ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

POKROČILÁ TEPELNÁ ČERPADLA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

TOMÁŠ MRZENA 5 – TZSI – 2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mrzena** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **466546**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**

Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**

Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Pokročilá tepelná čerpadla

Název bakalářské práce anglicky:

Advanced Heat Pumps

Pokyny pro vypracování:

Proveďte rešerši využití pokročilých technologií v tepelných čerpadlech, zejména v oblasti kompresorů, chladiv a konceptů chladivového oběhu. Zhodnoťte budoucí potenciál nasazení pokročilých tepelných čerpadel v budovách.

Seznam doporučené literatury:

Matuška, T., Sedlář, J., Straka, T.: Hodnocení tepelných čerpadel ve světle nové legislativy, Společnost pro techniku prostředí, 2016.
Databáze článků Sciencedirect.
Databáze patentů (Úřad průmyslového vlastnictví, European Patent Office)

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **24.04.2019** Termín odevzdání bakalářské práce: **24.06.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D. podpis vedoucí(ho) práce	doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Ing. Michael Valášek, DrSc. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

24. 4. 2019 Datum převzetí zadání	Mrzena Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Souhrn

Bakalářská práce se zabývá pokročilými tepelnými čerpadly. Cílem práce je shrnout základní poznatky o tepelných čerpadlech používaných v současnosti pro vytápění a přípravu teplé vody v budovách a ukázat pokročilá řešení tepelných čerpadel, která se pravděpodobně budou v blízké budoucnosti používat. Jedná se zejména o tepelná čerpadla s novými chladivy, ať už syntetickými nebo přírodními (CO2, čpavek, voda) nebo tepelná čerpadla s konstrukčními prvky, které zvyšují jejich efektivitu nebo využitelnost přečerpaného tepla.

V první části bakalářské práce je stručně nastíněna historie tepelných čerpadel. Je popsán princip konvenčního řešení tepelného čerpadla a jeho hlavní prvky. Druhá část bakalářské práce se věnuje problematice pokročilých tepelných čerpadel. Pokročilá tepelná čerpadla jsou rozdělena na tepelná čerpadla s regulací výkonu, tepelná čerpadla s pokročilými oběhy, tepelná čerpadla s novými chladivy a plynová tepelná čerpadla. Výstupem bakalářské práce je zhodnocení budoucího potenciálu nasazení pokročilých tepelných čerpadel v budovách.

Summary

The bachelor thesis deals with advanced heat pumps. The aim of this work is to summarize the basic knowledge about heat pumps used for heating and hot water preparation in buildings and to show advanced heat pump solutions that are likely to be used in the near future. These include, in particular, heat pumps with new refrigerants with synthetic or natural (CO2, ammonia, water), or heat pumps with structural elements that increase their efficiency or utilize the heat pumped. The first part of the thesis briefly outlines the history of heat pumps. The principle of a conventional heat pump solution and its main elements is described. The second part of the thesis deals with the issue of advanced heat pumps. Advanced heat pumps are divided into heat pumps with power control, heat pumps with advanced circuits, heat pumps with new refrigerants and gas heat pumps. The output of the bachelor thesis is to evaluate the future potential of using advanced heat pumps in buildings.

Prohlášení

„Prohlašuji, že tato práce je mým původním autorským dílem. Veškerá literatura a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury a v práci jsou řádně citovány. Práce nebyla použita k získání jiného nebo stejného titulu.“

V Praze, dne 20.6.2019 Tomáš Mrzena

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Tomáši Matuškovi, Ph.D. za odborné vedení práce, cenné rady, ochotu a čas, který mi při psaní této práce věnoval. Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu během studia.

Obsah

Souhrn 3

Prohlášení 4

Poděkování 5

Obsah 6

Soupis použitých značení 8

Seznam obrázků 9

Seznam tabulek 9

1. Úvod 10

2. Tepelné čerpadlo 11

2.1. Historický vývoj tepelných čerpadel 11

2.2. Princip tepelného čerpadla 13

2.3. Součásti tepelného čerpadla 16

2.3.1. Kompresor 16

2.3.2. Výparník 18

2.3.3. Kondenzátor 18

2.3.4. Expanzní ventil 19

2.3.5. Chladiva 19

2.3.6. Mazací oleje 24

3. Pokročilá tepelná čerpadla 25

3.1. Tepelná čerpadla s regulací výkonu 25

3.1.1. Digital scroll kompresor 25

3.1.2. Kompresor s regulací otáček (inverter)..... 26

3.2. Tepelná čerpadla s pokročilými oběhy..... 27

3.2.1. Tepelná čerpadla s chladičem přehřátých par..... 27

3.2.2. Tepelná čerpadla s dochlazovačem kapalného chladiva 27

3.2.3. Tepelná čerpadla s kompresorem se vstřikováním chladiva 28

3.3. Plynová tepelná čerpadla 28

3.3.1. Absorpční tepelná čerpadla 28

3.3.2. Tepelná čerpadla s plynovým motorem 31

3.4. Tepelná čerpadla s novými chladivy..... 32

3.4.1. Oxid uhličitý (R744) 32

3.4.2. Čpavek (R717) 33

3.4.3. Voda (R718)..... 33

4. Závěr 35

5. Literatura 36

Soupis použitých značení

p_v	[Pa]	Vypařovací tlak
t_v	[°C]	Vypařovací teplota
t_k	[°C]	Kondenzační teplota
$\dot{Q}_V$	[W]	Vypařovací výkon (výkon výparníku)
P_{ie}	[W]	Izoentropický příkon
$\dot{Q}_K$	[W]	Kondenzační výkon (výkon kondenzátoru)
COP	[-]	Topný faktor tepelného čerpadla
COP_R	[-]	Topný faktor Rankinova oběhu
p_K	[-]	Kondenzační tlak
ODP	[-]	Potenciál vlivu chemické látky v atmosféře na ozonovou vrstvu Země
GWP	[-]	Potenciál globálního oteplování Země (skleníkový efekt)
TEWI	[-]	Celkový potenciál globálního oteplování
x	[g/kg s.v.]	Suchost páry

Seznam obrázků

Obr. 1: Vývoj počtu instalací v ČR [3] 13

Obr. 2: Zjednodušené schéma TČ [5] 14

Obr. 3: Idealizovaný Rankinův cyklus v p-h souřadnicích [5] 15

Obr. 4: Umístění spirál a kontrukční průřez kompresoru SCROLL [6] 17

Obr. 5: Průběh teplot azeotropních a zeotropních chladiv [5] 20

Obr. 6: Možnosti využívání chladiv dle nařízení EU od roku 2015 do roku 2030 21

Obr. 7: Digital scroll kompresor [6] 26

Obr. 8: Schéma tepelného čerpadla s kompresorem se vstřikováním par [6] 28

Obr. 9: Schéma funkce absorpčního tepelného čerpadla [24] 30

Obr. 10: Fázový diagram vody [20] 34

Seznam tabulek

Tab. 1: Rozdělení chladiv dle nebezpečnosti [9] 22

Tab. 2: Odhad poměrů používaných chladiv v tepelných čerpadlech v Evropské unii [9] 23

1. Úvod

V poslední době výrazně stoupl v České republice zájem o tepelná čerpadla, která se využívají pro vytápění budov a také pro přípravu teplé vody, a to z mnoha důvodů. Za hlavní příčinu nárůstu zájmu o tepelná čerpadla lze považovat především nárůst cen paliv a energií. Dalším důvodem mohou být též dotační programy podporované státem či Evropskou unií na zařízení pro vytápění budov, které užívají obnovitelné zdroje energie. V současné době (2019) se jedná zejména o dotační programy jako Nová zelená úsporám, který mimo jiné usiluje o environmentálně šetrné způsoby vytápění a instalaci obnovitelných zdrojů energie. Dalším dotačním program je Operační program Životního prostředí tzv. Kotlíková dotace, který umožňuje čerpat dotace na výměnu starých, neekologických kotlů na pevná paliva právě za ekologicky šetrnější způsoby vytápění jako například tepelná čerpadla. Jako hlavní nevýhodu těchto zařízení lze považovat vyšší pořizovací cenu. Tu ovšem kompenzují nízké roční provozní náklady.

Tepelná čerpadla využívají nízkopotenciální teplo (teplo okolního prostředí), které dále převádí na vyšší teplotní hladinu pro další využití. Mezi nejčastější zdroje nízkopotenciálního tepla patří okolní vzduch, energie zemního masívu a teplo ze spodní nebo povrchové vody.

2. Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je zařízení, které odnímá teplo z okolního prostředí a prostřednictvím tepelného oběhu ho přečerpává na vyšší teplotní hladinu, na které ho lze účelně využít pro vytápění vnitřních prostor či k přípravě teplé vody. K přečerpání tepla je zapotřebí dodat určité množství energie. [1]

2.1. Historický vývoj tepelných čerpadel

Princip tepelného čerpadla byl poprvé formulován v roce 1852 lordem Kelvinem vlastním jménem Williamem Thomsonem. První formulace zněla: „obráceně fungujícího tepelného motoru je možno použít nejen k chlazení, ale i k ohřívání “. Nicméně v průmyslovém odvětví bylo tepelné čerpadlo aplikováno poprvé až v roce 1927, tedy 75 let od formulování myšlenky. Tepelné čerpadlo s tepelným výkonem 1,4 MW použil T. Haldane k vytápění úřední budovy v Los Angeles. Hlavním důvodem, proč mezi formulováním myšlenky a sestrojením prvního tepelného čerpadla byla poměrně dlouhá doba nebyla zapříčiněna obtížností technického řešení, nýbrž ekonomickou a provozní nevýhodností ve srovnání s ostatními topnými systémy a velkého množství levných paliv. [1]

Tepelná čerpadla byla využívána za II. světové války ve Švýcarsku, které bylo závislé na dovozu veškerých paliv. Z tohoto důvodu zde došlo k rozvoji tepelných čerpadel. Bylo zde vytvořeno několik zařízení jako bylo například zařízení pro vytápění plaveckého bazénu za současného ochlazování ledové plochy umělého kluziště, k vytápění radnice v Curychu a další. Zařízení bylo pozoruhodné svým technickým řešením i bezporuchovým provozem po několik let. [1]

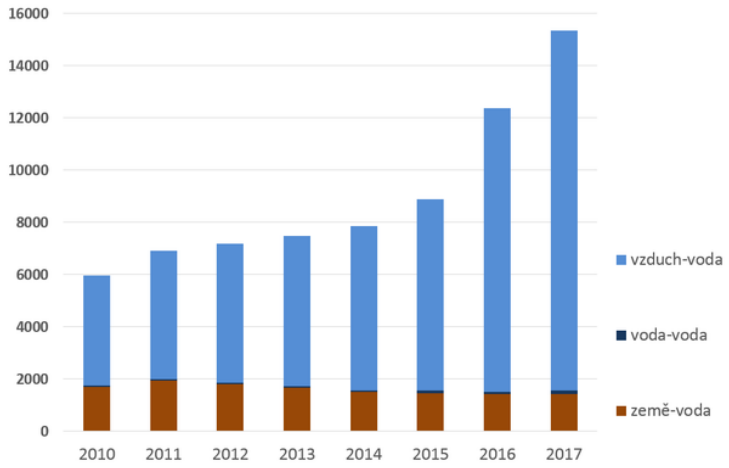
V roce 1932 americká firma Kinetic Chemicals Inc. vyvinula první chladivo, které bylo představeno pod obchodním názvem Freon R12. V té době ještě nebyly informace o škodlivém vlivu freonu na životní prostředí a chladivo bylo považováno

za bezpečné, chemicky stálé a nejedovaté, což mělo vliv na velké rozšíření těchto látek. [1], [2]

V bývalém Československu se začala tepelná čerpadla používat v poválečných letech. Tato tepelná čerpadla pracovala z hlediska provozu a ekonomie více či méně úspěšně. Byla určena například pro sušení při lití filmové emulze (Foma Hradec Králové), sušení s vykondenzováním rozpouštědel při lití filmové podložky nebo pro úpravu pitné vody pro město Zlín (úpravna Tlumačov). Dalším využitím bylo vytápění podzemních prostorů přehrady Lipno či vytápění lázeňských budov ve Štubňanských Teplicích, kde zdrojem tepla byly horké prameny. [1]

Poptávka po tepelných čerpadlech vzrostla v 80. letech 20. století, kdy začaly růst ceny paliv a energií, což zapříčinilo větší rozvoj a rozšíření tepelných čerpadel, která se začala využívat hojněji pro vytápění domů i ohřev vody. V posledních několika letech navíc značnému nárůstu zájmu o tepelná čerpadla napomáhají dotační programy. [1]

Rostoucí zájem o tepelná čerpadla v České republice můžeme vidět na Obr. 1, který zaznamenává vzrůst zájmu o tepelná čerpadla od roku 2010, kdy bylo namontováno přibližně 6 tisíc tepelných čerpadel, až do roku 2017, ve kterém bylo namontováno necelých 16 tisíc tepelných čerpadel. Z daného grafu například vyplývá, že meziroční nárůst prodeje tepelných čerpadel mezi roky 2016 a 2017 stoupl o přibližně o 3 tisíce kusů, což je přibližně 24% meziroční nárůst, kdy 88 % celého trhu tvořila tepelná čerpadla vzduch-voda. V současné době (2019) je v České republice v provozu více než 80 tisíc tepelných čerpadel.



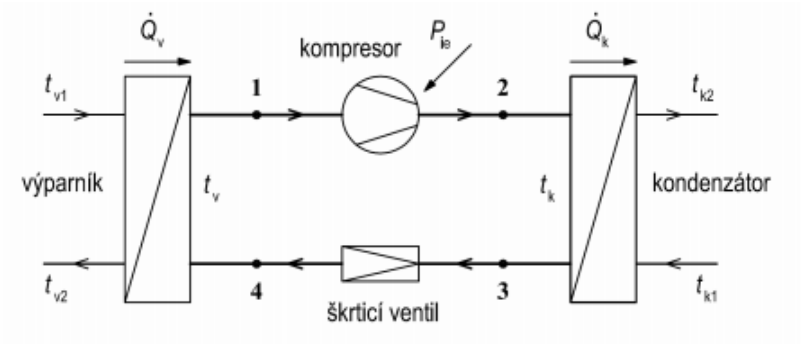
Obr. 1: Vývoj počtu instalací v ČR [3]

2.2. Princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo využívá skutečnost, že bod varu kapaliny je přímo závislý na tlaku. Příkladem je čpavek používaný jako chladivo v některých chladicích zařízeních. Čpavek se při atmosférickém tlaku 101 kPa vaří při teplotě -33 °C. Pokud se ovšem čpavek stlačí na tlak 2 MPa, jeho bod varu stoupne na 50 °C. [4]

Nejrozšířenějšími tepelnými čerpadly jsou parní kompresorová tepelná čerpadla. Tepelné čerpadlo je složeno ze 4 základních komponent jimiž jsou výparník (V), kompresor (C), kondenzátor (K) a škrticí (expanzní) ventil (ŠV). Chladicího účinku je dosahováno vypařováním chladiva ve výparníku a topného účinku kondenzací v kondenzátoru. Kompresor odsává páry z výparníku a stlačuje je. Poháněn je mechanickou prací. Na Obr. 2 je vyobrazeno schéma parního oběhu s jednotlivým prvky. Ochlazovaná látka je přiváděna do výparníku, kde se jí vypařujícím se chladivem odebírá teplo, tudíž klesá teplota ochlazené látky. Vypařování (děj 4-1) probíhá za nízkého vypařovacího tlaku p_V a odpovídající vypařovací teplotě t_V, která je nižší než výstupní teplota ochlazené látky. Dochází k odpaření chladiva, a páry jsou následně z výparníku odsávány kompresorem a stlačeny (komprese 1-2) na vyšší tlak, který je potřebný ke kondenzaci v kondenzátoru. V kondenzátoru dojde k ochlazení a zkapalnění par chladiva (děj 2-3) za vysokého tlaku p_K a kondenzační teploty t_K.

Kondenzační teplota musí být vyšší než výstupní teplota látky, neboť právě do té je odváděno přečerpávané teplo. Aby byl udržen rozdíl tlaků kondenzátoru a výparníku, je mezi nimi umístěn škrticí ventil. Průchodem chladiva škrticím ventilem (expanze 3-4) dochází k prudkému snížení tlaku, kdy kapalné chladivo se částečně odpaří a vstupuje do výparníku jako mokrá pára. [5]



Obr. 2: Zjednodušené schéma TČ [5]

Parní oběh kompresorového tepelného čerpadla s reálnou pracovní látkou lze přibližně popsat idealizovaným Rankinovým levotočivým oběhem. Tento oběh je charakterizován termodynamickými změnami:

1 – 2: izoentropické stlačování syté páry na přehřátou (komprese);

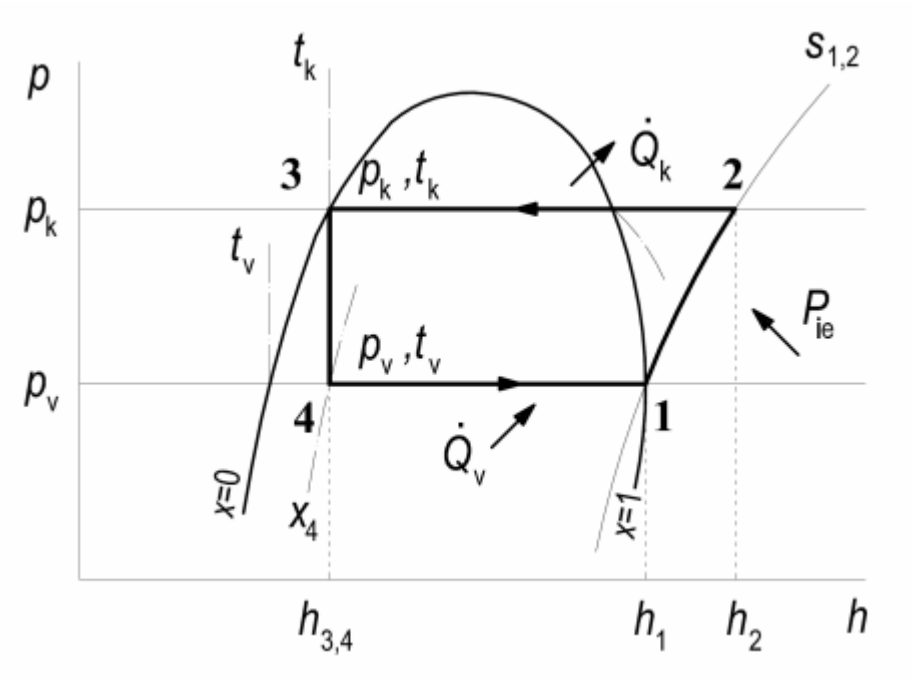
2 – 3: ochlazení přehřátých par na mez sytosti za konstantního tlaku a kondenzace na mez syté kapaliny;

3 – 4: izoentalpické škrcení na mokrou páru;

4 – 1: izobarické vypařování na mez syté páry.

Idealizovaný Rankinův oběh na rozdíl od skutečného oběhu předpokládá nulové ztráty tlaku v oběhu chladiva, izoentropickou (bezztrátovou) kompresi, jednosložkové chladivo bez teplotního skluzu či předpokládá dokonale tepelně izolované tepelné čerpadlo (eliminace sdílení tepla s okolím během škrcení a

komprese). Reálný oběh tepelného čerpadla se od idealizovaného Rankinova oběhu odchyluje především v reálné kompresi par chladiva, podchlazení kapalného chladiva a přehřátí par nasávaných kompresorem. Tepelný diagram idealizovaného Rankinova oběhu tepelného čerpadla je uveden na Obr. 3. [5]



Obr. 3: Idealizovaný Rankinův cyklus v p-h souřadnicích [5]

Ve výparníku je do oběhu přiváděn vypařovací výkon $\dot{Q}_V$ z ochlazování prostředí za konstantního vypařovacího tlaku. Kompresor odsává páry na mezi sytosti (x = 1), a do oběhu je přiváděn izoentropický příkon P_{ie} pro přečerpání vypařovacího výkonu na využitelnou teplotní hladinu. V kondenzátoru dochází k ochlazování přehřáté páry na mez sytých par (x = 1) a dále se páry srážejí až na mez syté kapaliny (x = 0). Z oběhu je odváděn kondenzační výkon $\dot{Q}_K$. Pro tepelnou bilanci Rankinova oběhu platí rovnice (1). [5]

$$\dot{Q}_V + P_{ie} = \dot{Q}_K \tag{1}$$

Důležitou veličinou je topný faktor COP (z angl. Coefficient of Performance). Topný faktor Rankinova oběhu je definován jako poměr tepelného výkonu

odváděného z oběhu (z kondenzujícího chladiva) v kondenzátoru do ohřívané látky k izoentropickému příkonu kompresoru pro pohon parního oběhu. (2) [5]

$$COP_R = \frac{\dot{Q}_K}{P_{ie}} \tag{2}$$

2.3. Součásti tepelného čerpadla

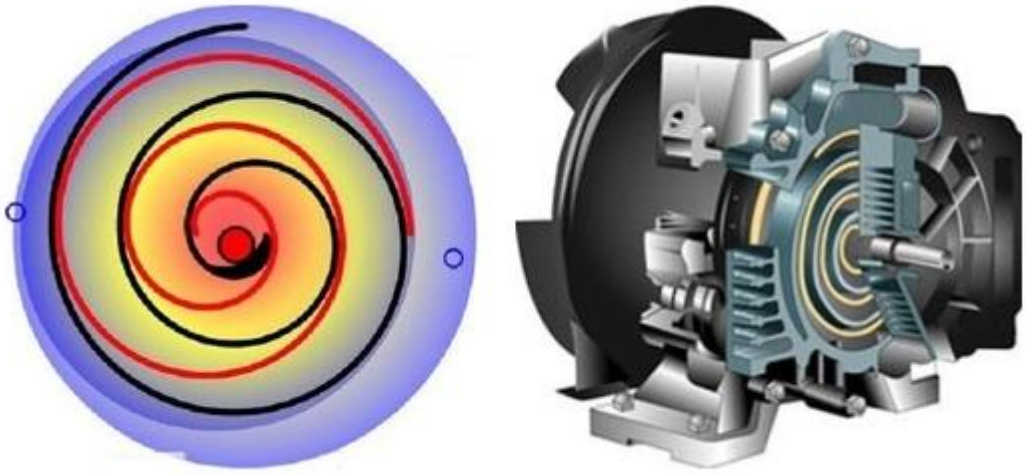
Tepelné čerpadlo je složeno z několika částí. Mezi ty nejdůležitější patří kompresor, tepelné výměníky – výparník, kondenzátor, expanzní ventil a chladivo. [4]

2.3.1. Kompresor

Kompresor má v tepelném čerpadle funkci nasávání par chladiva z výparníku při tlaku chladiva, který odpovídá výparné teplotě, a jejich stlačení na vyšší tlak, který odpovídá kondenzační teplotě. Obvyklé hodnoty pro tlak na sání se pohybují v rozmezí 0,1 MPa až 0,5 MPa a pro výtlak v rozmezí 0,5 MPa až 2,5 MPa. Tyto hodnoty jsou orientační a mohou se měnit v závislosti na chladivu a teplotě prostředí, ze kterého se čerpá teplo. Nejvíce používané kompresory pro vytápění rodinných, bytových domů a průmyslových objektů jsou kompresory rotační (scroll). Pístové kompresory se v dnešní době využívají již jen ve velkých zařízeních. Aby došlo k zabránění zbytečného úniku chladiva do atmosféry přes spojovací těsnění, jsou většinou tyto kompresory hermetické. Hermetické kompresory jsou kompresory, které mají kompresní část a pohonný elektrický motor uložen v jedné tlakově uzavřené nádobě. [6]

Počátky vzniku kompresoru typu scroll jsou datovány na počátku 20. století. Strukturu kompresoru tvoří dvě spirály, které jsou vloženy do sebe. Jedna spirála je pevná (spojená se statorem) a druhá excentricky krouží (spojená s rotorem). Na obvodu se nasávají páry chladiva a následně dochází k jejich postupnému stlačování a přesunu pracovního prostoru směrem do středu, což je vidět na Obr. 4. Uprostřed je vyveden výfukový otvor, kterým jsou stlačené páry chladiva odváděny ven.

Důležitým aspektem u kompresoru je nepřetržité mazání spirál, které zajistí, že nebude docházet k otěru. Účinnost mazání je snížena za nízkých průtoků chladiva, což může zapříčinit, že dojde předčasnému opotřebení kompresoru. Díky své konstrukci je ovšem kompresor typu scroll použitelný pro různá chladiva. Životnost kompresorů scroll je udávána kolem 20 let. [6]



Obr. 4: Umístění spirál a kontrukční průřez kompresoru SCROLL [6]

V některých tepelných čerpadlech je používán dvojitý rotační kompresor, který se skládá ze dvou pevných komor, kdy v každé rotuje excentrická vačka. Excentrická vačka stlačuje chladivo. Aby došlo k vyrovnání namáhání hřídele a ložisek motoru, jsou obě vačky uloženy na jedné hřídeli v protilehlých polohách. Kompresory se vyznačují tichým chodem, malým mechanickým namáháním a pracují s vysokou účinností. Otáčky je možné uměle regulovat pomocí frekvenčního měniče tak, aby byly úměrné výkonu kompresoru. [6]

2.3.2. Výparník

Výparník plní funkci odebírání tepla nízkopotenciálnímu zdroji tepla. Za nízké teploty a tlaku má chladivo schopnost vypařovat se a odebírat teplo z teplonosné látky i za velmi nízkých teplot. Pro kapaliny jsou většinou výměníky letované deskové, pro vzduch jsou pak trubkové žebrované. Trubkové žebrované výměníky jsou konstruovány tak, že potrubí je měděné s hliníkovými žebry. Na primární straně výparníku dochází k ochlazování teplonosné látky, kterou může být vzduch, voda či nemrznoucí směs. Vzduch využívaný jako teplonosná látka je odpadní, venkovní a využívaný ve vzduchových tepelných čerpadlech. Voda je studniční, odpadní a využívá se v tepelných čerpadlech voda-voda. U těchto dvou výše jmenovaných teplonosných látek je teplo odebíráno přímo z nízkopotenciálního zdroje tepla. Nepřímý odběr tepla ze země přes teplonosnou kapalinu probíhá u nemrznoucí směsi, která je využívána u tepelných čerpadel země-voda. Sekundární stranou výparníku je strana chladiva, kde dochází k vypařování chladiva za konstantního, nízkého tlaku a při teplotě nižší než je výstupní teplota teplonosné látky. [5]

2.3.3. Kondenzátor

Kondenzátor předává kondenzační teplo chladicího cyklu do otopné soustavy (ohřev vody nebo vzduchu). Chladivo kondenzuje za vysoké teploty a tlaku a odevzdává teplo do teplonosné látky. Kondenzační teplota chladiva je vyšší než výstupní teplota otopné vody, která patří mezi nejčastější teplonosné látky. [4], [5]

Podobně jako výparník je i kondenzátor složen z primární a sekundární strany. Vstupem do kondenzátoru je přehřátá pára, která je ochlazována na mez sytosti. Teplotu na mezi sytosti lze vypočítat dle empirického vztahu (7). Následně kondenzuje až pod mez syté kapaliny, a to z důvodu eliminace vstupu bublinek do expanzního ventilu. Nejčastěji se jako kondenzátory pro tepelná čerpadla využívají pájené či svařované deskové výměníky. [5], [7]

2.3.4. Expanzní ventil

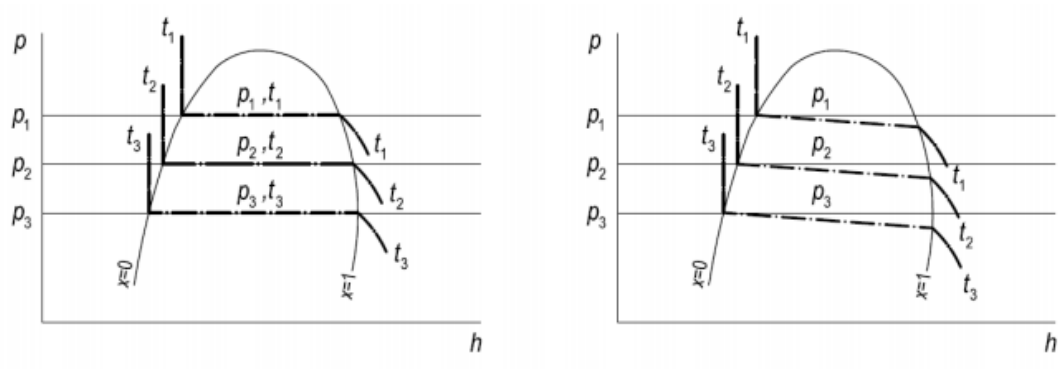
Úkolem expanzního ventilu je udržování tlakového rozdílu mezi vysokotlakou a nízkotlakou stranou chladicího oběhu. V závislosti na výstupní teplotě výparníku reguluje průtok chladiva do výparníku a udržuje požadované přehřátí chladiva za výparníkem. Chladivo vstupuje do výparníku jako směs páry a mokré páry. Jelikož se jedná o uzavřený okruh, tak ventilem proudí pouze tolik chladiva, kolik je schopen kompresor stlačit. Expanzní ventily jsou řízeny elektronicky (EEV) či termostaticky (TEV). Nejčastěji jsou dnes využívány expanzní elektronické ventily. Expanzní ventily mají regulační člen, který zavírá či otevírá trysku ventilu v závislosti na teplotě a tím udržují přehřátí par před vstupem do kompresoru na 4 až 8 K. [4], [5], [8]

2.3.5. Chladiva

Chladivo je pracovní látkou tepelného čerpadla, která obíhá v uzavřeném okruhu a přenáší teplo. Ve výparníku odebírá energii za nízké teploty a následně předává tuto energii v kondenzátoru za vysoké teploty. Ve výparníku dochází ke změně skupenství chladiva z kapalného na plynné a v kondenzátoru opět na kapalné. [5], [11]

Chladiva lze obecně dělit na azeotropní a zeotropní. Azeotropní chladiva se chovají jako čisté kapaliny. Mohou být jednosložková či vícesložková a během změny skupenství se nemění složení kapaliny a par. Příkladem jednosložkového azeotropního chladiva je R290 (propan). Zeotropní chladiva je většinou směs více druhů chladiv (obvykle 2 až 4). Vlivem nestejnoměrného vypařování jednotlivých složek chladiva dochází k proměnnému složení během změny skupenství. Udáván je tzv. teplotní skluz, který je definován jako izobarický rozdíl ve vypařovacích teplotách jednotlivých složek chladiva. U zeotropních chladiv dochází k mírné změně teploty během skupenských změn. Během vypařování má teplota tendenci mírného nárůstu a při kondenzaci mírně klesá. V tom se liší zeotropní chladiva od azeotropních, kde je teplota při skupenské přeměně konstantní. Průběh teplot při skupenských změnách

u zeotropních a azeotropních chladiv je vyobrazen na Obr. 5. Levá část popisuje průběh teplot azeotropních chladiv, pravá pak průběh teplot chladiv zeotropních. Příkladem zeotropního chladiva je známé chladivo R407a. [5]

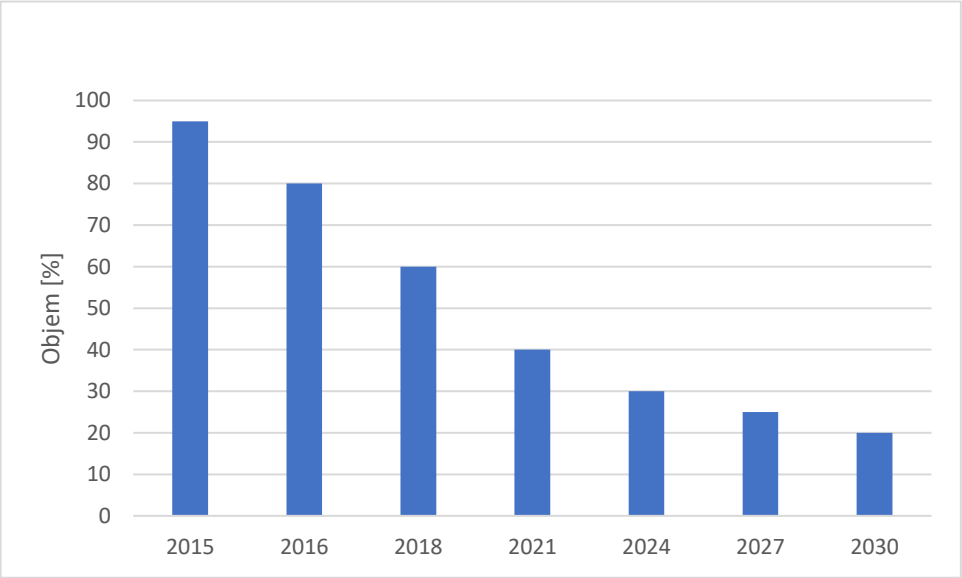


Obr. 5: Průběh teplot azeotropních a zeotropních chladiv [5]

Dle chemického složení dělíme chladiva do 4 možných skupin (CFC, HCFC, HFC, HC). CFC jsou plně halogenizované uhlovodíky. Všechny atomy vodíku v molekule jsou nahrazeny atomy halogenidů (F, Cl, Br, I). Nazývány jsou „tvrdé freony“ a řadí se mezi ně chladiva R11, R12, R13, R113, R114, R115, R502, R503 a další. HCFC jsou chlorofluorované uhlovodíky. Mají v molekule i atomy vodíku a jsou nazývány „měkké freony“. Do skupiny měkkých freonů patří chladiva R21, R22, R141b, R142b, R123 a R124. HFC dle zkratky nemají v molekule atomy chloru ale pouze fluor. Příkladem HFC jsou R134a, R152a, R125, R32, R218, R407c a R404a. Přírodní uhlovodíky a jejich směsi patří do skupiny chladiv se zkratkou HC. Jsou sice zcela bez halogenidů, ale jsou hořlavé. [5], [11]

Chladiva se dělí dle vlivu na životní prostředí a jejich škodlivosti v případě úniku netěsnostmi. Chladiva a jejich vliv na životní prostředí jsou posuzovány dle tří hlavních faktorů. Prvním faktorem je *ODP* (Ozon Depletion Potencial), který charakterizuje vliv dané chemické látky v atmosféře na poškozování ozonové vrstvy Země. Referenční látkou je R11 a rozměr *ODP* je tedy kilogram R11 ku kilogramu posuzovaného chladiva. Druhým faktorem pro posuzování vhodnosti chladiv je *GWP* (Global Warming Potential). *GWP* udává potenciál vlivu na globální oteplování Země

neboli skleníkový efekt. Jedná se o možný vliv v případě úniku chladiva do atmosféry. Lze ho definovat jako poměrný oteplovací účinek daného chladiva na atmosféru Země v porovnání s účinkem čistého CO_2. Referenční hodnota *GWP* je hodnota oxidu uhličitého, který má hodnotu 1. *GWP* chladiva R134a je 1430. Z těchto poznatků lze říci, že jeden kilogram látky R134a má stejný vliv na oteplování klimatického systému Země jako kdyby do něj bylo vypuštěno 1430 kg oxidu uhličitého (CO_2). Čím vyšší je hodnota *GWP*, tím je chladivo nebezpečnější pro životní prostředí. Nařízení EK 517/2014 stanovuje hranici *GWP* ve výši 2500. Chladiva s vyšší hodnotou *GWP* než je 2500 nebude možné od roku 2020 používat. Na Obr. 6 je znázorněn pokles množství chladiv, která bude možné využívat postupem času od roku 2015 do roku 2030. [5], [9], [10]



Obr. 6: Možnosti využívání chladiv dle nařízení EU od roku 2015 do roku 2030

Je zřejmé, že není možné žít v budoucnu pouze s 20 % objemu chladiv, pokud se působnost chlazení neustále rozšiřuje. Omezení chladiv s hodnotou *GWP* 2500 a vyšší bylo přijato nejen Evropskou unií, ale také v USA, Japonsku a dalších státech. Došlo tedy k celosvětovému hledání způsobu, jak tato chladiva nahradit. Začalo se využívat již známých chladiv jak přírodních (voda, čpavek, oxid uhličitý, propan), tak syntetických jako jsou například isobutan, R32, R154 a další. Každá z těchto látek má

ovšem nějaké limitující vlastnosti, které omezují jeho využití. Například u oxidu uhličitého (CO_2) se jedná velmi vysoké pracovní tlaky v rozmezí 80 až 180 barů a hlavně nadkritický cyklus. U amoniaku neboli čpavku (NH_3) se jedná o jedovatost. Propan a další syntetické uhlovodíky jsou hořlavé. Bylo zjištěno, že čím nižší je hodnota *GWP*, tím jsou chladiva hořlavější. Vznikla tím nová skupina chladiv s označením A2L, která nejsou zápalná elektrickou jiskrou nebo výbojem, ale pouze otevřeným plamenem. Schéma rozdělení chladiv do skupin dle nebezpečnosti je uvedeno v Tab. 1. [9]

Tab. 1: Rozdělení chladiv dle nebezpečnosti [9]

	Rychlost hoření	Nízká toxicita	Vysoká toxicita
Nehořlavé	0,0 cm/s	A1	B1
Málo hořlavé	< 10 cm/s	A2L	B2L
Hořlavé	> 10 cm/s	A2	B2
Vysoce hořlavé		A3	B3

Do skupiny chladiv A2 se řadí například chladivo R152a, které má rychlost hoření 23 cm/s. Propan (R290) patří do skupiny A3 s hořlavostí 43 cm/s. Amoniak (NH_3) neboli chladivo R717 má rychlost hoření 7,7 cm/s a řadíme ho do skupiny R2L. Do skupiny A1 spadají chladiva R134a, R404A, R407C, R410A a další. [9]

Třetím faktorem je ukazatel *TEWI* (Total Global Warming Impact), který udává celkový potenciál globálního oteplování. Jde o způsob posuzování přímého vlivu emisí chladiva a nepřímého vlivu oxidu uhličitého z energetického provozu zařízení. V ukazateli *TEWI* je zahrnut nepřímý účinek z emisí oxidu uhličitého při spalování fosilních paliv během výroby elektrické energie k pohonu zařízení a přímý účinek na globální oteplování za podmínek úniku chladiva netěsnostmi. Z toho vyplývá, že ukazatel se nevztahuje pouze k samotnému chladivu, ale také k účinnosti chladicího

zařízení tepelného čerpadla. Problémem správného odhadu jsou faktory jako provozní doba, životnost zařízení, topný/chladicí faktor a celková účinnost zařízení, kterého je součástí. [9], [10]

Mezi nejběžněji využívaná chladiva patří R134a (1430), R404A (3922), R407C (1774), R407F (1825), R410A (2088) a R507 (3895). V závorce je uvedena hodnota *GWP* pro dané chladivo. Chladivo R22 je v civilním sektoru zakázáno využívat. V současnosti se využívá pouze v jaderných elektrárnách. [9]

Tab. 2: Odhad poměrů používaných chladiv v tepelných čerpadlech v Evropské unii [9]

Chladivo	2005	2010	2015	2020	2030	2050
R404a	4	2	0	0	0	0
R407c	44	30	20	10	0	0
R410a	50	66	75	50	15	0
R134a	2	2	0	0	0	0
Čisté uhlovodíky	0	0	2	16	43	50
CO_2	0	0	0	4	13	25
HFO (např. R1234yf)	0	0	3	20	30	25

Dle tabulky Tab. 2 lze předpokládat, že v budoucnu by měl být zvýšen podíl chladiv CO_2 a čistých uhlovodíků. Klesat by měl postupně poměr chladiv R407c a R410a.

2.3.6. Mazací oleje

Mazací oleje slouží primárně pro mazání kompresoru. Nicméně přibližně 1 až 4 % hmotnosti obíhajícího chladiva tvoří mazací oleje, které jsou s chladivem unášeny po celém okruhu. Musí být dodržena podmínka dobré rozpustnosti oleje v chladivu a být s chladivem kompatibilní. Díky mazacímu oleji lze také dobře nalézt netěsnost při úniku chladiva, neboť mazací olej zanechává mastnou stopu na venkovní straně netěsnosti. [5]

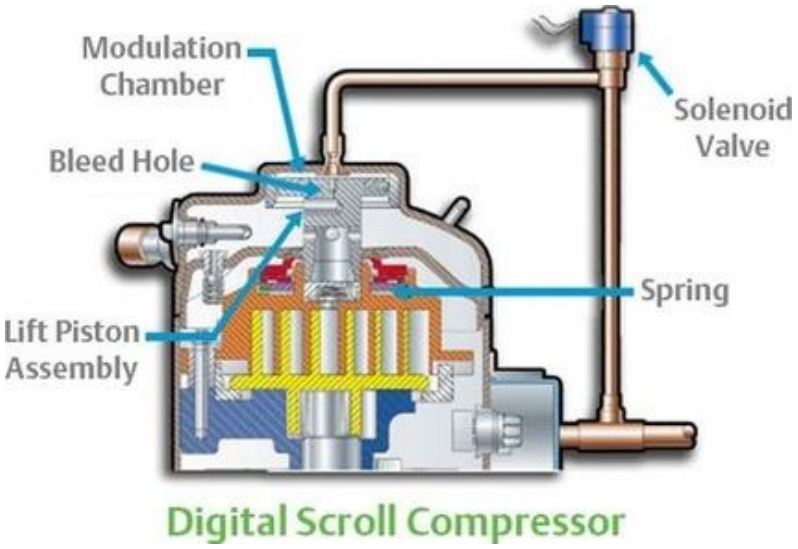
3. Pokročilá tepelná čerpadla

Pokročilá tepelná čerpadla dělíme na tepelná čerpadla s regulací výkonu, tepelná čerpadla s pokročilými oběhy, plynová tepelná čerpadla a tepelná čerpadla s novými chladivy. Tepelná čerpadla s regulací výkonu se dělí na tepelná čerpadla s digital scroll kompresorem a tepelná čerpadla s kompresorem s regulací otáček. Tepelná čerpadla s pokročilými oběhy jsou dělena na tepelná čerpadla s chladičem předehřátých par, s dochlazovačem kapalného chladiva a s kompresorem se vstřikováním chladiva. Do kategorie plynových tepelných čerpadel patří absorpční tepelná čerpadla a tepelná čerpadla s plynovým motorem. V neposlední řadě patří mezi pokročilá tepelná čerpadla také problematika chladiv, která v závislosti na legislativních požadavcích hledá co možná nejekologičtější a zároveň nejúčinnější chladivo. V důsledku toho dnes existují tepelná čerpadla, kde chladivem je oxid uhličitý, čpavek či voda.

3.1. Tepelná čerpadla s regulací výkonu

3.1.1. Digital scroll kompresor

Mezi generace scroll kompresorů řadíme digital scroll kompresor. První uvedení do provozu je datováno v roce 2000, avšak vývoj začal již od roku 1993. Dochází zde k osovému oddálení rotorů kompresoru od sebe, čímž dojde k přerušení, které umožňuje přizpůsobit výkon kompresoru a tím pádem i spotřebovanou energii. Díky tomu lze regulovat tepelný výkon kompresoru v rozmezí 10 až 100 %. Pomocí speciálního solenoidového ventilu je možné měnit tlak v horní části kompresoru [Obr.7]. [6]



Obr. 7: Digital scroll kompresor [6]

3.1.2. Kompresor s regulací otáček (inverter)

Kompresory s regulací výkonu se staly primárně standardem v tepelných čerpadlech vzduch – vzduch. Využití výkonově řízených kompresorů pomocí frekvenčního měniče poskytuje možnosti pro zvýšení výkonu a účinnosti tepelných čerpadel. Úspora energie tepelných čerpadel s řízením otáček je v rozsahu 10 až 25 % ve srovnání s tepelnými čerpadly s kompresory řízenými On/Off. Mimo snížení spotřeby energie dochází u inverterových tepelných čerpadel také ke snížení provozního příkonu, což je důležité zejména při spolupráci tepelného čerpadla s fotovoltaickými systémy, tj. přizpůsobit svůj příkon elektrickému výkonu fotovoltaického systému. Hodnota topného faktoru tepelného čerpadla bez regulace otáček se pohybuje kolem 2,95, zatímco jednotka tepelného čerpadla s proměnnými otáčkami má *COP* asi 3,7. V tomto případě se jedná o ušetření přibližně 18 % primární energie. V roce 2013 profesor Jin sestrojil experimentální systém s kompresorem s variabilními otáčkami a využíval dochlazovač jako mezistupeň. [21], [22]

3.2. Tepelná čerpadla s pokročilými oběhy

3.2.1. Tepelná čerpadla s chladičem přehřátých par

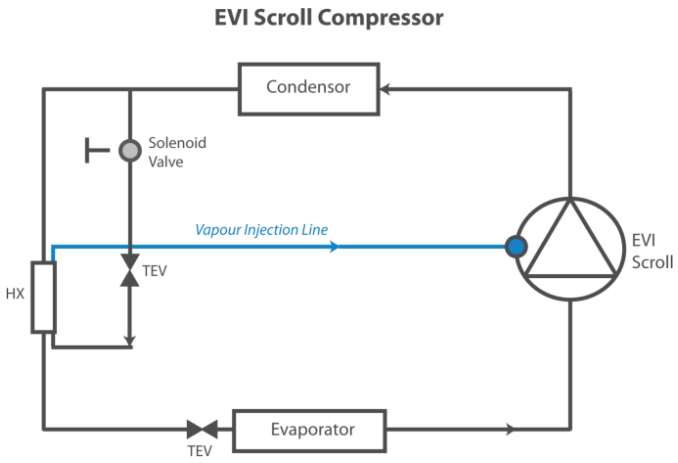
Tepelné čerpadlo je samo o sobě velmi jednoduchý stroj a není využíváno veškerého potenciálu odvodu tepla. Na kondenzační straně může být před kondenzátor umístěn chladič přehřátých par, který má funkci odebírat teplo přehřáté páře po kompresi. O tuto část energie je tak ochuzena proudící pára, a tím dojde k poklesu její teploty. Chladič par standardně pracuje jako výměník, v němž neprobíhá fázová změna, nicméně pokud je teplota vstupující ohřívané teplonosné kapaliny nižší než kondenzační teplota chladiva, část chladiva začíná kondenzovat. Výhodou je, že při ohřevu teplonosné látky pro vytápění (30 až 35 °C) lze zároveň část výkonu využívat pro přípravu teplé vody o vysoké teplotě (50 až 60 °C). [12]

3.2.2. Tepelná čerpadla s dochlazovačem kapalného chladiva

Tepelná čerpadla s dochlazovačem kapalného chladiva mají dochlazovač umístěn mezi kondenzátorem a expanzním ventilem. Dochlazovač plní funkci ochlazování kapalného chladiva po kondenzaci. Dochlazovač může předehřívat studenou vodu a tím zvýšit užitečně odvedené teplo při současném zachování spotřeby elektrické energie. Využití dochlazovače je výhodné v případě, kdy je dostatečný teplotní rozdíl mezi teplotou kondenzační a vody na vstupu do dochlazovače. Naměřený topný faktor dle výzkumu Univerzitního centra energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze z roku 2015 se nejvíce zvýší zhruba o 26 % při teplotách 0/55/10 °C, kdy 0 °C je teplota kapaliny na vstupu do výparníku, 55 °C značí teplotu vody na výstupu z kondenzátoru a 10 °C je teplota na vstupu do dochlazovače. Pokud by se změnila teplota na vstupu do dochlazovače z 10 °C na 20 °C, pak by se topný faktor zvýšil přibližně o 19 %. [12]

3.2.3. Tepelná čerpadla s kompresorem se vstřikováním chladiva

Evi scroll kompresor řadíme mezi typy scroll kompresorů. Systém EVI (Enhanced vapour injection) využívá principu udržování teploty výtlaku kompresoru. Při tomto jevu dochází k přisátí chladných par chladiva do mezirotorového prostoru při stlačování par chladiva. Chladivo přistříkávané do kompresoru lze taktéž využít k podchlazení kapalného chladiva za kondenzátorem, a tím pádem dojde ke zvýšení výkonu. Zvyšuje se ovšem také příkon, neboť kompresor pracuje s větším množstvím chladiva, avšak i přes zvýšení příkonu kompresu je stále energetická účinnost vyšší. Jako nevýhodu je třeba zmínit zvýšená mechanická zátěž, která může zapříčinit rychlejší opotřebení. Hlavní výhodou je, že tepelná čerpadla vzduch - voda s EVI scroll kompresorem lze provozovat až do teploty -20 $^{\circ}C$. [6], [23]



Obr. 8: Schéma tepelného čerpadla s kompresorem se vstřikováním par [6]

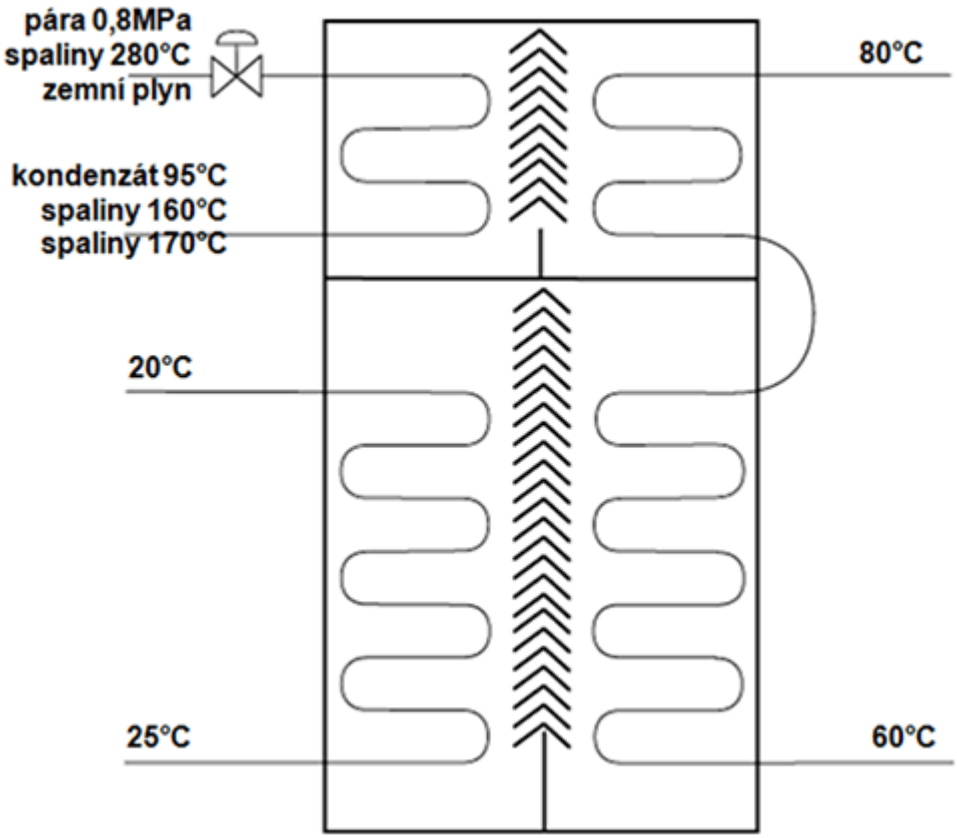
3.3. Plynová tepelná čerpadla

3.3.1. Absorpční tepelná čerpadla

Absorpční tepelná čerpadla jsou založena na absorpčním cyklu. O využití absorpčního cyklu pro vytápění se začalo uvažovat kolem roku 1970. Absorpční cyklus využívá vždy dvou látek, které plní funkci absorbentu a chladiva. V současné době se

jako chladivo využívá čpavek (NH_3) a jako absorbent voda. Druhou alternativou je využití vody jako chladiva a bromidu litného (LiBr) jako absorbentu. Ve výparníku dochází k vypařování roztoku o vysoké koncentraci, která se blíží 1 (tzv. přibližně čisté chladivo), za tlaku daného vypařovací teplotou. Páry chladiva proudí do absorbéru, do něhož z vypuzovače přitéká roztok, který pohlcuje páry chladiva. Koncentrace chladiva v roztoku stoupá, dokud nedosáhne konečné hodnoty, kdy je roztok nazýván jako roztok bohatý na chladivo. Roztok bohatý na chladivo je následně dopravován čerpadlem do vypuzovače, kde je tlak roven tlaku kondenzačnímu. Přiváděním tepla o vysoké teplotě dojde k vypuzení chladiva z roztoku, sníží se koncentrace a chudý roztok je veden zpět do absorbéru. Plynné chladivo je vedeno z vypuzovače do kondenzátoru, zde zkapalní za kondenzačního tlaku a přečerpávané teplo je odvedeno pro využití. Následně je již kapalné chladivo vedeno do výparníku přes škrticí ventil k opětovnému vypaření. V oběhu čpavek – voda odchází z vypuzovače pára smíšená s párami absorbentu, nikoli čistá pára. Pára absorbentu v kondenzátoru zkondenzuje a s chladivem se dostane do výparníku, kde se z roztoku vypařuje chladivo. Hromaděním kapalného absorbentu ve výparníku dochází k nárůstu vypařovací teploty a je třeba tzv. zvodnatělý čpavek přepustit do absorbéru. Toto přepuštění probíhá plynule za provozu. Tento oběh však pracuje nehospodárně z mnoha důvodů. Hlavními důvody je, že do kondenzátoru by se dostávala pára s nízkou koncentrací, tudíž by měla velkou koncentraci par absorbentu. Dalším důvodem nehospodárnosti je, že studený roztok přicházející do vypuzovače by se měl dostat pomocí velkého množství tepla do varu, ale roztok chudý za vypuzovačem je nutno chladit, aby byl schopen pohltit páry chladiva. Aby došlo ke zlepšení hospodárnosti zařízení, umisťuje se do okruhu dochlazovač za podmínky, že je k dispozici chladnější voda než byla využita pro kondenzátor. Do okruhu lze také zařadit výměník tepla bohatý – chudý roztok, kdy se předehřeje bohatý roztok před vypuzovačem a chudý roztok se ochladí na vstupu do absorbéru. Mezi základní komponenty absorpčního tepelného čerpadla patří absorbér, podchlazovač, generátor (vypuzovač, rektifikační kolona) a deflegmátor. Absorbéry dělíme na chlazené vodou a chlazené vzduchem

dle využití kombinace pracovních látek (absorbent – chladivo). V dochlazovači dochází k ochlazení kapalného chladiva za konstantního tlaku. V podstatě se jedná o výměník, který plní v zařízení funkci ke zlepšení účinnosti. [13]



Obr. 9: Schéma funkce absorpčního tepelného čerpadla [24]

Výhodou absorpčních tepelných čerpadel je velmi tichý chod, neboť nemají ve svém zařízení mechanicky pohyblivou komponentu kromě oběhových čerpadel. Mají dlouhou životnost a dobrou návratnost investice. Hlavním zdrojem energie pro absorpční tepelné čerpadlo není elektrická energie, ale například zemní plyn, odpadní, solární či geotermální teplo. [13]

3.3.2. Tepelná čerpadla s plynovým motorem

Tepelná čerpadla s plynovým motorem využívají jako primární zdroj energie zemní plyn narozdíl od klasických tepelných čerpadel. Teplo ze spalin a teplo z chladicí kapaliny motoru jsou energií, kterou disponuje plynové tepelné čerpadlo navíc oproti klasickým tepelným čerpadlům. Okruh plynového tepelného čerpadla je složen z výparníku, kondenzátoru, kompresoru a expanzního ventilu. Motor má samozřejmě vlastní chladicí okruh s chladicí kapalinou a také spalinovod, který je doplněn výměníky tepla pro co nejefektivnější využití tepelné energie ze spalin. Kompresory se využívají otevřené s vyvedenou hřídelí, které jsou pomocí spojky spojeny s motorem. U nižších výkonů (přibližně do 30 kW výkonu motoru) se využívají scroll kompresory. Uplatnit se tepelná čerpadla s plynovým motorem mohou primárně v aplikacích, kde je potřeba přes sezónu vytápět i chladit. Jedná se proto primárně o místa jako jsou zimní stadiony, průmyslové podniky, nemocnice, hotely, školy, kancelářské budovy či velká obchodní centra. [15]

Mezi hlavní výhody tepelného čerpadla s plynovým motorem patří například hospodárnější využití primárního paliva či soběstačnost, která je důležitá v místech, kde není dostupná elektrická energie, ale je zde dostatek zemního plynu. Toho využívají například australští farmáři na svých farmách v oblastech, kde není elektrická energie. Výhodou je využití tepla ze spalin. V neposlední řadě je jistě výhodou energeticky výhodnější provoz oproti klasickému elektrickému tepelnému čerpadlu. Nevýhodou plynových tepelných čerpadel jsou vysoké investiční náklady, malé výkony potřebné pro domácnost nejsou komerčně dostupné a nutnost údržby motoru oproti klasickým elektrickým tepelným čerpadlům. [15]

3.4. Tepelná čerpadla s novými chladivy

3.4.1. Oxid uhličitý (R744)

Po roce 1930 byl oxid uhličitý jako chladivo vytlačen do ústranní kvůli upřednostňování syntetických chladiv. Vývoj jeho použití jako chladiva byl znovu obnoven koncem 90. let zejména pro jeho velmi nízký dopad na životní prostředí. Gustav Lorentzen (1994) tvrdil, že oxid uhličitý je nejlepší tekutinou, která v budoucnu nahradí plně halogenované uhlovodíky (CFC) a částečně halogenované uhlovodíky (HCFC). V současné době (2019) jsou CFC již zakázanými chladivy bez možnosti servisu. HCFC jsou chladiva, která byla přechodná do roku 2015 a to pouze v rámci servisu, do nových zařízení již nemohla být používána. Oxid uhličitý je přírodním chladivem s významnými výhodami, kterými jsou nehořlavost, nulový potenciál poškozování ozonové vrstvy, zajímavé vlastnosti přenosu tepla, kompatibilita s obvyklými mazivy, snadná dostupnost a nízká cena. V neposlední řadě je také výhodou, že oxid uhličitý není toxický. Vzhledem ke stále přísnějším předpisům ohledně skleníkových plynů se oxid uhličitý znovu objevil jako zajímavé chladivo. Jeho jedinečná vlastnost je nízká kritická teplota 31 °C a relativně vysoký kritický tlak 73,8 bar. Oxid uhličitý má mnohem vyšší tlak nasycení než jiné tekutiny. V souvislosti s využitím CO_2 pro vytápění a přípravu teplé vody byly profesorem Pitarchem v roce 2016 analyzovány dvoufázové cykly tepelného čerpadla s CO_2 pro aplikace vytápění do 80 °C. Teplota 80 °C je zajímavá pro proces odsolování vody. V současné době literatura ukazuje slibné trendy pro CO_2, které se může stát výhodou pro multifunkční tepelné čerpadlo. Trvalá změna teploty oxidu uhličitého v chladiči plynu v transkritickém cyklu mezi 120 a 20°C může být využita pro výrobu teplé vody při vyšší teplotě než u standardních tepelných čerpadel. Tyto studie ukazují modely tepelného čerpadla s využitím CO_2 ve dvou případech. První studie se zabývá tepelným čerpadlem pro současné chlazení a vytápění, které produkuje studenou vodu a teplou vodu pro budovy v Evropě. Druhá studie se zabývá tepelným

čerpadlem pro současné chlazení a odsolování. Cílem studií je ukázat multifunkčnost aplikace tepelného čerpadla s využitím CO_2. [5], [16]

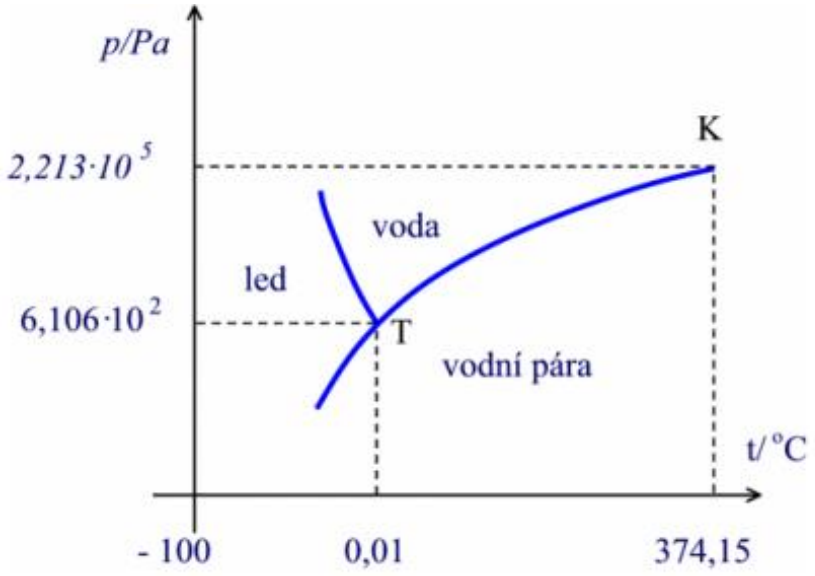
3.4.2. Čpavek (R717)

Čpavek je jedno z nejstarších chladiv, která se využívala především v sorpčních obězích. Čpavek má nulovou hodnotu potenciálu globálního oteplování Země (*GWP*). Bezvodný amoniak se široce používá v průmyslových chladicích systémech (např. na zimních stadionech) pro vysokou účinnost a nízkou cenu. V kompresorových spotřebitelských výrobcích (např. chladničkách) se vzhledem k toxicitě používá málo, uplatnění však nachází v absorpčních chladničkách. Další využití je ve velkých klimatizacích či chladících zařízeních pro přepravu. U tepelných čerpadel lze čpavek využít jako chladivo do 50 °C. Mezi hlavní výhody čpavku patří vysoká hmotnostní a objemová chladivost, dobré tlakové vlastnosti v rozmezí teplot od -50 °C do +50 °C. Nevýhodou je jeho výbušnost, hořlavost a je jedovatý, proto nemůže být soustava pracující se čpavkem umístěna do vnitřních prostor. Díky jeho pronikavému zápachu se však dá jeho únik brzy zaznamenat, dokud je jeho koncentrace v ovzduší nízká. [13], [14]

3.4.3. Voda (R718)

Voda jako chladivo má nulový potenciál poškozování ozonové vrstvy (*ODP* = 0) a nemá žádný podíl na globálním oteplování (*GWP* = 0). Voda je chemicky stabilní, nehořlavá, netoxická, snadno manipulovatelná bez jakéhokoliv bezpečnostního rizika a je běžně dostupná. Teoretická hodnota topného faktoru (COP) cyklu R718 je vysoká a konkurenceschopná s jinými chladivy v závislosti na teplotních podmínkách. Voda může být použita jako chladivo i jako kapalina pro přenos energie. Proto může být aplikováno přímé odpařování a kondenzace a může být dosaženo i vyšší hodnoty topného faktoru. I přes tyto výhody existují problémy s použitím vody jako chladiva ve srovnání s konvenčními chladivy. Nejvýznamnějším omezením vody jako chladiva v jednotkách tepelných čerpadel je trojný bod, který

označuje bod ve fázovém diagramu a je zobrazen na Obr. 10. Je to bod, který udává teplotu a tlak vody (0,00615 bar; 0,01 ˚C), při kterých jsou v jednosložkovém systému současně v rovnováze 3 fáze a systém tak nemá žádný stupeň volnosti. Hluboce podtlakové provozní podmínky a nízká specifická objemová chladicí kapacita R718 způsobují velké objemové průtoky pro teplotní rozsah aplikací tepelných čerpadel. Kromě toho je vysoký požadovaný tlakový poměr pro daný teplotní zdvih (až 500násobný oproti běžným chladivům) a vysoká hodnota vodního izoentropického exponentu způsobuje vysokou teplotu na výtlaku kompresoru. Vlastnosti a zvláštnosti definují vysoká normální teplota varu, malá molekulová hmotnost, vysoká obvodová rychlost a nízké Reynoldsovo. Využití vody je například pro odvod tepla v průmyslu, klimatizaci nebo datových centrech. [18], [19]



Obr. 10: Fázový diagram vody [20]

4. Závěr

Tato práce se zabývala shrnutím problematiky tepelných čerpadel používaných v současnosti a nastíněním pokročilých řešení tepelných čerpadel, která se budou pravděpodobně v blízké budoucnosti hojněji využívat. Pro různé typy pokročilých tepelných čerpadel byly v literatuře vyhledány principy a využití.

V kapitole věnované chladivům byla představena přírodní chladiva amoniak, oxid uhličitý a voda, která budou v budoucnu nejspíše dále vyvíjena a čím dál více využívána vzhledem ke stále zvyšujícím se nárokům Evropské unie na snížení hranice potenciálu globálního oteplování Země (*GWP*). Od roku 2020 nebude již možné využívat syntetická chladiva s hodnotou *GWP* větší než 2500. Jako koncové datum používání stávajících uhlovodíkových chladiv byl stanoven rok 2030.

V oblasti tepelných čerpadel s regulací výkonu lze předpokládat nárůst využití tepelného čerpadla s frekvenčním měničem (inverterem), kde lze měnit provozní příkon kompresoru, což je důležité zejména při spolupráci tepelného čerpadla s fotovoltaickými systémy. Díky tomuto lze předpokládat jejich další rozvoj a nárůst využití, neboť u kompresorů řízených On/Off není přizpůsobení fotovoltaickým systémům možné. V současné době (2019) je kombinace fotovoltaických systémů efektivně spolupracujících se systémem vytápění a přípravy teplé vody s tepelným čerpadlem podporována dotačním programem Nová zelená úsporám (konkrétně podoblast podpory C 3.8).

Z kategorie plynových tepelných čerpadel lze očekávat využívání absorpčních tepelných čerpadel, a to především v průmyslové oblasti. Pro rodinné domy jsou příliš komplikované. V oblasti tepelných čerpadel s pokročilými oběhy lze předpokládat nárůst zájmu o tepelná čerpadla s chladičem přehřátých par. Hlavní výhodou je, že při ohřevu teplonosné látky pro vytápění lze zároveň část výkonu využívat pro přípravu teplé vody o vysoké teplotě.

5. Literatura

[1] PETRÁK, Jiří a Zdeněk DVOŘÁK. *Tepelná čerpadla*. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1991.

[2] ŽERAVÍK, Antonín. Stavíme tepelné čerpadlo. 1. vyd. Přerov. Vydáno vlastním nakladatel, 2003. 312 s.

[3] STRAKA, Tomáš. Budoucnost tepelných čerpadel v Evropě a v ČR. In: *Tzbinfo* [online]. Praha: Asociace pro využití tepelných čerpadel, 2018, 7.12.2018 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/18356-budoucnost-tepelnych-cerpadel-v-evrope-a-v-cr

[4] Tepelná čerpadla. In: *Tzbinfo* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla

[5] MATUŠKA, Tomáš. *Alternativní zdroje energie: učební texty*. Praha, 2009.

[6] DAVID, Petr. Kompresory pro tepelná čerpadla. In: *Tzbinfo* [online]. Letkov: AC Heating - tepelná čerpadla s invertorem, 2015, 26.11.2015 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13498-kompresory-pro-tepelna-cerpadla

[7] KAŠÍK, Zbyněk. Má pára budoucnost? (I). In: *Tzbinfo* [online]. 2002, 10.5.2002 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/979-ma-para-budoucnost-i

[8] KOSOBUD, Jiří. *Návrh tepelného čerpadla pro rodinné domy* [online]. Plzeň, 2017 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://otik.zcu.cz/bitstream /11025/27557/1/BP_JiriKosobud_2017.pdf. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky. Vedoucí práce Ing. Martin Sirový, Ph.D.

[9] BROŽ, Jiří. NOVÉ SMĚRY VE VÝVOJI CHLADIV DO ROKU 2030. In: *Technicka-zarizeni.cz* [online]. 2017, 6.3.2017 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://www.technicka-zarizeni.cz/nove-smery-ve-vyvoji-chladiv-do-roku-2030/

[10] MATUŠKA, Tomáš, Jan SEDLÁŘ a Tomáš STRAKA. *Hodnocení tepelných čerpadel ve světle nové legislativy*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2016. ISBN 978-80-02-02662-4.

[11] KRAINER, Robert a Jiří DUDA, ŠOUREK, Bořivoj, ed. Chladiva používaná v tepelných čerpadlech. In: *Tzbinfo* [online]. 2015, 4.5.2015 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12647-chladiva-pouzivana-v-tepelnych-cerpadlech

[12] SEDLÁŘ, Jan, Michal BROUM, Tomáš MATUŠKA a Bořivoj ŠOUREK. Model tepelného čerpadla s odvodem tepla na třech úrovních. In: *Tzbinfo* [online]. Praha, 2015, 11.5.2015 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12678-model-tepelneho-cerpadla-s-odvodem-tepla-na-trech-urovnich

[13] PEJCL, Jiří. *Absorpční tepelná čerpadla pro malé aplikace*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Petr Mastný, Ph.D.

[14] Meng Wang, Carlos A. Infante Ferreira,Absorption heat pump cycles with NH3 – ionic liquid working pairs,Applied Energy,Volume 204,2017,Pages 819-830,ISSN 0306-2619, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.074.(http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917309492)

[15] KREJSA, P. Plynová tepelná čerpadla. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 42 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

[16] Ahmadou Tidiane Diaby, Paul Byrne, Thierry Maré,Simulation of heat pumps for simultaneous heating and cooling using CO2,International Journal of Refrigeration,2019,ISSN 0140-7007,https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.03.010.(http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700719301094)

[17] MATUŠKA, Tomáš. *Tepelné čerpadlo s využitím obnovitelného zdroje elektřiny a sezónního zásobníku*. 2016. Česká republika. CZ 29082 U1 Užitný vzor. Uděleno 22.10.2015. Zapsáno 26.1.2016.

[18] Milan N. Šarevski, Vasko N. Šarevski,Characteristics of R718 refrigeration/heat pump systems with two-phase ejectors,International Journal of Refrigeration,Volume 70,2016,Pages 13-32,ISSN 0140-7007,https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2016.07.007.(http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700716302006)

[19] SEVEN ENERGY S.R.O. *Nové technologie a aplikace tepelných čerpadel: rozšiřující možnosti a jejich uplatnění (nejen) v podmínkách ČR* [online]. Asociace pro využití tepelných čerpadel. Praha, 2014, 28 s. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: http://www.svn.cz/assets/files/novinky/2015/tep_cerp_20_4.pdf

[20] Fázový diagram vody. In: *Enviro Experiment* [online]. 2012 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://www.enviroexperiment.cz/fyzika-2-stupen-zs/851666-fazovy-diagram-vody

[21] R.S. Adhikari, N. Aste, M. Manfren, D. Marini,Energy Savings through Variable Speed Compressor Heat Pump Systems,Energy Procedia,Volume 14,2012,Pages 1337-1342,ISSN 1876-6102,https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.12.1098.(http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211045188)

[22] Xiao Biao, Huang Tongyi, He Lin, Yan Yan, Sun Yuying, Wang Wei,Experimental study of an improved air-source heat pump system with a novel three-cylinder two-stage variable volume ratio rotary compressor,International Journal of Refrigeration,Volume 100,2019,Pages 343-353,ISSN 0140-7007,https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.11.026.(http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700718304705)

[23] Shao, S., Shi, W., Li, X. & Ma, J., 2004. A new inverter heat pump operated all year round with domestic hot water. Energy Conversion and Management, 45(13–14), S.2255– 2268.

[24] Absorpční tepelná čerpadla BROAD: Schéma funkce tepelného čerpadla. In: *Broad Air Conditioning: Absorpční jednotky pro chlazení a vytápění* [online]. 2016 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: http://www.broad.cz/broad2013/box7.php