



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

# NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA PRO SYSTÉM CHLAZENÍ KONDENZÁTORU SPALIN

DESIGN OF HEAT PUMP FOR FLUE GAS CONDENSER COOLING SYSTEM

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Pavlíček

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Filip Toman

BRNO 2020

# Zadaní bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Adam Pavlíček**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí  
Vedoucí práce: **Ing. Filip Toman**  
Akademický rok: 2020/21

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 systém chlazení kondenzátoru spalín**

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

Díky zpřísnujícím se emisním limitům je vyvoláván velký tlak na efektivní chod energetických zařízení. Jedním ze způsobů, jak zvýšit efektivnost tepelného procesu, je využití latentního tepla ze spalín, které je ze spalín odebíráno během kondenzace vodní páry v kondenzátorech spalín. Práce bude zameřena na návrh chladicího systému daného kondenzátoru spalín pomocí tepelného čerpadla.

### **Cíle bakalářské práce:**

- popsání principu tepelného čerpadla,
- stručný přehled typů TČ,
- návrh hlavních komponentů TČ.

### **Seznam doporučené literatury:**

ŽERAVÍK, Antonín. Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]. Přerov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 802390275X.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

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

## **ABSTRAKT**

Cílem bakalářské práce je řešit principu tepelného čerpadla a stručný popis druhů tepelných čerpadel. V praktické části je návrh tepelného čerpadla pro systém chlazení kondenzátoru spalin. Hlavní komponenty tepelného čerpadla byly vybrány tak, aby tepelné čerpadlo bylo schopno uchládit kondenzátor spalin.

### **Klíčová slova**

Tepelné čerpadlo, Kompresor, Chlazení, Chladivo

## **ABSTRACT**

The aim of this bachelor thesis was research the principle of a heat pump and basic description of the types of heat pumps. The experimental contains design of a heat pump for a flue gas condenser cooling system. The main components of the heat pump were selected to be able to cool the flue gas condenser.

### **Key words**

Heat pump, Compressor, Cooling, Refrigerant



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

PAVLÍČEK, Adam. *Návrh tepelného čerpadla pro systém chlazení kondenzátoru spalín* [online]. Brno, 2022 [cit. 2021-08-13]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/137463>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Filip Toman.

## **PROHLÁŠENÍ**

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

---

V Brně dne 13. 8. 2021

---

*Adam Pavlíček*

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Filipovi Tomanovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce. Také bych chtěl poděkovat Ing. Františkovi Hábovi za jeho rady, zkušenosti a čas který mi věnoval při spolupráci v praktické části bakalářské práce.

## OBSAH

ÚVOD .....	9
1 Tepelné čerpadlo .....	10
1.1 Princip tepelného čerpadla .....	10
1.2 Pracovní cyklus tepelného čerpadla .....	11
1.3 Komponenty Tepelného čerpadla.....	13
1.3.1 Kompresor .....	13
1.3.2 Expanzní ventil .....	15
1.3.3 Médium.....	15
1.3.4 Výparník .....	17
1.3.5 Kondenzátor.....	17
1.3.6 Vedlejší komponenty tepelného čerpadla.....	17
2 Typy tepelných čerpadel .....	19
2.1 Tepelné čerpadlo typu Vzduch–voda .....	19
2.2 Tepelné čerpadlo Voda–voda.....	20
2.3 Tepelné čerpadlo typu Země–voda .....	21
2.4 Tepelné čerpadlo typu Vzduch–vzduch .....	23
3 Návrh tepelného čerpadla.....	24
3.1 Zadání .....	24
3.2 Schéma tepelného čerpadla .....	24
3.3 Parametry pro výpočet výparníku a kondenzátoru.....	24
3.4 Výpočty průtoků.....	25
3.5 Výpočty potrubí.....	26
3.6 Kompresor .....	28
3.7 Expanzní ventil.....	28
3.8 Výparník.....	29
3.9 Kondenzátor .....	29
4 Závěr .....	30
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	31
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	33
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	34
SEZNAM TABULEK.....	35

## ÚVOD

Tepelné čerpadlo je technické zařízení využívající teplo z nízkopotenciálního zdroje, které je schopno pomocí kompresoru převést toto velké množství tepla o nízké teplotě na vyšší teplotu. Takto získané teplo lze dále využít například k vytápění domu. Tepelné čerpadlo nutně potřebuje pro svůj chod velké množství tepla z nízkopotenciálního zdroje, které je nejlépe nevyčerpatelné. Tyto zdroje jsou nazývány obnovitelné zdroje energie.

Využíváním těchto zdrojů tepla se dá tepelné čerpadlo teoreticky zařadit do skupiny obnovitelných zdrojů energie nebo alespoň je na něho nahlíženo jako na výborný nástroj k využití obnovitelných zdrojů energie. Ke svému provozu potřebuje tepelné čerpadlo malé množství elektrické energie, hlavně pro kompresor. Ono samotné nevypouští při svém provozu emise, tudíž se ušetří fosilní palivo, které by jinak bylo využito k vytápění, a nedochází tak ke znečištění ovzduší v lokalitě tepelného čerpadla. Ke znečištění ovzduší by mohlo dojít jedině při úniku chladiva, nebo k němu dochází centralizovaně v místě výroby elektřiny, která je většinou vyráběna z fosilních paliv. To lze snadno napravit odebráním elektřiny z větrných nebo solárních elektráren, popřípadě dispozicí vlastních solárních panelů a baterie.

S tepelnými čerpadly nebo jeho modifikacemi přicházíme dnes a denně do styku. Například skoro každá domácnost vlastní kompresorovou ledničku, která v sobě ukrývá tepelné čerpadlo. To je využíváno k chlazení potravin uvnitř ledničky a zároveň dochází k malému ohřevu vzduchu okolo ledničky. Dále se můžeme s tepelným čerpadlem setkat v podobě klimatizace v autě, bytě, domě či průmyslovém objektu.

V průmyslu, kde dochází k plýtvání odpadním teplem, je tepelné čerpadlo neocenitelným pomocníkem, díky kterému lze jinak mařené teplo využít k ohřevu teplé užitkové vody nebo pro vytápění určitých úseků, kde je to třeba.

V energetice se neustále hledají způsoby, jak zvyšovat účinnost elektráren a tepláren. A právě tepelné čerpadlo je často vysoce efektivním řešením zvýšení účinnosti celého procesu a ušetření financí. Tak tomu bylo například při nedávné aplikaci tepelného čerpadla za miliony korun v SAKO. Díky tomu je vyrobeno 29 000 GJ tepla navíc, což se rovná přibližné spotřebě tepla 1 000 brněnských domácností [4].

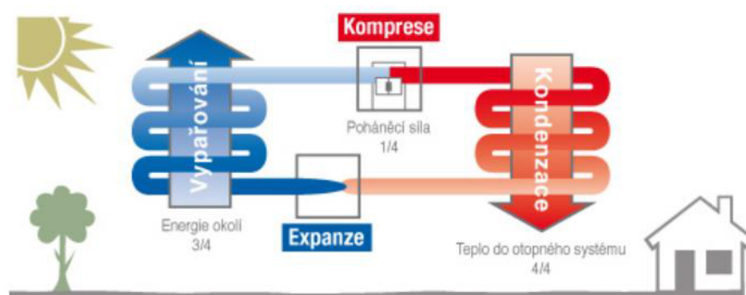
V této době s eskalujícím trendem ekologického smýšlení v Evropské unii i ve světě je hledání zvyšování energetické účinnosti důležitým pilířem ochrany klimatu a přírody.

## 1 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je technické zařízení, které využívá převod tepla, které čerpá z obnovitelných zdrojů energie, z nižší teplotní hladiny na vyšší. Výsledným produktem tepelného čerpadla pak může být teplo, jako je tomu například u využití tepelného čerpadla při vytápění domu, nebo jím může být chlad, tak jako tomu je například u kompresorové ledničky. Tepelné čerpadlo je složeno z mnoha komponentů, ale nejdůležitějšími jsou kompresor, redukční ventil, výparník a kondenzátor. Důležité je zdůraznit, že tepelné čerpadlo teplo z ničeho nevyrobí, ale získává jej z velkého množství nízkopotenciálního zdroje tepla pomocí kompresoru, který je poháněn elektrickou energií, která je potřeba dodat na přečerpání energie z nižší teplotní hladiny na vyšší [1] [3].

### 1.1 Princip tepelného čerpadla

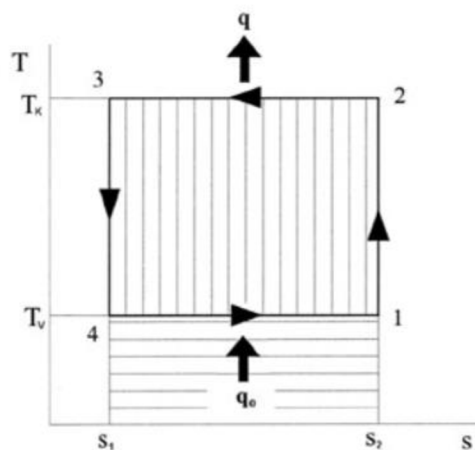
Na obrázku 1 je vyobrazeno schéma tepelného čerpadla, které popisuje jeho princip. Máme zde nejdůležitější části, jako je kompresor, kondenzátor, expanzní ventil a výparník. Tepelné čerpadlo pracuje podle termodynamických zákonů, je využíváno faktu, že vhodně zvolené médium, často nazývané jako chladivo, mění bod výparu a kondenzace podle svého aktuálního tlaku a teploty. Chladicí médium je ve výparníku v plynném skupenství, dále putuje do kompresoru, který plynné médium stlačí. Takto stlačené médium, které připomíná svým skupenstvím mlhu, se přeměňuje v kondenzátoru na kapalinu, poté projde přes expanzní ventil do výparníku, kde se postupně přemění zpátky na plyn. Při těchto procesech dochází v kondenzátoru k uvolňování latentního tepla do okolí a ve výparníku médium naopak přijímá teplo z okolí. Tepelné čerpadlo pracuje podle základních fyzikálních zákonů, které určují, že médium při kondenzaci odevzdává teplo a při vypařování teplo přijímá. Vynucením těchto stavů pomocí kompresoru a expanzního ventilu, lze tepelné čerpadlo využívat k získávání tepla a chladu [1] [2].



Obrázek 1: Princip tepelného čerpadla [5]

## 1.2 Pracovní cyklus tepelného čerpadla

Na obrázku 2 je T-S diagram obráceného Carnotova cyklu. Ten zjednodušeně popisuje termodynamický průběh, který popisuje průběh chladiva v tepelném čerpadle. Cyklus probíhá dokola ve směru šipek, protože je popisován cyklus chladicího zařízení jsou šipky orientovány v protisměru hodinových ručiček. Na ose T je vyznačena teplota a ona ose S je vyznačena entropie. Na obrázku probíhá z bodu 1 do bodu 2 adiabatická komprese, kde dojde z zvýšení tlaku a teploty. Mezi body 2 a 3 probíhá izotermická kondenzace, kde je teplo odevzdáno do okolí. Dále mezi body 3 a 4 probíhá adiabatická expanze, kde dojde snížení tlaku a teploty. Nakonec mezi body 4 a 1 probíhá vypařování, kde teplo vstupuje z okolí do chladiva, poté začíná celý děj znova [1] [2].



Obrázek 2: T-S diagram levotočivého Carnotova cyklu [6]

Na obrázku 2 je vyznačena plocha mezi body  $S_1$ ,  $S_2$ , 4 a 1. Tato plocha je označována jako  $Q_{in}$  a je přímo úměrná energii, která byla získána z obnovitelného zdroje energie, v tomto případě z nízkopotenciálního zdroje tepla. Nad touto plochou se nachází plocha uzavřená šipkami, která je označována jako  $Q_{el}$ , ta reprezentuje energii, kterou bylo potřeba dodat, aby nastala komprese, a tím jsme získali teplo, které se dá využít například k ohřevu vody a toto teplo je plocha  $Q_{in}$ . Žádné fyzikální zákony nebyly porušeny, ale získali jsme větší množství energie, než jsme do kompresoru přivedli [1] [2].

Účinnost, někdy také hojně používaný pojem efektivita, je bezrozměrné, důležité číslo, které je ukazatelem poměru mezi energií dodanou a získanou. Jde o důležitý faktor u všech technických přístrojů. U tepelných čerpadel nám účinnost vyjadřuje COP. COP je anglická zkratka Coefficient of Performance, v češtině je COP nazýván jako topný faktor [1] [2].

Topný faktor lze vypočítat podle následující rovnice:

$$COP = \frac{Q_{out}}{Q_{el}} = \frac{(Q_{in} + Q_{el})}{Q_{el}} = \frac{T_{out}}{(T_{out} - T_{in})}^1 \quad (1.1)$$

COP má být vždy vyšší než 1, obecně vypovídá ohledně efektivnosti tepelného čerpadla. Na konci rovnice je vidět, že je jeho hodnota vyšší, když je rozdíl mezi teplotami  $T_{out}$  a  $T_{in}$  co nejmenší, proto je důležité tyto teploty vhodně navrhnout [1] [2].

---

<sup>1</sup>  $T_{in}$  je teplota zdroje tepla [K]

$T_{out}$  je teplota na výstupu [K]

$Q_{in}$  je energie získaná zvenku při teplotě  $T_{in}$

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

$Q_{out} = Q_{in} + Q_{el}$  je výsledná energie při vyšší teplotě  $T_{out}$



### 1.3 Komponenty Tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo se skládá z mnoha komponentů, hlavními jsou kompresor, expanzní ventil, výparník, kondenzátor. [1] [2]

#### 1.3.1 Kompresor

Kompresor je technické zařízení v okruhu tepelného čerpadla, jehož funkcí je stlačování chladiva, které je v plynném stavu. Páry chladiva vznikají ve výparníku, stlačením jsou zahřáty a je zvýšen jejich tlak, poté jsou odváděny do kondenzátoru, kde změni svůj stav na kapalný a předávají své teplo, většinou topné vodě, která je pak využita k vytápění. Kompresor je jedním z nejdražších a také nejdůležitějších komponentů tepelného čerpadla. Právě on vykonává největší díl práce, a proto jsou u něho kladeny vysoké nároky na kvalitu, spolehlivost a účinnost. Účinnost nám ukazuje topný faktor [1] [2].

Chladivo, které je použito, ovlivní výši tlaku v sacím a výtlačném potrubí. Sací tlak se pohybuje v rozmezí 0,1–0,5 MPa a výtlačný bývá 0,5–2,5 MPa. Kompresor dokáže stlačit chladivo i na mnohem vyšší tlak, ale aby k tomu nedocházelo, kompresor obsahuje i ochranné prvky proti nárůstu tlaku. Chladivo při nasávání má teplotu v mezích -20 °C až 10 °C, výtlačná teplota bývá kolem 60–100 °C, ale teplota přes 80 °C bývá pro kompresory velkou zátěží a dochází k jejich poškození, především u tepelných čerpadel malých a středních výkonů [1] [7].

#### Rozdělení kompresorů podle úrovně těsnosti

Kompresory lze rozlišit podle úrovně těsnosti, tím se rozumí zabránění tepelných ztrát a úniku chladiva. Pro různá využití je požadována různá úroveň těsnosti

1. Hermetický kompresor – Na jedné hřídeli je elektromotor a kompresor, mají společnou olejovou náplň a jsou uzavřeny ve společné nádobě. Do nádoby vede pouze sací potrubí a vede z ní výtlačné potrubí, díky tomuto hermetickému uzavření nedochází k únikům chladiva jako u jiných typů kompresorů [1].
2. Polohermetický kompresor – má stejně jako hermetický na jedné hřídeli elektromotor a kompresor, jsou také uloženy v hermetické nádobě, kterou však lze otevřít. Těsní velmi dobře, proto bývají dražší než hermetické kompresory a jsou využívány pro velká chladicí zařízení, tudíž je v případě poruchy nebo údržby potřeba přístup ke kompresoru. Zatímco u levnějších hermetických kompresorů, kde se nemá co pokazit, není potřeba přístup a v případě poruchy by bylo levnější zakoupit nový hermetický kompresor. Polohermetický kompresor bývá většinou pístový [1].
3. Otevřené – na hřídeli bývá jen kompresor, který je poháněn elektromotorem nebo spalovacím či jiným motorem. Tento typ lze najít například v klimatizacích u automobilů. Hřídel je utěsněna ucpávkou [1].

### Rozdělení kompresorů podle mechanismu

Kompresory mají mnoho vlastností, podle kterých se dají rozdělit, pro tepelná čerpadla dělíme kompresory podle jejich základního mechanismu.

1. Kompresory SCROLL (v literatuře také nazýván jako spirálový kompresor) – v dnešní době nejpoužívanější kompresor pro tepelná čerpadla. Jsou sice dražší, ale dosahují lepšího topného faktoru. Je to jednoduché, spolehlivé a kvalitní zařízení, které podává konstantně spolehlivý výkon díky své konstrukci. Na obrázku níže vidíme charakteristický tvar a princip fungování kompresoru SCROLL. Jsou mnohem tišší než pístové kompresory, dosahují vysoké objemové účinnosti. Jeho životnost obvykle dosahuje 20 let [1] [2].
2. Hermetický pístový kompresor – velmi často využívaný typ, díky jejich spolehlivosti a jednoduchosti zde není téměř nic, co by se mohlo pokazit. Další výhodou je jeho nižší cena, dosahují však horšího topného faktoru. Tento kompresor najdeme ve většině domácích chladicích zařízení, jeho výkon se obvykle pohybuje od 50 W do několika set W. Životnost kompresoru u kvalitní ledničky dosáhne i 20 a více let [1].
3. Rotační kompresory – využívány pro klimatizace, pro tepelná čerpadla však velmi zřídka volený typ kompresoru. Je sice kvalitní a spolehlivý, ale nedosahuje tak velkých výkonů, které jsou u tepelného čerpadla potřeba a také topný faktor je menší než u kompresoru SCROLL [1].
4. Kompresory šroubové – příliš drahá varianta kompresoru, využití nachází především u velkých výkonů v průmyslu, kde se jeho vysoká cena vyplatí za vysoký výkon [1].

Pro tepelná čerpadla je nejvhodnější zvolit nový kompresor scroll, levnější variantou je pístový kompresor, nejlevnější variantou může být zachovalý kompresor ze starého zařízení, například z klimatizační jednotky, ale vždy by to měl být kompresor hermetický, kvůli tepelným ztrátám a úniku chladiva [1].

Na obrázku 3 je ukázka principu fungování mechanismu kompresoru scroll. Šedá spirála je nepohyblivá a spirála černé barvy je pohyblivá, svým pohybem uvnitř šedé spirály vytváří malý prostor, který se v průběhu točení spirály zmenšuje, a tím je zvětšován tlak chladiva, které je v tomto zmenšujícím se prostoru. Po stlačení chladivo odchází otvorem uprostřed spirály [3].



Obrázek 3: Princip fungování kompresoru scroll [3]

### 1.3.2 Expanzní ventil

Je druhý velmi důležitý komponent tepelného čerpadla, jeho funkce je vrátit médium na původní tlakovou úroveň, která byla před kompresí. Pro tepelné čerpadlo je nejčastěji volen termostatický nebo elektronický expanzní ventil. Termostatický expanzní ventil, v literatuře také nazýván jako vstříkovací ventil, nepotřebuje ke svému provozu elektřinu, ta je však stejně pro tepelné čerpadlo nutná k pohánění kompresoru. EEV<sup>2</sup> má oproti TEV<sup>3</sup> jednodušší konstrukci, výrobu i montáž, protože TEV, magnetický ventil a zpětná klapka jsou nahrazeny jedním EEV, dokáže lépe regulovat průtok chladiva a zůstane funkční i při teplotách topné vody pod 35 °C. EEV má nižší teploty výtlačných par z kompresoru, protože má nízké sací přehřátí. Je tudíž tepelně méně namáhán a je zde nižší tlakový poměr, Díky tomu je prodloužena jeho životnost [1] [7] [8].

Termostatický expanzní ventil se skládá z trysky, která se otevírá tlakovým působením sil plynů na membránu ventilu a pružinu regulačního šroubu. Dále má teplotní čidlo neboli tykavku, což je malá nádobka s plynem, ten reaguje na zvyšování teploty zvyšováním tlaku, který působí na membránu. Tlak nad membránou roste s teplotou tykavky a tlak pod membránou roste s vypařovací teplotou, přehřátí chladiva odpovídá rozdílu tlaku nad a pod membránou. Tedy při přehřátí chladiva ve výparníku se ventil otevře a poté uzavře [1] [7] [8].

Elektronický expanzní ventil nemá tykavku ani membránu. Nefunguje na principu působení tlakových sil plynu. Má stejně jako TEV trysku, která se zde otevírá elektromagnetem podle teploty za ventilem a za výparníkem, které jsou sledovány pomocí senzorů teploty [1] [7] [8].



Obrázek 4: Elektronický expanzní ventil[9]

### 1.3.3 Médium

Médium neboli chladivo je důležitým prvkem tepelného čerpadla. Proudí celým okruhem, který můžeme vidět na obrázku 1 schématu tepelného čerpadla. Médium je chemikálie, která je zvolena tak, aby měla bod teploty varu vhodnou vzhledem k aplikaci tepelného čerpadla. Médium cirkuluje v okruhu, ve výparníku získává tepelnou energii a v kondenzátoru ji kvůli změně tlaku odevzdává, protože mění skupenství z plynného stavu na kapalný. Dříve bylo hlavně využíváno médium, které bylo na bázi halogenových uhlovodíků (CFC), ale v současnosti jsou nejvíce využívány fluorované uhlovodíky a jejich směsi. Poslední generace

<sup>2</sup> EEV je elektronický expanzní ventil

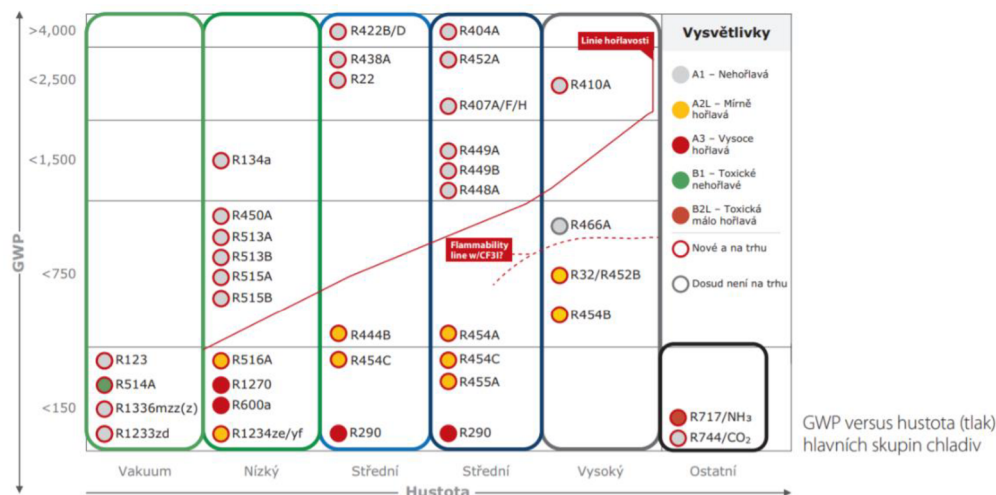
<sup>3</sup> TEV je termostatický expanzní ventil

tepelných čerpadel už neobsahují v médiu chlor, a tak nenarušují ozonovou vrstvu v případě úniku chemikálie. ODP neboli Ozone Depletion Potential je číslo, které je určeno z freonu R11, kterému bylo přiřazeno ODP koeficient 1 a kolikrát je ODP chladiva menší, tím přímo úměrně méně poškozují ozonovou vrstvu. GWP neboli Global Warming Potential je číslo, které je určeno podle CO<sub>2</sub> za 100 let, koeficient je zde roven 1 a kolikrát je GWP chladiva vyšší, tím má přímo úměrně vyšší negativní vliv na globální oteplování. Dnes už jsou zakázána chladiva, která ničí ozonovou vrstvu, všechna moderní chladiva mají ODP rovno nule. Chladivo při fázové přeměně z plynného stavu na kapalinu své složení nemění, v tom případě je to azeotropní chladivo, které je jedno nebo vícesložkové. Pokud má chladivo během fázové přeměny proměnné složení, pak jde o zeotropní chladivo, to bývá směs dvou až čtyř chladiv [1] [7].

Rozdělení chladiv podle složení:

1. Plně halogenované uhlovodíky (CFC): R11, R12, jejich výroba a používání je zakázáno kvůli narušování ozonové vrstvy v případě úniku do prostředí [1] [7].
2. Částečně halogenované uhlovodíky (HCFC): R22, R23, jsou rovněž zakázány kvůli ničení ozonové vrstvy [1] [7].
3. Fluorované uhlovodíky a jejich směsi: R23, R32 [1] [7].
4. Anorganická chladiva: CO<sub>2</sub>, vzduch, voda, čpavek, tyto chladiva jsou pro tepelná čerpadla nevhodná kvůli teplotnímu bodu kondenzace a mrazu, v případě čpavku kvůli jeho jedovatosti. Ale kvůli nízké ceně a výborným termodynamickým vlastnostem se používá ve velkých chladicích systémech, kde musí být neustále pod dozorem. [1] [7].
5. Směsi: R407C, R410A a například směs R515B od společnosti Honeywell patří mezi nejnovější chladiva na trhu, které splňuje aktuální legislativu, zvyšuje účinnost tepelných čerpadel a zároveň je bezpečnější než starší chladiva. Chladivo R513A je jedno z nejnovějších chladiv na trhu, je to azeotropní směs, nahrazuje chladivo R134a, neníčí ozonovou vrstvu a má mnohem menší GWP než chladiva předešlé generace, vhodné pro chladicí zařízení [7] [10] [11].

Na obrázku 5 jsou rozdělena chladiva podle hustoty (tlaku) a velikosti GWP. Barevně jsou rozdělena podle jejich vlastností. Jsou zde vidět například vlastnosti chladiva R513A, které je nástupcem R134a.



Obrázek 5: Rozdělení chladiv podle vlastností. [27]



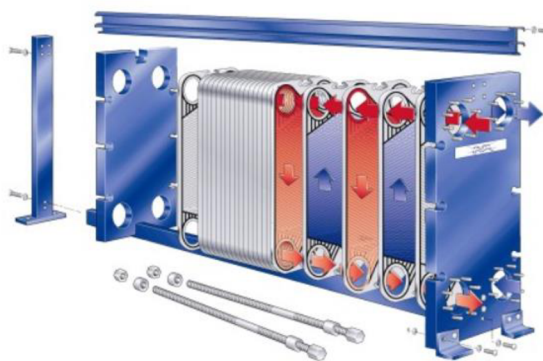
### 1.3.4 Výparník

Ve výparníku dochází k přeměně kapalného média na plynný stav, dochází zde k výměně tepla, je to tedy výměník tepla. V závislosti na typu tepelného čerpadla se zvolí vhodný typ výparníku. Deskové výparníky se používají pro typ tepelného čerpadla voda–voda a zem–voda. Lamelové výparníky se využívají pro typ tepelného čerpadla vzduch–voda a vzduch–vzduch. Tyto výměníky většinou najdou uplatnění ve vzduchotechnice, systémech chlazení nebo ohřevu vzduchu či kapalin. Výměník většinou disponuje i ventilátorem pro sání chladného vzduchu. Ten může být s takzvaným nuceným tahem, což je méně nákladné na údržbu, která je snazší. Dále může být využit ventilátor s indukovaným tahem, který má rovnoměrnější distribuci vzduchu podél trubek, zato však vyšší pořizovací i provozní náklady, protože ventilátor je umístěn za výměníkem. Volba teploty okolního vzduchu je důležitým faktorem, který ovlivní velikost výměníku [1] [12] [13] [14].

### 1.3.5 Kondenzátor

V kondenzátoru dochází k přeměně plynného média na kapalný stav, dochází zde k výměně tepla je to tedy výměník tepla. Pro tepelná čerpadla je ve většině případů zvolen deskový výměník. Ten se skládá z vlněných nerezových desek, které svým tvarem připomínají rybí kost. Mezi deskami jsou kanály kvůli prolisům. V rozích desek jsou vytvořeny vstupní otvory, kterými proudí teplonosné medium, desky jsou pak obtékány z každé strany jiným médiem. Díky této konstrukci a kanálkům zde dochází k turbulentnímu proudění a přestup tepla mezi médii je maximalizován. Desky jsou k sobě buď natrvalo přidělány, nebo jsou vyměnitelné, ale v tom případě musí mít gumové těsnění [1] [12] [13] [14].

Na obrázku 6 je rozebraný výměník tepla, lze zde vidět jak je v jednom výměníku mnoho desek, jsou zde naznačeny šipkami proudy teplého a studeného média.



Obrázek 6: Deskový výměník tepla [13]

### 1.3.6 Vedlejší komponenty tepelného čerpadla

Tyto komponenty neplní hlavní funkce tepelného čerpadla, ale často plní nezbytné funkce pro bezpečný a účinný chod tepelného čerpadla, u moderních tepelných čerpadel chybí tyto komponenty jen výjimečně. Jejich funkcí je hlídání stavu a bezpečných podmínek pro provoz tepelného čerpadla nebo vylepšují provoz hlavních komponentů [7].

- a) Presostat: se nachází u kompresoru a hlídá tlak před a za kompresorem, plní tedy bezpečnostní funkci, kdy při poruše zastaví provoz kompresoru. Podle umístění

dělíme presostaty na sací a výtlačné. K poruše tlaku dochází v případech, kdy se vychýlí teplota kondenzátoru nebo výměníku mimo pracovní teploty [7].

- b) Sběrač kapalného chladiva: slouží k sběru chladiva v kapalném stavu a zamezuje výskytu bublin v tepelném čerpadle, které by mohly způsobit poškození. Nachází se před expanzním ventilem, do kterého uvolňuje kapalně chladivo bez bublin [7].
- c) Filtrdehydrátor: jeho funkcí je pohlcování škodlivin z chladiva, jako například pevné částice, vlhkost a kyselé složky. Toto zařízení zajišťuje bezpečný chod kompresoru, protože snižuje nežádoucí vnitřní korozi a zamrzání okruhu [7] [15].
- d) Elektromagnetický ventil: nachází se před expanzním ventilem, jeho funkcí je uzavření přívodu kapalného chladiva při odstávce kompresoru [7].
- e) Průhledítka: nachází se za sběračem chladiva a filtrdehydrátorem a před expanzním ventilem. Průhledítkem je sledován tok kapaliny a změna barvy mezikruží, která signalizuje přítomnost vlhkosti. Zjistí se jím i přítomnost bublin v chladivu, v tom případě musí být vyměněn filtrdehydrátor [7].
- f) Trojcestný ventil: je to ventil na uzavření okruhu chladiva. V případě, kdy je potřeba udělat údržbu tepelného čerpadla, je tento ventil využíván k čerpání a plnění chladiva a k připojení přístrojů na měření tlaku [7].
- g) Zpětný ventil: propouští chladivo jednou cestou a zamezí k proniknutí chladiva opačným směrem [7].
- h) Odlučovač kapalného chladiva: zabraňuje kapalnému chladivu vniknout do kompresoru, i kapička by mohla způsobit fatální poškození [7].

## 2 Typy tepelných čerpadel

Tepelná čerpadla se rozdělují podle zdroje čerpání nízkopotenciálního tepla. Volba zdroje tepla je závislá na podmínkách, například na dostupnosti přírodního zdroje. Primárními zdroji tepla pro využití energie z okolí je geotermální energie, která se šíří ze středu zemské kůry. Od zvoleného typu se poté odvíjí volba konstrukce a výsledné vlastnosti tepelného čerpadla. Podle zdroje tepla se rozdělují typy tepelných čerpadel na [1] [2] [3]:

1. Vzduch<sup>4</sup>–voda<sup>5</sup>: pro ústřední vytápění
2. Voda–voda: vyskytuje se v malém množství
3. Země–voda: zdrojem tepla je většinou vrt, využití pro vytápění
4. Vzduch–vzduch: klimatizace<sup>6</sup>

### 2.1 Tepelné čerpadlo typu Vzduch–voda

Primárním zdrojem nízkopotenciálního tepla je vzduch, teplo je získáváno z okolního venkovního vzduchu nebo odpadního vzduchu a předáváno tepelnému čerpadlu skrz výparník. Tento zdroj nízkopotenciálního tepla pochází ze slunce. Okolní vzduch je ohříván přímo sluncem, nebo slunce ohřívá povrch zemské kůry, který následně ohřívá okolní vzduch. Tento zdroj tepla je nejdostupnější a dokud slunce svítí, je neustále obnovován, a tím pádem je fakticky nevyčerpatelný [1] [2] [3] [7].

Na primární straně tepelného čerpadla je lamelový výparník s ventilátorem, který zvyšuje přenos tepla ze vzduchu. Tato čerpadla byla projektována do splitu, což znamená, že jsou dvoudílná. Venkovní a vnitřní části jsou spojeny trubkami, které jsou tepelně izolovány a proudí jimi chladivo. Dále je možná alternativa konstrukce, kde se ve venkovní části nachází výparník, ventilátor a expanzní ventil a zbylé části tepelného čerpadla včetně kompresoru jsou uloženy ve vnitřní jednotce. Další alternativou je umístění kompresoru ve venkovní části, zde se však musí počítat s hlukem ventilátoru a kompresoru a pokusit se jej co nejvíce minimalizovat. Dnes se už nová čerpadla skoro vždy vyskytují v modifikaci monoblok, který může připomínat svou velikostí a vzhledem ledničku [1] [2] [7].

**Tabulka 1: Porovnání tepelného čerpadla v podobě splitu a monobloku [1] [2] [7]**

<i>Tepelné čerpadlo ve splitu</i>	<i>Monoblok</i>
<i>Snadná náhrada komponentů</i>	<i>Obtížná náhrada komponentů</i>
<i>Větší nádrž teplé vody</i>	<i>Malá nádrž teplé vody</i>
<i>Komplikovanější instalace</i>	<i>Jednodušší instalace</i>
<i>Potřeba více místa</i>	<i>Potřeba méně místa</i>

Hydrobox je většinou součástí tohoto typu tepelného čerpadla a slouží k převodu tepla do topné vody. Velkou nevýhodou je pracovní schopnost tepelného čerpadla, která bývá do -15 °C, proto

<sup>4</sup> Zdroj nízkopotenciálního tepla, ze kterého tepelným čerpadlem přečerpáváme teplo.

<sup>5</sup> Druhé slovo poté značí médium, do kterého se teplo předává, kde plní požadovanou funkci například TUV

<sup>6</sup> Kde zdroj vzduch je chápán buď jako venkovní, nebo vnitřní vzduch, voda jako povrchová nebo podzemní a typ země je chápán jako suché zemní vrty, v nichž jsou uloženy kolektory.

musí být v prostředí, kde k těmto podmínkám dochází, instalován malý elektrokotel, kterým se dosáhne požadované teploty vody. Vedle kondenzačních plynových kotlů je tato modifikace tepelného čerpadla velmi ekonomická a hojně používaná, právě tam, kde není možnost vrtat do země kvůli zhotovení zemních kolektorů pro tepelné čerpadlo země–voda [7] [17].

**Tabulka 2: Výhody a nevýhody tepelného čerpadla Vzduch–voda [1] [7]**

<i>Výhody</i>	<i>Nevýhody</i>
<i>Využití i pro chlazení</i>	<i>Snižující se výkon s nižší teplotou</i>
<i>Nižší náklady</i>	<i>Hlučnost</i>
<i>Lepší topný faktor</i>	<i>Dražší provoz než typ země–voda</i>

## 2.2 Tepelné čerpadlo Voda–voda

Primárním zdrojem nízkopotenciálního tepla je voda, která přímo protéká výměníkem na primární straně tepelného čerpadla (to je otevřený primární okruh), nebo pomocí kolektoru (uzavřený primární okruh) a teplo je předáváno do topné vody. Tento typ tepelného čerpadla se například zavádí do studní, kde má potenciál dosáhnout vysoké efektivity. Tento typ má nejvyšší průměrný roční topný faktor při nejnižších nákladech s tím, že studna již byla vybudována, a tak se její náklady nezapočítávají. Díky geotermální energii, která prostupuje ze středu zeměkoule má spodní voda během celého roku relativně stálou teplotu, která se pohybuje v rozmezí od 8 °C do 10 °C. Oblasti, které disponují termálními prameny, mohou disponovat vodou o teplotě až 20 °C. Aby nedocházelo k zamrznutí na výparníku, nesmí být ochlazení příliš velké. Další nezbytností je ochrana proti výpádkům zdrojové vody, což by způsobilo okamžité zamrznutí výměníku, a následně možné poškození. Podle legislativy české republiky je ale zakázáno využívat jako zdroj nízkopotenciálního tepla řeku nebo rybník, povolení pro využití veřejného vodního zdroje je udělováno pouze ve výjimečných případech. Nejčastěji je typ voda–voda využíván, když jsou k dispozici čerpací a vsakovací studna. Voda se přečerpává přes výparník mezi těmito dvěma studnami. Zde však hrozí riziko vyčerpání studny, což by mohlo způsobit fatální škody tepelnému čerpadlu, proto je nutná pravidelná údržba. Právě kvůli budování dvou studen a náročné údržbě je tento typ velmi málo využíván [1] [3] [7] [16] [17].



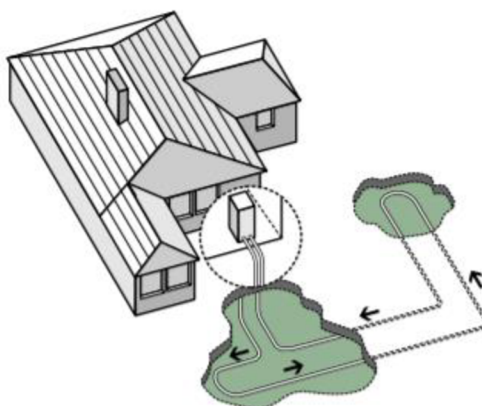
Obrázek 7: Tepelné čerpadlo voda–voda [20]



### 2.3 Tepelné čerpadlo typu Země–voda

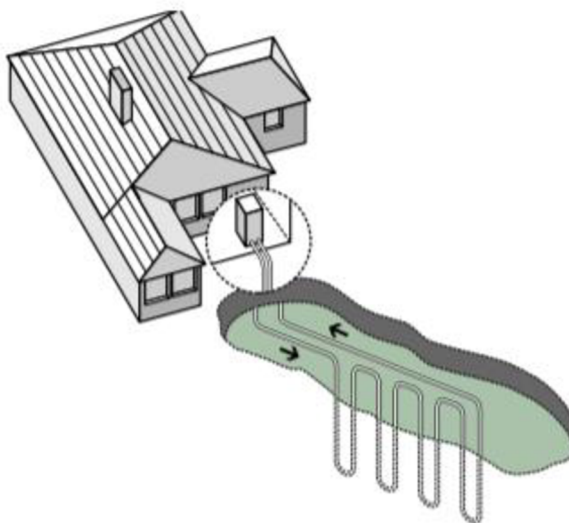
Primárním zdrojem nízkopotenciálního tepla je geotermální energie z povrchové vrstvy zemského povrchu nebo z kolektorů, které jsou uloženy hluboko ve vrtech. V primárním okruhu tepelného čerpadla, který je uzavřený, proudí nemrznoucí směs o nízké teplotě varu, která předává teplo do topné vody. Geotermální energie, která vychází ze středu zeměkoule nám poskytuje během celého roku stabilní teplotu od 10 °C do 12 °C, už v hloubce 10 m pod zemí, s rostoucí hloubkou teplota roste o 2–3 °C každých 100 m [7] [16] [17].

Zemní plošné kolektory jsou uloženy v zemi kolem 1,2–1,5 m ve vzdálenosti 60–80 cm od sebe, v nich jsou uloženy polyetylenové hadice naplněné solankou. Na vytápění určité plochy potřebujeme v průměru třikrát až čtyřikrát větší plochu, ze které je teplo odčerpáváno [16].



Obrázek 8: Tepelné čerpadlo s plošným kolektorem [19]

Geotermální vertikální Sonda (GVS) se používá tam, kde nelze aplikovat variantu Zemní plošný kolektor, nebo v případě, kdy tepelným čerpadlem budeme chtít také vyrábět chlad. Z 1 m hlubokého vrtu lze získat 30–50 W chladícího výkonu [16].



Obrázek 9: Tepelné čerpadlo s vertikálním kolektorem [16]

Vertikální kolektory jsou uloženy také v zemi, ale jejich orientace je do hloubky. Jsou uloženy v hlubokých vrtech s malým průměrem do 22 cm. Ve vrtu jsou pak polyetylenové hadice

vyplněny hmotou, kterou bývá většinou cement nebo směs jílovce a cementu. Vrtky jsou od sebe obvykle vzdáleny 5–10 m, aby se navzájem neovlivňovaly, a jsou hluboké kolem 50–150 m, podle toho, jaké jsou geologické podmínky, požadovaný výkon a cena vrtu. Pro 1 kW výkonu je průměrně potřeba kolem 12–18 m hloubky [7] [16].

Lze pak uvažovat, že při požadovaném výkonu 10 kW, je potřeba vyhotovit jeden 140 m hluboký vrt, anebo dva 70 m hluboké vrtky. Pokud lze vrtat jeden hluboký vrt, upřednostňuje se před dvěma menšími. Zmenší se tím nároky na prostor a dosáhne se velmi dobrého topného faktoru, který se vyznačuje stabilní teplotou po celý rok. Při vhodném návrhu může pokrýt i celoroční spotřebu tepla, avšak za cenu vysokých nákladů spojených s hloubkou vrtu. Níže uvedená tabulka nám ukazuje, v jaké hloubce dosáhneme 1 kW výkonu v závislosti na druhu podloží [7] [16].

**Tabulka 3: Závislost hloubky a výkonu podle podloží [7]**

<i>Druh podloží</i>	<i>Hloubka pro dosažení 1 kW výkonu [m]</i>
<i>suché usazeniny</i>	<i>33</i>
<i>Pevná hornina, jíly</i>	<i>15</i>
<i>Hornina se spodní vodou</i>	<i>10</i>

Často se vrtá i do skály, i když by se to zdálo jako problematické, tak právě vrt ve skále je nejstabilnější, protože se nezasypává, ale je potřeba kvalitní technika pro jeho zhotovení. Do pískovcového nebo obecně měkkého podloží se vrtá nejsnáze, ale jeho nevýhodou je, že se zasypává nebo bortí [18].

**Tabulka 4: Výhody a nevýhody tepelného čerpadla Země–voda [7] [16] [17]**

<i>Výhody</i>	<i>Nevýhody</i>
<i>Pokrytí celoroční spotřeby tepla</i>	<i>Snížení růstu vegetace na pozemku kvůli špatnému návrhu</i>
<i>Příprava teplé užitkové vody</i>	<i>Vysoké náklady při hlubokých vrtech</i>
<i>Varianta GVS umožňuje pasivní a aktivní chlazení</i>	<i>K zavedení ZPK je potřeba větší pozemek</i>
<i>U vertikální varianty není potřeba velkého pozemku</i>	

## 2.4 Tepelné čerpadlo typu Vzduch–vzduch

Primárním zdrojem nízkopotenciálního tepla je vzduch, kdy je teplo získáváno z venkovního vzduchu. Primárně se tento typ tepelného čerpadla využívá k chlazení v domech, bytech či autech. Mimo chlazení zvládne pracovat i obráceně, a je tedy možnost si jím v zimě přitápat. Cenově je typ vzduch–vzduch výhodné, ale když nastanou tuhé mrazy, účinnost tohoto typu velmi klesá, následně pak mrazy mohou tepelné čerpadlo úplně vyřadit z provozu. Pro lidi, kteří bydlí v bytech, je to nejpraktičtější druh tepelného čerpadla pro pokrytí potřeby chladu přes letní sezonu [1] [17].

**Tabulka 5: Výhody a nevýhody tepelného čerpadla Vzduch–vzduch [1] [17]**

---

<i>Výhody</i>	<i>Nevýhody</i>
<i>Využití pro chlazení i vytápění</i>	<i>Závislost na teplotě vzduchu</i>
<i>Nížší náklady (není třeba budovat vrt ani studnu)</i>	<i>Hlučnost</i>
<i>Jednoduchá instalace</i>	<i>Dražší provoz oproti typu země–voda</i>

---

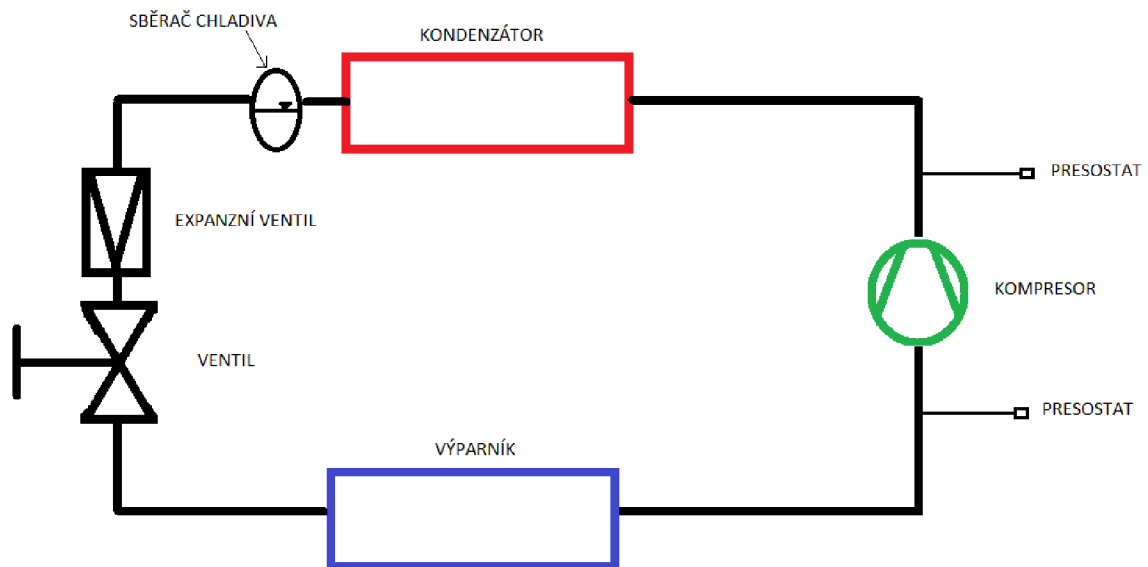
### 3 Návrh tepelného čerpadla

Tato část bakalářské práce se zabývá výběrem hlavních komponentů tepelného čerpadla na základě zadaných parametrů.

#### 3.1 Zadání

Pro systém chlazení kondenzátoru spalín, navrhnete hlavní komponenty tepelného čerpadla, jako je kompresor, kondenzátor, expanzní ventil a výparník tak aby chladicí výkon výparníku byl 10 kW a dokázal uchládit kondenzátor spalín z 40 °C na 20 °C. Kondenzátor má topný výkon 15 kW. Zvolte vhodný typ tepelného čerpadla a zhotovte nákres schématu.

#### 3.2 Schéma tepelného čerpadla



Obrázek 10: Schéma tepelného čerpadla [24]

#### 3.3 Parametry pro výpočet výparníku a kondenzátoru

Chladicí výkon výparníku byl stanoven na 10 kW. Po konzultaci bylo uvažováno, že strana 1 výparníku bude směs voda s 25 % Antifrogen N. Na této straně vchází směs s 40 °C a vychází s 20 °C. Na straně 2 bude chladivo R513A (XP10) s výparnou teplotou 12 °C. Chladivo R513A bylo zvoleno, protože patří mezi nejmodernější chladiva, je nehořlavé, dosahuje nejlepší účinnosti a výkonu.

Topný výkon kondenzátoru je 15 kW. Po konzultaci bylo uvažováno, že na straně 1 bude chladivo R513A (XP10) s kondenzační teplotou 60 °C. Na straně 2 bude topná voda u které se uvažuje teplotní spád maximálně 55/45 °C. Softwarem od firmy SWEP byli vypočítány a vybrány vhodné výměníky tepla, které budou sloužit jako výparník a kondenzátor.

### 3.4 Výpočty průtoků

Hmotnostní průtok chladiva získáme z rovnice 1.1.

$$Q = \dot{m} \cdot \Delta i \quad (3.1)$$

Kde:  $Q$  ... výkon [kW],  
 $\dot{m}$  ... hmotnostní průtok [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $i$  ... entalpie [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] [26].

Pro výkon kondenzátoru platí:

$$Q_k = \dot{m} \cdot (i_2 - i_3) \quad (3.2)$$

Kde:  $Q_k$  ... výkon kondenzátoru [kW],  
 $\dot{m}$  ... hmotnostní průtok [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $i_2$  ... entalpie chladiva R513A v plynném stavu při 60 °C [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ],  
 $i_3$  ... entalpie chladiva R513A v kapalném stavu při 60 °C [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] [26].

Průtok pak tedy vyjádříme z rovnice 1.2:

$$\dot{m} = \frac{Q_k}{(i_2 - i_3)} \quad (3.3)$$

$$\dot{m} = \frac{15}{(407,7 - 286,5)} \quad (3.4)$$

$$\dot{m} = 0,123762 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 445,5445 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (3.5)$$

Objemové průtoky v jednotlivých částech tepelného čerpadla vypočítáme z obecné rovnice pro objemový průtok.

$$\dot{V} = \dot{m} \cdot v \quad (3.6)$$

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

Rovnice pro sací objemový průtok:

$$\dot{V}_1 = \dot{m} \cdot v_1 \quad (3.7)$$

$$\dot{V}_1 = 445,5445 \cdot 0,0398 \quad (3.8)$$

$$\dot{V}_1 = 17,73 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (3.9)$$

Kde:  $\dot{V}_1$ ...objemový průtok na sání [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ],  
 $\dot{m}$ ...hmotnostní průtok chladiva [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $v_1$ ...měrný objem pro chladivo R513A v plynném stavu při 12 °C [ $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ ] [26].

Rovnice pro výtlačný objemový průtok:

$$\dot{V}_2 = \dot{m} \cdot v_2 \quad (3.11)$$

$$\dot{V}_2 = 445,5445 \cdot 0,0101 \quad (3.12)$$

$$\dot{V}_2 = 4,4999 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (3.13)$$

Kde:  $\dot{V}_2$ ...objemový průtok na výtlačku [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ],  
 $\dot{m}$ ...hmotnostní průtok chladiva [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $v_2$ ...měrný objem pro chladivo R513A v plynném stavu při 60 °C [ $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ ] [26].

Rovnice pro objemový průtok kapaliny

$$\dot{V}_3 = \dot{m} \cdot v_3 \quad (3.14)$$

$$\dot{V}_3 = 445,5445 \cdot 0,000987 \quad (3.15)$$

$$\dot{V}_3 = 0,4397 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (3.16)$$

Kde:  $\dot{V}_3$ ...objemový průtok na sání [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ],  
 $\dot{m}$ ...hmotnostní průtok chladiva [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $v_3$ ...měrný objem pro chladivo R513A v kapalném stavu při 60 °C [ $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ ] [26].

### 3.5 Výpočty potrubí

Pro výpočet reálné rychlosti v potrubí potřebujeme nejdříve vypočítat obsah potrubí.

Rovnice pro obsah potrubí:

$$S = \frac{V}{(w \cdot 3600)} \quad (3.17)$$

Kde:  $S$  ... obsah potrubí [ $\text{m}^2$ ],  
 $V$  ... objemový průtok [ $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ ],  
 $w$  ... rychlost chladiva v potrubí [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ].

Po konzultaci jsem pro výpočet zvolil rychlosti:

$$w_1 = 8,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$w_2 = 8,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$w_3 = 0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Plocha sacího potrubí pak tedy vyšla  $S_1 = 0,0006006 \text{ m}^2$

Plocha výtlačného potrubí  $S_2 = 0,0001562 \text{ m}^2$

Plocha potrubí pro kapalinu  $S_3 = 0,0002035 \text{ m}^2$

Ze vztahu pro obsah kruhu:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (3.18)$$

Kde:  $S$  ... obsah potrubí [ $\text{m}^2$ ],

$d$  ... průměr potrubí [m],

$w$  ... rychlost chladiva v potrubí [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ].

Vyjádří se a vypočítá průměr potrubí:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} \quad (3.19)$$

Kde:  $S$  ... obsah potrubí [ $\text{m}^2$ ],

$d$  ... průměr potrubí [m],

Z rovnice 3.19 se vypočítá:

Průměr sacího potrubí:  $d_1 = 27 \text{ mm}$

Průměr výtlačného potrubí:  $d_2 = 14 \text{ mm}$

Průměr pro kapalinu:  $d_3 = 16 \text{ mm}$

Průměry potrubí se zadají do rovnice 3.18, poté je dosazeno do rovnice 3.17, ze které jsou vyjádřeny a vypočítány reálné rychlosti v částech tepelného čerpadla.

Rychlost v sacím potrubí:  $w_1 = 8,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Rychlost ve výtlačném potrubí:  $w_1 = 8,12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Rychlost v potrubí pro kapalinu:  $w_1 = 0,607 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

### 3.6 Kompresor

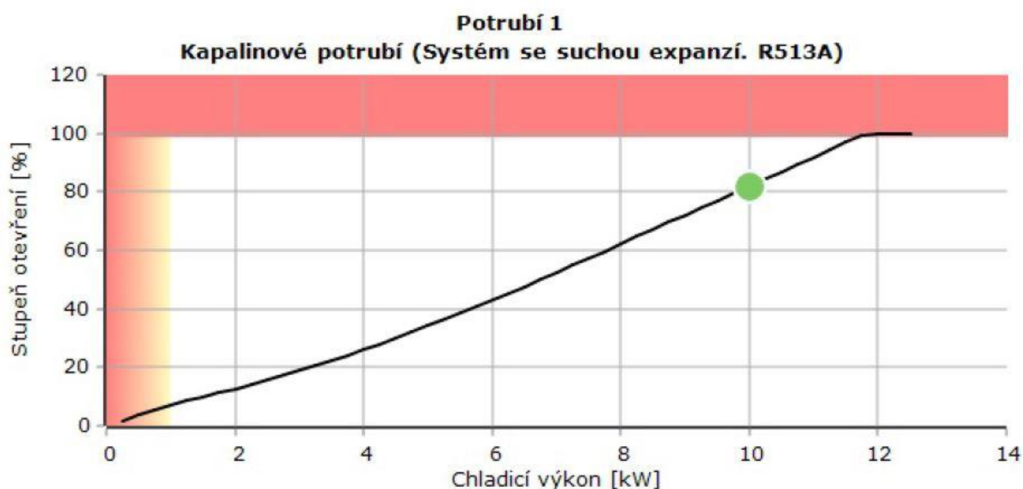
Pomocí softwaru Copeland Select Software od společnosti Emerson a na základě vypočítaného objemového průtoku, který je  $17,73 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ . Byl vybrán hermetický kompresor typu scroll model ZR81KCE-TFD 522 od výrobce Copeland, tento kompresor má výtlak  $18,8 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ , bude pracovat s chladivem R513A, dokáže také pracovat s chladivy R134a, R22, R407C. Kompresor má chladicí výkon 12,95 kW a příkon 4,63 kW. Typ motoru je TFD. Rozměry kompresoru jsou 242x242x443 mm. Hmotnost je 39 kg [23].



Obrázek 11: Kompresor ZR81KCE-TFD [21]

### 3.7 Expanzní ventil

Pomocí softwaru Coolselector2 od společnosti Danfoss byl vybrán elektronický expanzní ventil ETS 5M24. Jeho Minimální výkon je 0,994 kW a maximální výkon až 11,79 kW. Tlaková ztráta je 12,60 bar. Pokles teploty nasycení 48,0 K. Rychlost proudění dosahuje  $4,53 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Na obrázku 11 je křivka výkonu expanzního ventilu, tento obrázek ukazuje závislost chladicího výkonu podle otevření expanzního ventilu [22].



Obrázek 12: Křivka výkonu expanzního ventilu [22]

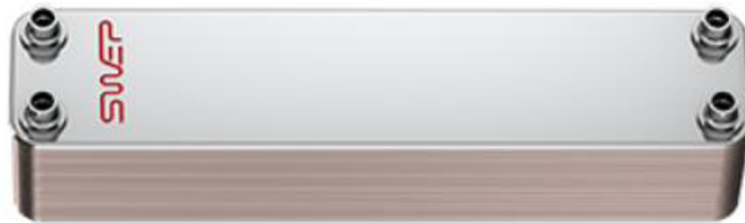


### 3.8 Výparník

Pomocí softwaru od společnosti SWEP byl vypočítán a vybrán výparník B25THx16/1P od společnosti SWEP, který je v protiproudém zapojení. Výparník má chladicí výkon 10 kW a odpařovací teplota je 12 °C. Teplosměnná plocha činí 0,882 m<sup>2</sup>. Jeho rozměry jsou 526x119x59 mm. Obsahuje 16 desek. Na straně 1 je chladivo R513A a tato strana má 7 kanálů. Strana 2 má 8 kanálů, zde je směs vody a 25 % Antifrogen N. Tlaková ztráta na straně chladiva je 49,7 kPa. Na straně 2 je tlaková ztráta 3,66 kPa. Zde na vnější straně vstupuje směs vody o teplotě 40 °C a vystupuje s teplotou 20 °C.

### 3.9 Kondenzátor

Pomocí softwaru od společnosti SWEP byl vypočítán a vybrán kondenzátor B25THx16/1P od společnosti SWEP, který je v protiproudém zapojení. Kondenzátor má topný výkon 15 kW a kondenzační teplota je 60 °C. Teplosměnná plocha činí 0,882 m<sup>2</sup>. Jeho rozměry jsou 526x119x59 mm. Obsahuje 16 desek. Na straně 1 je chladivo R513A a tato strana má 7 kanálů. Strana 2 má 8 kanálů, zde je topná voda. Tlaková ztráta na straně chladiva je 8,56 kPa. Na straně topné vody je tlaková ztráta 20,9 kPa. Zde na vnější straně vstupuje topná voda o teplotě 45 °C a vystupuje s teplotou 55 °C.



Obrázek 13: Výměník tepla B25T od firmy SWEP [25]

#### 4 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vypracovat rešerši na téma tepelné čerpadlo a navrhnout hlavní komponenty tepelného čerpadla. Bakalářská práce je rozdělena na dvě části. První část je rešerše, která má dvě kapitoly. V první kapitole je vysvětlen princip fungování tepelného čerpadla a obsahuje popis komponentů tepelného čerpadla. Ve druhé kapitole je stručný přehled typů tepelných čerpadel.

Praktická část má jednu kapitolu, která obsahuje výpočty a návrhy hlavních komponentů tepelného čerpadla. Ze zadaných parametrů bylo známo, že tepelné čerpadlo musí uchládit směs, která přitéká z kondenzátoru spalín o teplotě 40 °C. Výparníkem o výkonu 10 kW bylo potřeba směs ochladit na 20 °C. Získané teplo se pak předá kondenzátorem o výkonu 15 kW, topné vodě. Jako chladivo bylo zvoleno R513A, které patří mezi nejnovější chladiva, je nehořlavé, nepoškozuje ozonovou vrstvu a oproti předešlé generaci chladiv má menší vliv na globální oteplování. Toto chladivo má vypařovací teplotu 12 °C a kondenzační teplotu 60 °C. Směs, která proudí z kondenzátoru spalín do výparníku, je složena z vody a 25 % Antifrogen N. Teplotní spád byl uvažován 45/55 °C. Softwarem od společnosti Swep byl vypočítán výparník a kondenzátor na základě těchto parametrů. Jako výparník byl zvolen výměník tepla B25THx16 a pro kondenzátor byl zvolen B25THx16 od firmy Swep. Dle tabulek byly zjištěny měrné objemy a entalpie chladiva. Z těchto informací byl vypočítán hmotnostní průtok, objemové průtoky, průměry potrubí a rychlosti chladiva v částech tepelného čerpadla. Z vypočítaného objemového průtoku na sání, byl vybrán pomocí softwaru Select 8 Desktop hermetický kompresor typu scroll model ZR81KCE-TFD 522 od výrobce Copeland, tento kompresor má výtlak  $18,8 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  a chladicí výkon 12,95 kW. Softwarem Coolselector od firmy Danfoss byl vybrán elektronický expanzní ventil ETS 5M24, který má maximální výkon 11,79 kW. S výběrem a výpočtem výparníku a kondenzátoru mi pomohl pan Ing. František Hába, který mi věnoval spoustu času, informace o tepelných čerpadlech a poradil mi, jak postupovat při návrhu tepelného čerpadla a naučil mě, jak pracovat s moderními softwary. Tepelné čerpadlo typu voda–voda s komponenty, které jsou výše zmíněny, dokáže uchládit kondenzátor spalín podle zadaných parametrů.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]*. Přerov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 80-239-0275-X. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:a5ea49a0-65ad-11e4-8214-005056827e51>
- [2] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-2720-2. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:cc7be1c0-ee2c-11e4-b834-005056827e51>
- [3] SRDEČNÝ, Karel a TRUXA, Jan. *Tepelná čerpadla*. Praha: EkoWATT, 2009. ISBN 978-80-87333-02-0. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:d1b78e30-240a-11e7-9efd-005056827e52>
- [4] Sako Brno představilo unikátní technologický koncept využití odpadního tepla. *SAKO Brno* [online]. Brno: SAKO, 2020 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/novinka/cz/1372/zahajili-jsme-provoz-tepelneho-čerpadla/>
- [5] Tepelná čerpadla. *Tepelna-čerpadla-slansky* [online]. 2021 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <http://www.tepelna-čerpadla-slansky.cz/inpage/tepelna-čerpadla/>
- [6] MASTNÝ, Petr. Specifikace tepelných čerpadel pro využití v TZB. *Casopisstavebnictv* [online]. 2007 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-specifikace-tepelnych-čerpadel-pro-vyuziti-v-tzb.html>
- [7] DŘÍMAL, Petr. *Tepelná čerpadla, geotermální energie* [online]. 2014 [cit. 2021-7-23]. ISBN 978-80-88058-05-2. Dostupné z: <https://ecvut.publi.cz/book/93-tepelna-čerpadla-geotermalni-energie>
- [8] ELEKTRONICKÝ EXPANZNÍ VENTIL. *SPIRÁLA Tepelná čerpadla* [online]. 2021 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.tepelna-čerpadla-spirala.cz/elektronicky-expanzivni-ventil>
- [9] Elektronicky řízený expanzní ventil Carel. *ELTEX* [online]. 2012 cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.eltex-km.cz/el-expanzni-ventil-carel>
- [10] GAVED, Adrew. Honeywell launches R515B, its latest nonflammable HFO, as R134a replacement. *Racplus* [online]. 2020 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.racplus.com/news/honeywell-launches-r515b-its-latest-nonflammable-hfo-as-r134a-replacement-04-02-2020/>
- [11] Opteon™ XP10 (R-513A) Refrigerant. *Opteon* [online]. 2021 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.opteon.com/en/products/refrigerants/xp10>
- [12] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-3955-9.
- [13] Deskové výměníky tepla. *Dasal* [online]. [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <http://www.dasal.cz/produkty/deskove-vymeniky-tepla/>
- [14] Výměníky tepla. *Vosmik* [online]. 2021 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.vosmik-vymeniky.cz/>
- [15] Filtrdehydrátory. *Ekotez* [online]. [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: [http://www.ekotez.cz/chlazeniklima-materialvybaveni-filtrdehydratory-vlozky-c-1\\_35.html](http://www.ekotez.cz/chlazeniklima-materialvybaveni-filtrdehydratory-vlozky-c-1_35.html)
- [16] METODIKA PRO NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA ZEMĚ – VODA. *AVTC* [online]. 2012 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: [https://www.avtc.cz/?download=\\_/dokum/metodika-pro-navrh-tepelneho-čerpadla-zeme---voda\\_28\\_5\\_2012-pracovni-verze.pdf](https://www.avtc.cz/?download=_/dokum/metodika-pro-navrh-tepelneho-čerpadla-zeme---voda_28_5_2012-pracovni-verze.pdf)
- [17] Základní rozdělení tepelných čerpadel. *Stavebnictvi3000* [online]. 2017 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/zakladni-rozdeleni-tepelnych-čerpadel>

- [18] Časté omyly a bludy o tepelných čerpadlech. *Abeceda-cerpadel* [online]. [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/omyly-a-bludy>
- [19] *Heating and cooling with a heat pump* [online]. 1. Canada: Office of Energy Efficiency, 2004 [cit. 2021-7-23]. ISBN 066237827X. Dostupné z: <https://1lib.cz/book/2051235/351273>
- [20] Voda-voda-schema-studna. *Termowatt* [online]. [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <http://www.termowatt.cz/tepelna-cerpadla/img/Voda-voda-schema-studna-Full.jpg>
- [21] ZR81KRE-TFD. *Emerson* [online]. [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://climate.emerson.com/en-gb/shop/1/copeland-eu-sku-8881943-en-gb>
- [22] Vygenerováno pomocí softwaru Coolselector2 od firmy Danfoss
- [23] Vygenerováno pomocí softwaru Select 8 desktop od firmy Emerson
- [24] PAVLÍČEK, Adam *Schéma tepelného čerpadla 2021*
- [25] B25T. *SWEP* [online]. [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.swep.net/products/b25t/>
- [26] Thermodynamic Properties of Opteon™ XP10 (R-513A) SI Units. *Opteon* [online]. [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.opteon.com/en/-/media/files/opteon/opteon-xp10-thermo-properties-si.pdf?rev=bc81aba6ae374fcba1a19a6fc9aae83d>
- [27] Danfoss a chladiva s nízkým GWP. *Danfoss* [online]. 2018 [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://assets.danfoss.com/documents/94588/AD135486444159cs-000801.pdf>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
$\Delta t$	Rozdíl teplot	$^{\circ}\text{C}$
$d_1$	Průměr sacího potrubí	mm
$d_2$	Průměr výtlačného potrubí	mm
$d_3$	Průměr potrubí pro kapalinu	mm
COP	Topný faktor	–
$i_2$	Entalpie chladiva v plynné fázi při $60\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
$i_3$	Entalpie chladiva v kapalně fázi při $60\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
$\dot{m}$	Hmotnostní průtok	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
$Q$	Výkon	kW
$Q_{el}$	Energie pro pohon kompresoru	kW
$Q_{in}$	Energie získaná z okolí	kW
$Q_{out}$	Energie odevzdaná do okolí	kW
$S$	Plocha potrubí	$\text{m}^2$
$T_{in}$	Teplota zdroje tepla	K
$T_{out}$	Teplota na výstupu	K
$\dot{V}$	Objemový průtok	$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
$\dot{V}_1$	Sací objemový průtok	$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
$\dot{V}_2$	Výtlačný objemový průtok	$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
$\dot{V}_3$	Objemový průtok kapaliny	$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
$v_1$	Měrný objem chladiva v plynné fázi při $12\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$v_2$	Měrný objem chladiva v plynné fázi při $60\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$v_3$	Měrný objem chladiva v kapalně fázi při $60\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$
$w_1$	Rychlost v sacím potrubí	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
$w_2$	Rychlost ve výtlačném potrubí	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
$w_3$	Rychlost kapaliny	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

## **SEZNAM OBRÁZKŮ**

- Obrázek 1: Princip tepelného čerpadla [5]  
Obrázek 2: T-S diagram levotočivého Carnotova cyklu [6]  
Obrázek 3: Princip fungování kompresoru scroll [3]  
Obrázek 4: Elektronický expanzní ventil [9]  
Obrázek 5: Rozdělení chladiv podle vlastností. [27]  
Obrázek 6: Deskový výměník tepla [13]  
Obrázek 7: Tepelné čerpadlo voda–voda [20]  
Obrázek 8: Tepelné čerpadlo s plošným kolektorem [19]  
Obrázek 9: Tepelné čerpadlo s vertikálním kolektorem [16]  
Obrázek 10: Schéma tepelného čerpadla [24]  
Obrázek 11: Kompresor ZR81KCE-TFD [21]  
Obrázek 12: Křivka výkonu expanzního ventilu [22]  
Obrázek 13: Výměník tepla B25T od firmy SWEP [25]

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: Porovnání tepelného čerpadla v podobě splitu a monobloku

Tabulka 2: Výhody a nevýhody tepelného čerpadla Vzduch–voda

Tabulka 3: Závislost hloubky a výkonu podle podloží

Tabulka 4: Výhody a nevýhody tepelného čerpadla Země–voda

Tabulka 5: Výhody a nevýhody tepelného čerpadla Vzduch–vzduch