERAVÍK, A. *Stavíme tepelné čerpadlo : [návratnost i za jeden rok]*. 1. vyd. Přerov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 80-239-0275-X.

# Seznam použitých zkratek a symbolů

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
TČ	tepelné čerpadlo
HTČ	hybridní tepelné čerpadlo
1.TDZ	první zákon termodynamiky
2.TDZ	druhý zákon termodynamiky
COP	topný faktor (Coefficient of Performance)
SCOP	sezónní topný faktor
PE	polyethylen
EVI	Economized Vapor Injection
BPHE	Brazed Plate Heat Exchanger
TEV	termostatický expanzní ventil
EEV	elektronický expanzní ventil
ODP	Ozone Depletion Potential
GWP	Global Warming Potential
LFL	dolní mez hořlavosti (lower flammable limit)
Ltd.	Limited
Inc.	Incorporated

Symbol	Rozměr	Veličina
$T$	$[K]$	teplota
$Q_H$	$[J]$	výsledná energie předávána vodě
$Q_C$	$[J]$	energie získána zvenku
$Q_{el}$	$[J]$	energie potřebná pro pohon kompresoru
$S$	$[J \cdot K^{-1}]$	entropie
$s$	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná entropie
$H$	$[J]$	entalpie
$h$	$[J \cdot kg^{-1}]$	měrná entalpie
$A$	$[J]$	práce
$P_c$	$[W]$	příkon kompresoru
$P_{aux}$	$[W]$	příkon TČ mimo kompresor
$\Psi$	$[W]$	celkový tepelný výkon TČ
$LFL$	$[kg \cdot m^{-3}]$	dolní mez hořlavosti
$Q_E$	$[W]$	teplo uvolněné při vypařování
$Q_c$	$[W]$	teplo uvolněné při kondenzaci

# Seznam obrázků

1.1	Počet prodaných tepelných čerpadel v ČR celkem a dle typu [16]. . . . .	5
1.2	Carnotův cyklus TČ znázorněný v T-s diagramu [33]. . . . .	5
1.3	Rankinův cyklus TČ znázorněný v T-s diagramu [18]. . . . .	6
1.4	Rankinův a reálný cyklus TČ znázorněný v p-h diagramu. . . . .	7
1.5	Obecné principiální schéma TČ s kompresorem [33]. . . . .	8
1.6	Obecné principiální schéma absorpčního TČ [25]. . . . .	9
1.7	Hybridní TČ s odděleným oběhem (vlevo) a s mokrou kompresí (vpravo) [12].	10
1.8	TČ v režimu vytápění (vlevo) a chlazení (vpravo) [2]. . . . .	10
2.1	TČ vzduch-voda [20]. . . . .	12
2.2	TČ využívající podzemní vody [13]. . . . .	12
2.3	Vizualizace vodorovného zemního kolektoru [30]. . . . .	13
2.4	Vizualizace vertikálního zemního kolektoru [17]. . . . .	14
3.1	Řez pístovým kompresorem [23]. . . . .	15
3.2	Scroll kompresor [23]. . . . .	16
3.3	Dvojitý rotační kompresor [28]. . . . .	16
3.4	Řez šroubovým kompresorem (vlevo) a lamelovým kompresorem (vpravo) [24].	17
3.5	Deskový kondenzátor BPHE [23]. . . . .	18
3.6	Schéma termostatického expanzního ventilu [33]. . . . .	18
3.7	Lamelový výměník vzduch-chladiivo [10]. . . . .	19
3.8	Detail trubkového výparníku TČ Spirála [22]. . . . .	19
4.1	Chlazení dřevěných sudů [19]. . . . .	21
4.2	Nerezový tank firmy Wottle s chladicím pláštěm [32]. . . . .	21
4.3	Cyklus chladiiva R290 v p-h diagramu, vytvořeno v programu Coolpack. . .	23
4.4	Operační teploty kompresoru B17KCU-TFMN, vytvořeno pomocí programu Select 8. . . . .	24
4.5	Navržené výměníky dle aplikace SSP G8. . . . .	25
4.6	EEV Danfoss AKV 10P5 [3]. . . . .	26
4.7	Graf závislosti chladicího výkonu na stupni otevření ventilu. . . . .	26
4.8	Součásti kapalinového potrubí. . . . .	27
4.9	Filtrdehydrátor Danfoss DCL 053/053s [3]. . . . .	27
4.10	Průhledítka Danfoss SGP 10s I (vlevo), indikátor vlhkosti (vpravo) [3]. . . .	27
4.11	Zpětný ventil Danfoss NRV 10 v2 [3]. . . . .	28
4.12	Čtyřcestný ventil Danfoss STF-H0167 [3]. . . . .	28
4.13	Elektromagnetický ventil Danfoss EVUL 4 [3]. . . . .	28
4.14	Presostat Danfoss KP 1E [3]. . . . .	29
4.15	Sběrač chladiiva Frigomec [6]. . . . .	29

4.16	Cyklus v p–h diagramu z programu Coolpack. . . . .	30
4.17	Schéma TČ v režimu ohřevu [33]. . . . .	31
4.18	Schéma TČ v režimu chlazení [33]. . . . .	31

# Seznam tabulek

1.1	Chladiva a absorbenty pro absorpční TČ [25]. . . . .	9
4.1	Parametry tanku z katalogu Wottle [32]. . . . .	21
4.2	Parametry kompresoru při teplotách $-5\text{ }^{\circ}\text{C}/45\text{ }^{\circ}\text{C}$ . . . . .	23
4.3	Parametry výměníku B85x22. . . . .	25
4.4	Parametry výměníku R290–vzduch. . . . .	25
4.5	Dimenzování potrubí. . . . .	30