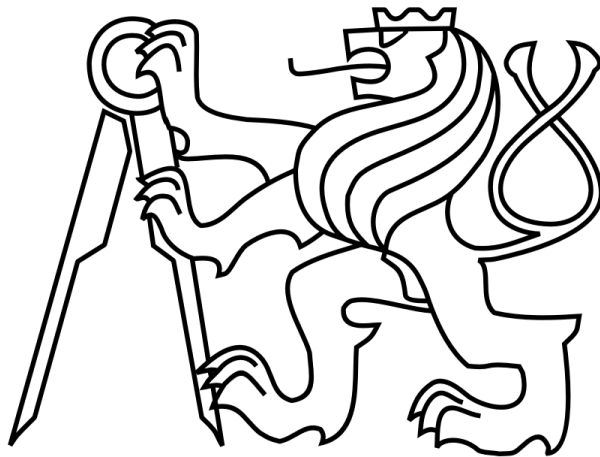


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ

Ústav procesní a zpracovatelské techniky



Tepelná čerpadla a jejich využití v průmyslu

Bakalářská práce

Autor: Roman Formánek

Studijní program: Teoretický základ strojího inženýrství

Vedoucí práce: doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D.

2015

### **PROHLÁŠENÍ O AUTORSTVÍ**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a že jsem uvedl v přiloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

### **PROHLÁŠENÍ O UDĚLENÍ SOUHLASU S UŽITÍM**

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Na Ohradě dne 26.6.2015

.....

podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Doc. Ing. Radku Šulcovi za vedení, odborné konzultace a podnětné připomínky při jejím vypracování. Také děkuji všem, kteří mi pomáhali při vypracování této práce.

## Anotace

Autor:	Roman Formánek
Název BP:	Tepelná čerpadla a jejich využití v průmyslu
Rozsah práce:	40 str.
Školní rok vyhotovení:	2015
Škola:	ČVUT – Fakulta strojní
Ústav:	Ú12118 – Ústav procesní a zpracovatelské techniky
Vedoucí bakalářské práce:	doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Martin Dostál, Ph.D.
Zadavatel:	ČVUT, FS, Ú12118
Klíčová slova:	tepelná čerpadla, výparník, kompresor, kondenzátor, chladící medium, využití v průmyslu
Anotace:	<p>V mnoha procesech výroby, různých produktů, vzniká jako vedlejší produkt teplo. My jsme toto teplo schopni využívat prostřednictvím tepelných čerpadel.</p> <p>Cílem této bakalářské práce bylo popsat princip funkce tepelného čerpadla a následně najít procesy v různých odvětví průmyslu, ve kterých by se dalo tepelné čerpadlo využít nebo se již využívá. Jsou popsány i základní komponenty tepelného čerpadla. Dále bylo popsáno jejich využití v průmyslu.</p>

## Annotation

Author:	Roman Formánek
Title:	Heat pumps and their application in industry
Extent:	40 p.
Academic year:	2015
University:	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12118 Department of Process Engineering
Supervisor:	doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D.
Consultant:	Ing. Martin Dostál, Ph.D.
Submitter of the theme:	ČVUT, FS, Ú12135
Key words:	heat pumps, evaporator, compressor, condenser, cooling medium, use in industry
Annotation:	<p>Heat is a byproduct arisen out of many production processes of all kinds of products. We are able to make a full use of this heat by means of heat pumps.</p> <p>The target of this bachelor thesis was to describe the principle of function of the heat pump and subsequently find processes in different sectors of industry in which the heat pump could or already has been used. Basic components of the heat pump and further off its utilization in industry have been thoroughly described there.</p>

**Obsah**

1.	Úvod.....	8
2.	Princip tepelného čerpadla.....	10
2.1.	Popis kompresorového tepelného čerpadla a jeho funkce .....	10
2.1.1.	Termodynamické děje pracovního cyklu .....	12
2.1.2.	Účinnost.....	13
2.1.3.	Topný faktor (COP) .....	14
2.2.	Popis absorpčního tepelného čerpadla a jeho funkce .....	14
3.	Komponenty kompresorového tepelného čerpadla .....	16
3.1.	Kompresory .....	16
3.1.1.	Pístový kompresor.....	17
3.1.2.	Spirálový kompresor.....	18
3.1.3.	Šroubový kompresor .....	19
3.2.	Výměníky .....	19
3.2.1.	Deskový výměník.....	20
3.2.2.	Trubkový výměník .....	20
3.2.3.	Lamelové výměníky .....	22
3.3.	Redukce tlaku.....	23
3.3.1.	Termostatický expanzní ventil (TEV).....	23
3.3.2.	Elektronický expanzní ventil (EEV) .....	24
3.3.3.	Točivá redukce.....	24
3.4.	Pracovní médium .....	25
3.4.1.	Halogenované uhlovodíky (freony).....	25
3.4.1.1.	Tvrdé freony (CFC).....	26
3.4.1.2.	Měkké freony (HCFC).....	26
3.4.1.3.	Částečně fluorované uhlovodíky (HFC) .....	27
3.4.1.4.	Směsi.....	27
4.	Komponenty absorpčního tepelného čerpadla .....	28
4.1.	Absorbér.....	28
4.2.	Varník .....	28
4.3.	Deflegmátor .....	29
4.4.	Pracovní media.....	29

---

4.4.1. Voda.....	29
4.4.2. Bromid lithný.....	29
4.4.3. Amoniak.....	29
5. Využití tepelných čerpadel v průmyslu.....	30
5.1. Potravinářský průmysl.....	30
5.1.1. Pasterizace mléka.....	31
5.2. Automobilový průmysl.....	32
5.2.1. Výrobní hala BOSCH.....	33
5.3. Výrobní průmysl.....	33
5.3.1. HVM Plasma s.r.o., Praha.....	34
5.4. Chemický průmysl.....	34
5.4.1. RUMPOLD s.r.o. Ostrava.....	35
5.5. Zemědělský, dřevařský a papírenský průmysl.....	36
5.6. Veřejné budovy.....	36
5.6.1. Vysoká škola báňská Ostrava.....	36
7. Závěr.....	37
Seznam obrázků.....	38
Použitá literatura.....	39

## 1 Úvod

V dnešní době klademe velký důraz na to abychom neznečišťovali životní prostředí. S tím je úzce spjato vyčerpávání zdrojů, jako jsou například fosilní paliva, potřebných k produkci různých forem energií. Jak jistě všichni víme tyto zdroje jsou v některých případech poměrně necitlivé k životnímu prostředí. Proto je naše generace nucena přejít na alternativnější zdroje energií, které jsme pomocí naší určité technologické úrovně schopni zpracovat. Těmito zdroji máme na mysli tak zvané obnovitelné zdroje energie. Ty jsou ve většině případech úspornější, ekologičtější a jsou přirozenou součástí našich životů.

Obnovitelné zdroje energie jsou k dispozici prakticky všude a lze je vynalézavě využívat. To platí pro teplo z okolního životního prostředí akumulované v zemi, ve spodní vodě a ve vzduchu. Jedním ze způsobů využití této energie je využití pomocí tepelných čerpadel. Tyto čerpadla odnímají teplo z okolního prostředí (vody, vzduchu nebo země), převádějí ho na vyšší teplotní hladinu a tím následně umožňují teplo účelně využít pro vytápění nebo ohřev teplé vody. Toto je nejčastější využití v soukromé sféře.

My se však budeme zabývat poměrně širším okruhům jejich aplikací ve větších objektech a společnostech. Jak již bylo výše zmíněno tepelná čerpadla odnímají teplo z okolí. Při některých činnostech teplo vzniká jako vedlejší produkt, v tomto případě jej můžeme chápat jako odpadní teplo. Pro využití tepelných čerpadel bychom měli najít takovou činnost, kde je produkován velký objem tohoto odpadního tepla, aby se nám instalace tepelného čerpadla vyplatila, a to i z hlediska počátečních investic. Tyto činnosti, produkující velký objem tepla, najdeme v mnoha odvětvích průmyslu. Jako příklad bych zmínil automobilový průmysl, kde je odpadní teplo vedlejším produktem různých výrobních strojů a zařízení, potažmo i jejich obsluhy. Toto teplo je zachycováno ve výrobních halách a my jej odsud odebíráme pomocí tepelných čerpadel a využíváme jej v dalších oblastech. Toto využití tepla nám slouží jako úspora nákladů.



Pro jejich aplikaci musíme počítat s poměrně vysokou počáteční investicí, která je však postupem času jejich provozu návratná. Tepelná čerpadla se v zahraničí využívají pro vytápění obytných domů naprosto běžně již několik desítek let, a proto lze s jistotou říci, že se nejedná o žádnou technicky dosud nevypělou záležitost.

## 2. Princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo využívá uzavřeného chladicího okruhu. Primární úkol tepelného čerpadla je odebírat teplo z chladnějšího zdroje tepla a převádět ho na vyšší teplotní hladinu, prostřednictvím pracovního media. Teplo na této vyšší teplotní hladině následně předáváme topnému mediu.

### 2.1. Popis kompresorového tepelného čerpadla a jeho funkce

Jak již bylo výše zmíněno, tepelné čerpadlo pracuje jako uzavřený chladicí okruh. Tento okruh se skládá z několika částí (komponentů), v kterých probíhají určité děje. Nejdůležitější je však chladicí médium kolující tímto okruhem, které v průchodu okruhem mění fáze, z kapalné na plynnou a naopak. Toto médium je charakteristické relativně nízkým bodem varu. Existuje více druhů těchto medií a umožňují nám tak přizpůsobit jej pro danou aplikaci. Jeho extrémně nízký bod varu nám dovoluje odebírat teplo z obnovitelných zdrojů s poměrně nízkou teplotou. To znamená že můžeme odebrat vzduch z okolního prostředí o teplotě 15°C odebrat z něj teplo, a vrátit jej zpět do okolního prostředí.

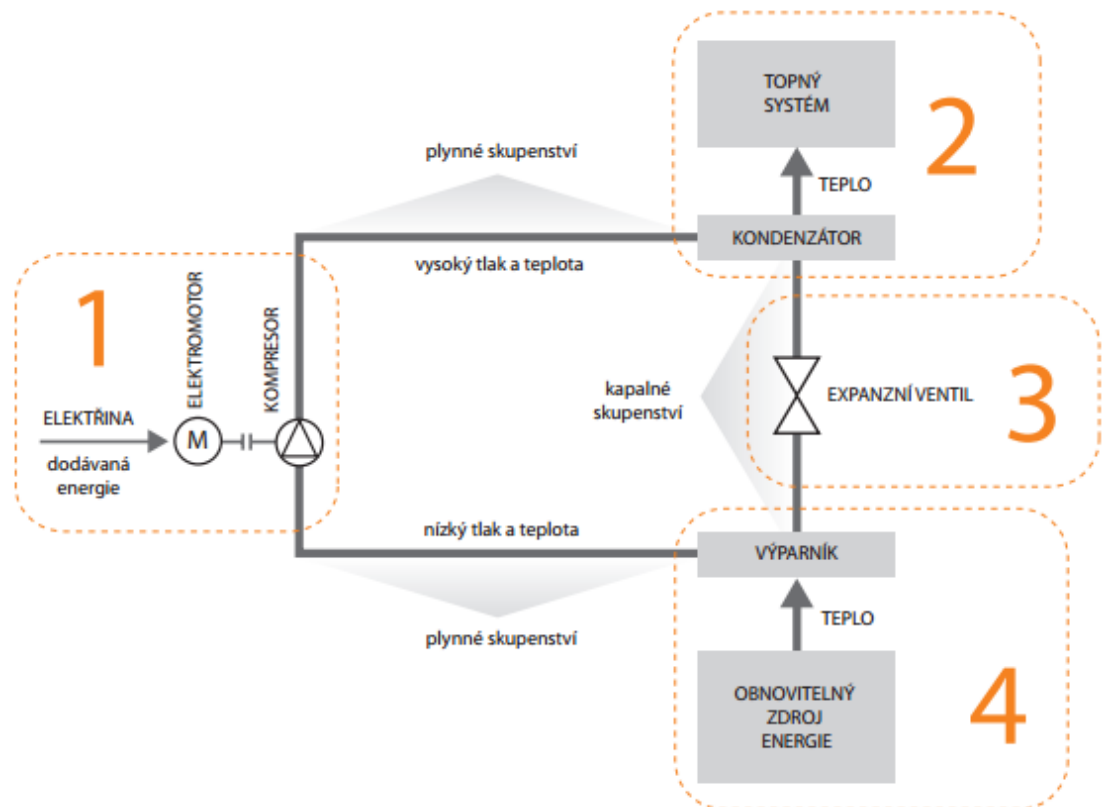
První součástí tepelného čerpadla je výparník. V této části probíhá proces zvaný odpařování. Chladicí médium je sem přivedeno v kapalném stavu. Teplota okolního zdroje tepla je vyšší než bod varu chladicího media a tak dochází k přenosu tepla z okolí do výparníku a následnému odpaření, za nízkého tlaku. Teplo potřebné k odpaření media je právě teplo odebrané z okolního prostředí ( $Q_{IN}$ ).

Druhou součástí je kompresor, který plynule nasává odpařené chladicí médium a stlačuje jej. Přitom stoupá tlak i teplota par chladicího media. Tento děj se nazývá komprese. Komprese vyžaduje přívod mechanické, která je nejčastěji dodávána elektromotorem. Pro pohon elektromotoru je nutno požit vnější energii ( $E_E$ ).

Následuje kondenzátor, kam bylo kompresí stlačeno odpařené chladící medium. Je sem zde také přiváděno chladnější topné medium. Díky rozdílu teplot zde jsou páry stlačeného chladícího media ochlazeny na kondenzační teplotu  $T_{kond}$ , následně dochází ke kondenzaci chladícího media, a předají kondenzační teplo ( $Q_{OUT}$ ) topnému mediu. Procesem kondenzace tak přejde chladící medium zpět na kapalnou fázi.

Posledním procesem je expanze, kde dochází k poklesu tlaku opět zkapalněného chladícího media a to buď expanzí pomocí točivého stroje, nebo škrcením pomocí redukčního ventilu. Jeho tlak opět klesne a to tak umožňuje chladícímu mediu znovu se ve výparníku odpařit.

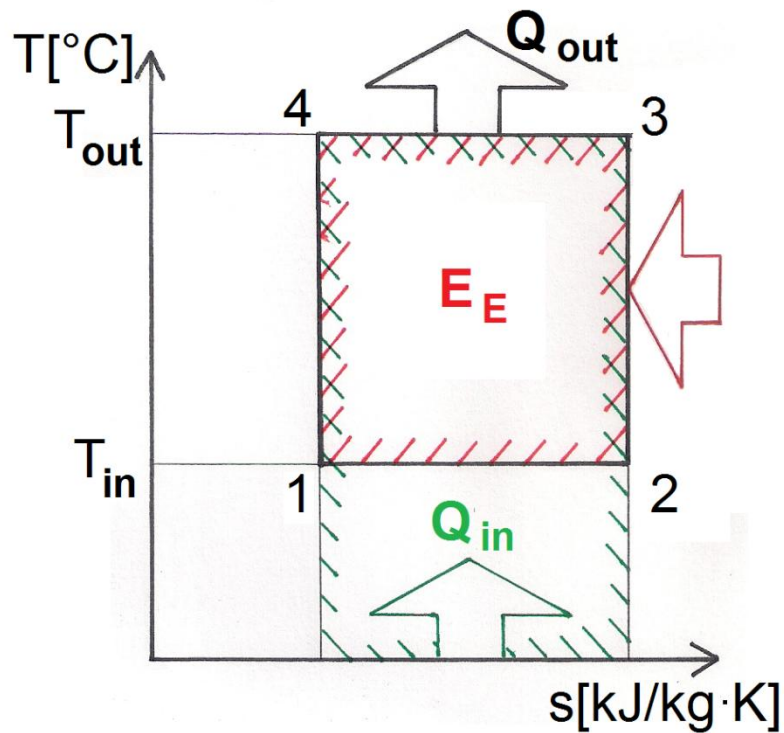
Tento cyklus se stále opakuje. Pro jeho snadnější představu je schematicky znázorněn v obr. 2.1:



Obr. 2.1 - Schéma kompresorového tepelného čerpadla [4]

### 2.1.1.1. Termodynamické děje pracovního cyklu

Cyklus tepelného čerpadla můžeme popsat pomocí Carnotova cyklu. Jedná se o kruhový cyklický děj, který je zároveň jeden z nejvýznamnějších kruhových cyklů. Pro představu jej zobrazíme v T-s diagramu viz. obr. 2.2:

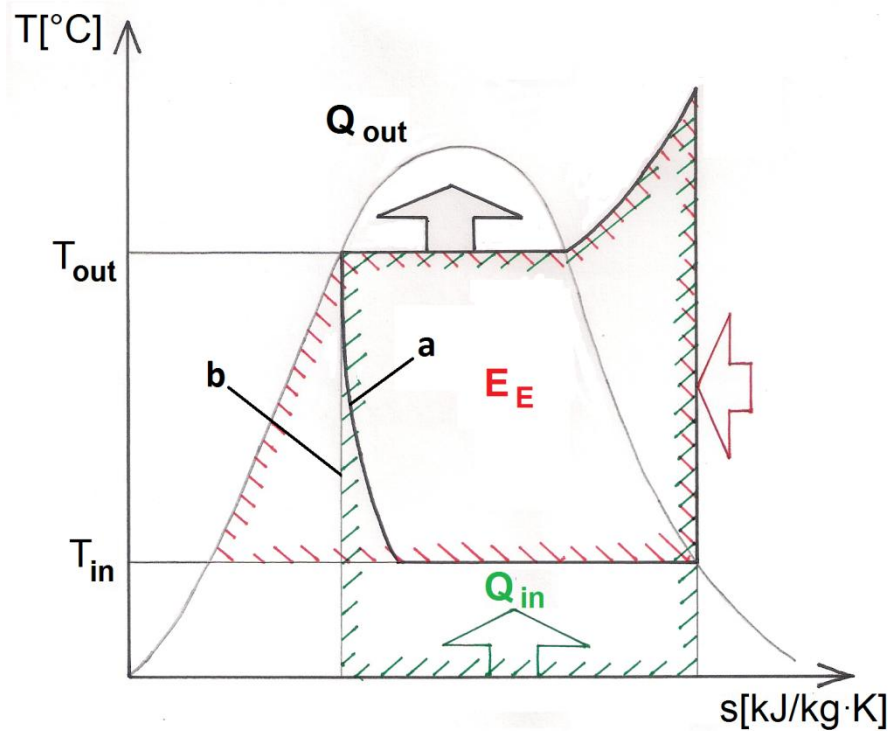


Obr. 2.2 - Ideální Carnotův cyklus

Chladicí kapalina (pracovní medium) zde postupně prochází několika termodynamickými ději.

- 1-2 izotermické vypařování
- 2-3 izoentropická (adiabatická) komprese
- 3-4 izotermické kondenzace
- 4-1 izoentropická (adiabatická) expanze

Carnotův cyklus je tepelným oběhem s nejvyšší termickou účinností, neboli ideální. Chování skutečných zařízení se však blíží oběhu Rankinovu pro představu znázorněn v T-s diagramu na obr. 2.3:



Obr. 2.3 - Skutečný Rankinův cyklus : a) škracení (izoentalpický děj), b) expanze (izentropický děj)

Celkovou energetickou bilanci, dle 1. termodynamického zákona, můžeme vyjádřit vztahem:

$$Q_{out} = Q_{in} + E_e \quad (1)$$

$Q_{out}$  = teplo předané topnému mediu

$Q_{in}$  = teplo odebrané z prostředí

$E_e$  = energie dodaná pro kompresi

### 2.1.2. Účinnost

Termickou účinnost obráceného Carnotova cyklu lze vyjádřit vztahem:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_{out}}{T_{in}} \quad [\%] \quad (2)$$

$\eta_t$  = termická účinnost

$T_{in}$  = teplota vstupu

$T_{out}$  = teplota výstupu

Jak je jisté z tohoto vztahu patrné nezávisí na druhu pracovního media, ale na teplotách na vstupu a výstupu. S rostoucí teplotou výstupu a klesající teplotou vstupu, roste účinnost. Pro reálné cykly je účinnost vždy menší než 1.

### 2.1.3. Topný faktor (COP)

Topný faktor se definuje jako podíl mezi energií získanou a dodanou. U tepelných čerpadel ho definujeme jako podíl výstupní energie  $Q_{out}$  a energie potřebné pro pohon  $E_e$  (kompresor). Jeho hodnotu dostaneme z následující rovnice:

$$\varepsilon_T = \frac{Q_{out}}{E_e} \quad (3)$$

$\varepsilon_T$  = topný faktor

$Q_{out}$  = teplo předané topnému mediu

$E_e$  = energie dodaná pro kompresi

Pro tepelná čerpadla se jeho hodnota pohybuje v poměru mezi dvěma a půl až čtyřmi. Můžeme však dosáhnout i větších hodnot. Samozřejmě platí, že čím je číslo větší, tím je provoz tepelného čerpadla efektivnější. Topný faktor není konstantní hodnota. Mění se v závislosti na provozních podmínkách a proto se často setkáme s výrazem provozní nebo průměrný tepelný faktor.

## 2.2 Popis absorpčního tepelného čerpadla a jeho funkce

Fyzikální princip absorpčního tepelného čerpadla a již zmíněného kompresorového tepelného čerpadla je v podstatě stejný. U obou dvou musí pracovní medium projít čtyřmi základními ději. Největší rozdíl mezi nimi je ve způsobu převádění pracovního media na vyšší tlakový stupeň. Zatímco u kompresorového typu k tomu využíváme kompresor ke stlačování odpařeného media, tak u absorpčního využíváme absorpce chladiva do kapaliny a následně se tato kapalina, v níž je rozpuštěno chladivo, přečerpána pomocí čerpadel. Jako nejčastější kombinace těchto dvou pracovních látek

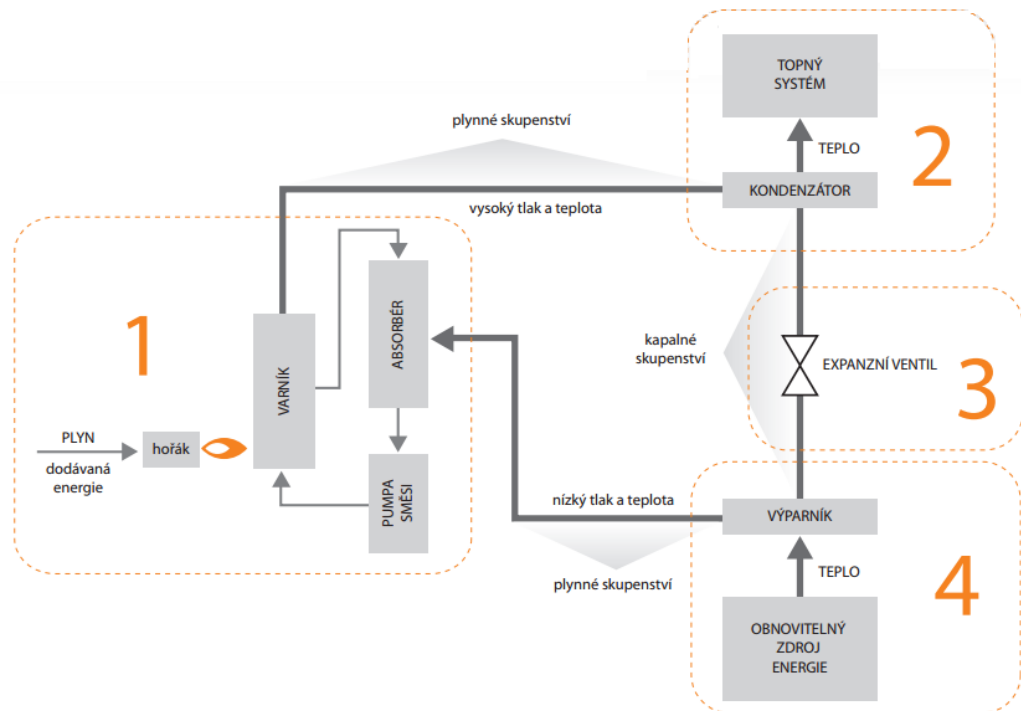
bych uvedl amoniak jako chladivo a vodu jako absorbent nebo vodu jako chladivo a sloučeninu bromidu lithného jako absorbent.

V první fázi se ve výparníku vypařuje chladivo odebráním tepla z okolí. Tyto páry se odvádějí absorbéru, do kterého se současně vrací absorbent z varníku. V absorbéru tak dochází k pohlcování odpařeného chladiva absorbentem. Koncentrace tohoto roztoku s časem dosáhne maximální limitně rovnovážné hodnoty a roztok tak označujeme jako bohatý. Tento proces absorpce doprovází při pohlcování par uvolňování tepla, proto se musí roztok chladit.

Bohatý roztok následně přečerpáváme za pomoci čerpadla do varníku. Čerpadlo zvýší tlak roztoku. Následně ve varníku tento roztok zahřejeme dodáním tepla z vnějšku, například spalováním plynu v hořáku. Nejlepší možností je však využít nějaké odpadní teplo, například z plynových turbín. Zahřátím roztoku ze sebe absorbent "vypuzuje" chladivo, přesněji řečeno dochází k desorpci využívající teplotní závislost rozpustnosti plynů v kapalině. Absorbent následně sníží svou koncentraci a je veden zpět do absorbéru jako chudý.

Následující kroky jsou již totožné jako u kompresorového tepelného čerpadla. Chladivo v plynné fázi proudí do kondenzátoru ,kde dojde k poklesu teploty chladiva na kondenzační teplotu  $T_{kond}$ . Chladivo zkondenzuje a je převedeno zpět na kapalnou fázi. Poté se vrací přes ventil do výparníku a cyklus se opakuje.

Absorpční čerpadla postupem času snižují svoji účinnost. Důvod této snižující se účinnosti je ten, že se varníku při desorpci strhává společně s chladivem i určitá část absorbentu, který se dostane až do výparníku. Ve výparníku se tak vytváří směs jiné fázové rovnováhy, to ovlivňuje množství tepla potřebné k odpaření chladiva. Tento jev lze omezit použitím rektifikační kolony a deflegmátoru. Tyto komponenty se zařadí za varník a zmenšují množství absorbentu v parách.



Obr. 2.4 - Schéma absorpčního tepelného čerpadla [4]

Jak již bylo řečeno při absorpci dochází k uvolňování tepla a my jsme tak nuceni před přečerpáním roztoku do varníku roztok chladit. Chlazením roztoku získáváme určité množství tepla, které můžeme využít (rekuperovat) k předehřívání absorbentu před tím než se vrátí zpět do absorbéru.

### 3. Komponenty kompresorového tepelného čerpadla

K realizaci okruhu jsou zapotřebí následující komponenty:

1. Kompresor
2. Výměníky
3. Expanzní ventil
4. Pracovní medium

#### 3.1. Kompresory

Kompresory v cyklu slouží ke stlačování vypařeného chladiva z výparníku. Páry se při průchodu kompresorem stlačí, tím přejdou na vyšší tlakový stupeň, a jsou dále dopraveny do kondenzátoru.

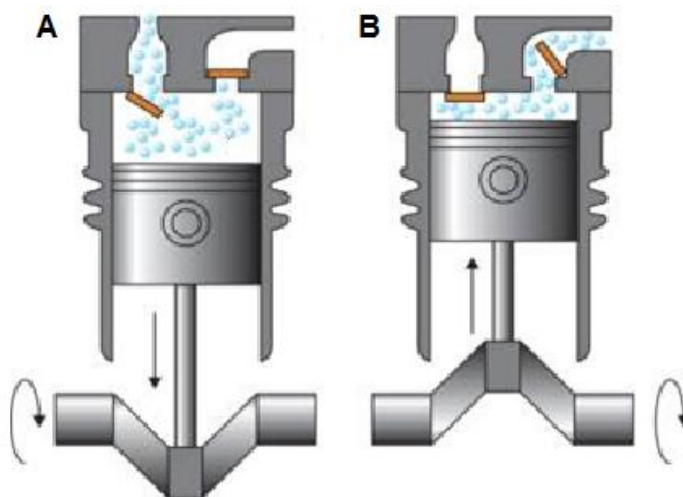


Tlak, kterým potřebujeme páry stlačit, závisí na provozních a pracovních podmínkách a především na použitém typu chladiva. Jelikož nám může kompresor vyprodukovat větší tlak, než je stanovený pro prostor kondenzátoru, musíme použít bezpečnostní prvek tzv. přetlakový ventil. Mezi hlavní parametry kompresorů patří kompresní poměr, který udává poměr mezi vstupním a výstupním objemem. Pomocí tohoto parametru můžeme také optimalizovat cyklus. Jako nejčastěji používaný pohon kompresoru je volen elektromotor.

Tlaky v sacím a výtlačném potrubí závisí na použitém chladivu a nastavených pracovních podmínkách. Kompresory mohou dosahovat tlaků přes 3 MPa, což je pro naše účely nežádoucí. Proto je nutné aby v čerpadle byly ochranné prvky, které zabrání poškození okruhu. Tyto prvky jsou přetlakové ventily.

### 3.1.1. Pístový kompresor

Jedná se o jednoduchý typ kompresoru kde je jeho pracovní oběh dán vratným pohybem pístu na klikovém mechanismu viz. obrázek 3.1:



Obr. 3.1 - Schéma pístového kompresoru [5]

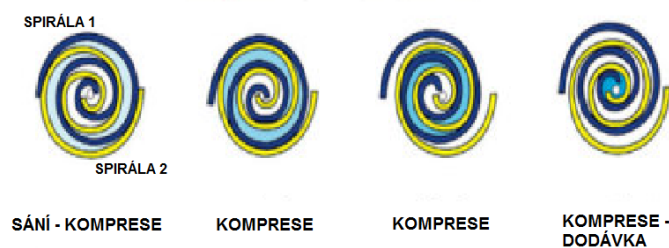
Na obrázku A píst kompresoru při pohybu směrem dolů nasává pracovní médium, v našem případě odpařené chladicí médium, po dosažení spodní úvrati píst

začne stoupat viz obr. B. Při konání pohybu pístu směrem nahoru stlačujeme páry a současně je odvádí z pracovního prostoru, cyklus se opakuje.

Nevýhodou tohoto typu kompresoru je možnost nasátí kapalného chladiva, což může poškodit kompresor a proto se musí použít tzv. odlučovač kapalného chladiva. Jako další nevýhodu bych zmínil chod cyklu. Chod není kontinuální. Jsou v něm utvářeny určité rázy což má za následek hlučnější provoz než ostatní typy.

### 3.1.2. Spirálový kompresor

Spirálový kompresor je nejpoužívanějším kompresorem v tepelných čerpadlech. Často se můžeme setkat s názvem SCROLL. Dá se říci že tento typ nahradil dřívěji používaný pístový kompresor. SCROLL kompresor má jen jednu pohyblivou část, tou je excentricky poháněná spirála. Tato spirála (označme si jí číslem 1) se pohybuje vůči druhé nepohyblivé spirále (2). Tento vzájemný pohyb nám vytváří mnoho plynových kapes, které jsou přemísťovány ve smyslu vnutití spirály směrem dovnitř viz obrázek 3.2:



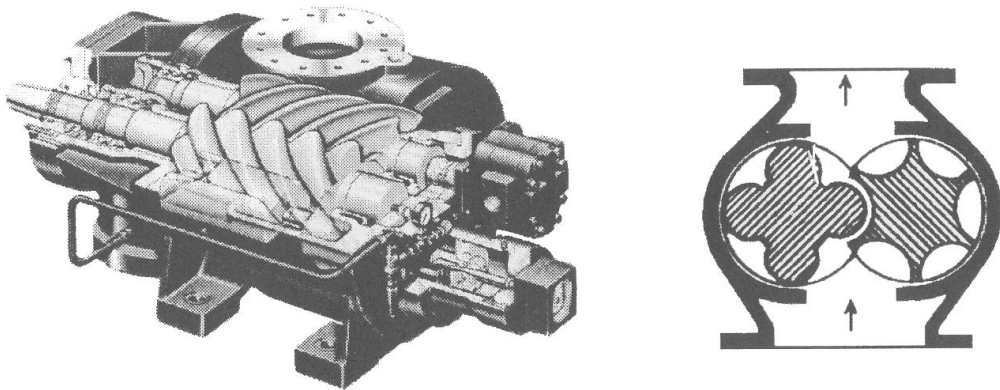
Obr. 3.2 - Princip funkce SCROLL kompresoru [6]

Jak je z obrázku patrné na vstupu dochází k nasátí par, které jsou při pohybu přesouvány směrem doprostřed, prochází tedy řadou kompresí, a ty jsou poté dodány do následujícího prostoru.

Jeho výhodou je tišší chod a kontinuálnější průběh než u pístového čerpadla.

### 3.1.3. Šroubový kompresor

Dalším používaným typem kompresorů je šroubový. Ten se skládá ze dvou hlavních pohyblivých částí, šroubových rotorů, které se po sobě odvalují a jsou tvarovány tak, aby do sebe zapadají. Jedná se o technicky složité mechanismy náročné na výrobu i jejich montáž, která má za následek vysokou hmotnost kompresoru. Proto se tento typ využívá pro vysoké výkony kde jsou jeho rozměry přijatelnější vzhledem k celkové konstrukci.



Obr. 3.3 - Řez šroubovým kompresorem [7]

### 3.2. Výměníky

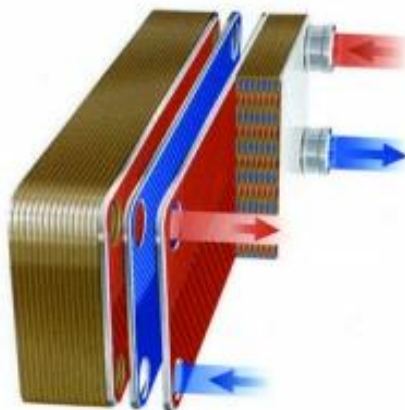
Výměníky jsou jednou z nejdůležitějších součástí oběhu. Bez nich bychom nedokázali zprostředkovat přenos tepla z vnějšího okolí, přes pracovní medium, do topného média. Výměna tepla zde probíhá přes teplosměnnou plochu, tím je zabráněno přímému kontaktu odlišných medií a jejich možnému smíchání.

Výměník je charakterizován mnoha parametry. Tepelný výkon přenesený výměníkem závisí na průtoku medií výměníkem a na rozdílu teplot obou medií. Rozdíl těchto teplot je základní předpoklad pro správnou funkci výměníku. Pokud by byl tento rozdíl nulový nedocházelo by k žádnému přenosu tepla. Hlavním parametrem je však velikost teplosměnné plochy, přes kterou teplo převádíme. Dále pak záleží na materiálu z kterého je tato plocha vyrobena. Je pro nás důležité aby měl co největší koeficient tepelné vodivosti. Nejčastěji používané typy pro přenos tepla z chladiva

do topné vody jsou deskové a trubkové výměníky. Pro přenos tepla z chladiva do vzduchu jsou používány výměníky lamelové s ventilátorem, který zvýší součinitel přenosu tepla.

### 3.2.1. Deskový výměník

Deskové výměníky jsou složeny z několika, za sebe řazených desek, které jsou lisováním speciálně tvarovány tak, aby vytvořili skupiny kanálků. Kanálky poté odděleně proudí teplotně různá media. Tento způsob konstrukce výměníku nám umožňuje dosahovat vysokých účinností a hodnot přenášených výkonů při malých rozměrech výměníku. Tyto typy výměníku se dále dělí na rozebiratelné a nerozebiratelné. Hlavní nevýhody jsou nerozebiratelnost, v případě svařovaných výměníků, a náchylnost k zanášení kanálků. Pro tepelná čerpadla je nejčastěji používaným materiálem k výrobě jednotlivých desek nerezová ocel.

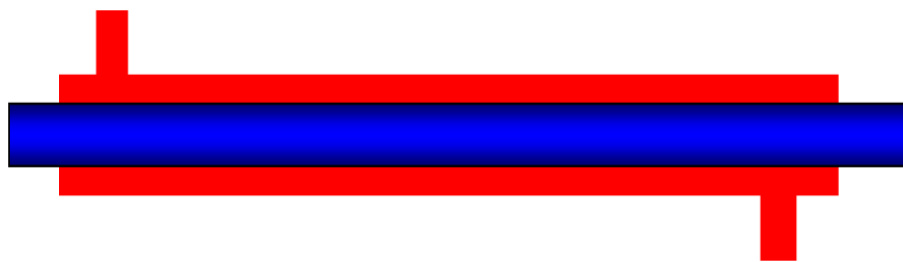


Obr. 3.4 - Řez deskovým výměníkem [8]

### 3.2.2. Trubkový výměník

Trubkové výměníky existují v mnoha variantách. Pro naše účely postačí si je rozdělit do dvou základních skupin podle uspořádání trubek.

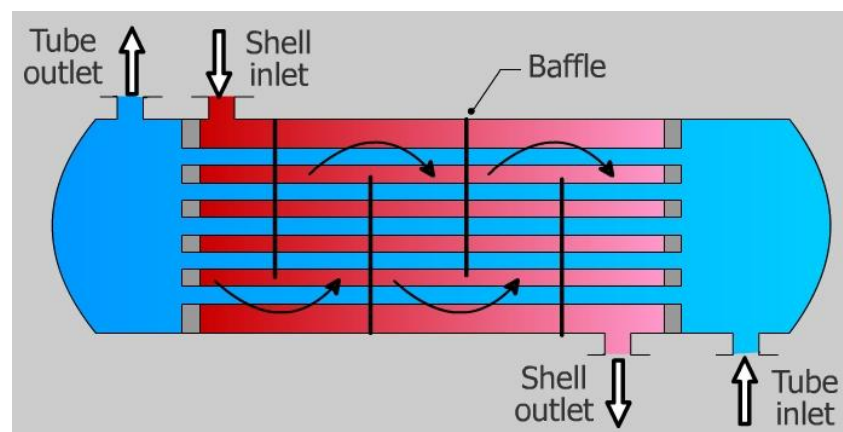
První skupinou jsou výměníky dvoutrubkové. Ty se skládají ze dvou trubek, jedné vnitřní o menším průměru, a jedné vnější o větším průměru. Ve vnitřní trubce proudí jedno medium a ve vnější trubce proudí druhé medium. Teplo mezi oběma medii je předáváno přes teplosměnnou plochu, kterou zde tvoří plášť vnější trubky. Ve většině případech proudí vnitřní trubkou teplejší medium. Je to z důvodu snížení tepelných ztrát, které by byly při proudění teplejšího media vnější trubkou vyšší. Vyjímkou jsou aplikace kde má teplejší medium tendenci zanášet trubky. V tomto případě proudí teplejší medium vnitřní trubkou, která se snadněji udržuje.



Obr. 3.5 - Schéma dvoutrubkového výměníku [9]

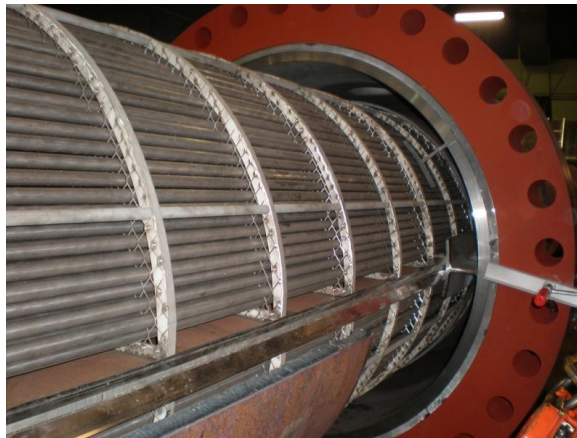
Tyto výměníky lze dále rozdělit dle vzájemného směru proudění obou medií a to na souproudé a protiproudé. Výhodou obou těchto provedení je možnost snášet vysoké tlaky a snadná údržba.

Další skupinou jsou kotlové výměníky, známe také pod označením Shell & Tube. Tento typ je vhodný pro jakákoliv media. Skládají se z vnějšího pláště, ve kterém proudí pomocí různých kombinací přepážek, sloužících ke správnému usměrnění, jedno medium. Uvnitř pláště je svazek trubek, do kterého se na jedné straně přivádí druhé medium a na druhé straně pak z tohoto svazku vystupuje.



Obr. 3.6 - Schéma kotlového výměníku [10]

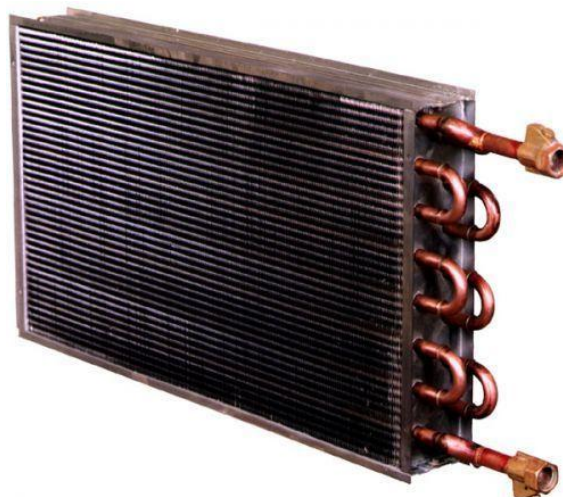
Výhody tohoto typu výměníku jsou stejné jako u dvoutrubkového výměníku, oproti němu je však tento typ podstatně dražší.



Obr. 3.7 - Svazek vnitřních trubek [10]

### 3.2.3. Lamelové výměníky

Lamelové výměníky jsou složeny často z více řad měděných trubek, které jsou opatřeny lamelami. Lamely slouží ke zvětšení teplosměnné plochy a tím se také zvýší přenos tepla. Trubkový okruh může být jen jeden nebo může být rozdělen na více paralelně spojených částí.



Obr. 3.8 - Lamelový výměník [11]

### 3.3. Redukce tlaku

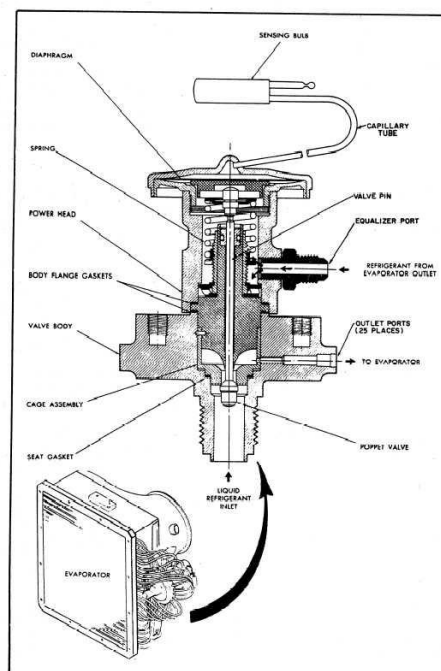
Před příchodem chladiva do výparníku je nutné snížit jeho tlak. Toto snižování tlaku můžeme provádět škrcením, nebo expanzí.

Pro redukci tlaku škrcením využíváme redukční ventily. Redukční ventil snižuje nebo zvyšuje průtočný průřez změnou polohy například kuželky, a tím mění odpor proti proudění.

Ke snižování tlaku expanzí využíváme točivý stroj, proto tento způsob redukce můžeme nazvat jako točivou redukci, která nám umožňuje využít potřebnou redukci tlaku pracovního média k výrobě elektrické energie prostřednictvím točivého stroje.

#### 3.3.1. Termostatický expanzní ventil (TEV)

Základem je tryska dávající chladivo. Jako ovládací prvek zde slouží tepelné čidlo umístěné v prostoru výparníku. V tomto čidle je kapalina, která se změnou teploty ve výparníku mění svůj objem a tím tak přes kapiláru tlačí na membránu. Stlačovaná membrána dále tlačí na pružinu, která ovládá trysku viz. obrázek 3.9:



Obr. 3.9 - Termostatický expanzní ventil [12]

### 3.3.2. Elektronický expanzní ventil

Novinkou na trhu jsou elektronicky řízené expanzní ventily (EEV), které oproti TEV zvyšuje provozní účinnost a to tím že maximalizuje využití výparníku, zvyšuje tak topný výkon a topný faktor. Jeho princip je obdobný jako u TEV s tím rozdílem že mechanické prvky zde byly nahrazeny elektronikou. Toto nahrazení nám zjednodušuje konstrukci, výrobu i montáž a umožňuje nám dosáhnout větší spolehlivosti a životnosti celého systému.



Obr. 3.10 - Elektronický expanzní ventil [12]

### 3.3.3 Točivá redukce

V točivé redukci dochází k expanzi a přitom se točí turbína. Tento spád, v našem případě redukce tlaku chladiva z vyššího stupně na nižší, je využit pro konání mechanické energie. Stator turbíny je spojen s převodovku, která redukuje otáčky turbínového kola na otáčky generátoru. Důležitá je zde těsnost rotoru turbíny, aby nedocházelo k únikům media. Těsnost rotoru zajistíme speciálními mechanickými ucpávkami. Generátor nám pak produkuje elektrickou energii, kterou můžeme zpětně využívat pro pohon kompresoru.



### 3.4 Pracovní médium

Chladivo kolující v oběhu zde slouží jako nositel energie. Dá se říci že je nejdůležitější součástí systému. Svými vlastnostmi má vliv na účinnost, rozměry jednotlivých komponent, volbu oleje do kompresoru a vliv na životní prostředí. Lze jej definovat jako chemickou látku nebo směs, která je schopna fázových přeměn z kapaliny na plyn a obráceně. Existuje mnoho druhů, všechny však nejsou vhodné pro použití v tepelném čerpadle.

#### 3.4.1 Halogenované uhlovodíky (freony)

Freony jsou odvozeniny uhlovodíků (metanu, etanu), ve kterých je minimálně jeden atom vodíku nahrazen alespoň jedním atomem fluóru a zbytek chlorem nebo bromem. Mezi jejich výhody patří dobré termodynamické vlastnosti, nehořlavost, nejedovatost, nízká agresivita vůči kovům a neomezená rozpustnost s oleji. Vyžadují však velmi těsné a přesné spoje a to kvůli jejich prolínivosti. Proto je nutné konstruovat okruh tak, aby počet spojů byl co nejmenší. Některé mají negativní vliv na ozonovou vrstvu, proto jsou již zakázány. K hodnocení účinků se používají dva parametry.

##### GWP (Global Warming Potential)

Potenciál celkového oteplení Země (skleníkový efekt). Charakterizuje možný vliv v případě, že chladivo unikne do atmosféry. GWP číslo udává poměrný oteplovací účinek daného chladiva na atmosféru Země v porovnání s účinkem čistého CO<sub>2</sub>. (GWP CO<sub>2</sub>=1). [18]

##### ODP (Ozon Depletion Potential)

Potenciál rozkladu ozonu. Charakterizuje vliv dané chemické látky v atmosféře na ozonovou vrstvu Země. Udává kolik kg R11 (CFC-11) je ekvivalentní 1kg dané chemické látky (chladiva). Referenční látkou je tedy R11. Rozměr ODP je „kg R11/kg posuzovaného chladiva. Např. pro R11 je ODP=1. Číslo ODP charakterizuje možný

vliv (potenciál). Koeficient ODP se uplatní pouze v případě, unikne-li chladivo do atmosféry. Prvořadou důležitost mají tedy opatření proti netěsnostem a vypouštění chladiva do ovzduší. [18]

#### 3.4.1.1. Tvrdé freony (CFC)

Můžeme se také setkat s názvem plně halogenované uhlovodíky. Všechny atomy vodíku jsou nahrazeny fluorem a chromem. V dnešní době jsou již zakázány z důvodů velmi nešetrného dopadu na životní prostředí.

R 11	ODP = 1,0	GWP = 4 750
R 12	ODP = 1,0	GWP = 10 900
R 13	ODP = 1,0	GWP = 14 400
R 113	ODP = 1,0	GWP = 6 130
R 114	ODP = 1,0	GWP = 10 000
R 115	ODP = 0,44	GWP = 7 370

#### 3.4.1.2. Měkké freony (HCFC)

Nazývány částečně halogenované uhlovodíky. Jejich doba rozkladu je o poznání menší než u CFC a to je zapříčiněno ponecháním jednoho atomu vodíku v jejich molekule. Po zákazu CFC se HCFC velmi rychle rozšířily. Od konce roku 2014 byly však také úplně zakázány.

R 21	ODP = 0,04	GWP = 151
R 22	ODP = 0,05	GWP = 1 810
R 123	ODP = 0,02	GWP = 77
R 124	ODP = 0,022	GWP = 609
R 142b	ODP = 0,07	GWP = 2 310

### 3.4.1.3. Částečně fluorované uhlovodíky (HFC)

HFC neobsahují chlór, který má neblahý účinek na životní prostředí. Mají ODP = 0, ale některé z nich mohou mít značně velký koeficient GWP.

R 23	GWP = 14 800
R 32	GWP = 675
R 125	GWP = 3 500
R 134a	GWP = 1 430
R 152a	GWP = 124
R 143a	GWP = 4 470
R 227ea	GWP = 3 220
R 236fa	GWP = 9 810

### 3.4.1.4. Směsi

R 407C	GWP = 1 774
-azeotropní směs R 134a / R 125 / R 32 v poměru 52 / 25 / 23 %	
R 410A	GWP = 2 088
-azeotropní směs R 125 / R 32 v poměru 50 / 50 %	
R 417A	GWP = 2 346,1
-směs R125/R134a/R600 v poměru 46,6 / 50 / 3,4%	
R 507	GWP = 3 985
-směs R-125/R-143a v poměru 50 / 50%	

V současnosti jsou směsi chladiv R 410A a R 417A nejpoužívanější typy chladiv.

## 4. Komponenty absorpčního tepelného čerpadla

Výměníky a expanzní ventily jsou zde stejné jako u kompresorového typu. K využití absorpce s následným přečerpáváním pro zvýšení tlaku je zapotřebí následujících komponent.

1. Absorbér
2. Varník
3. Deflegmátor
4. Pracovní medium

### 4.1 Absorbér

V absorbéru dochází k pohlcování par chladiva absorbentem. Absorbéry rozdělujeme do dvou základních skupin a to podle způsobu chlazení. Jsou to absorbéry chlazené vzduchem a vodou. Chlazení vzduchem se využívá u domácích chladniček.

### 4.2 Varník

Hlavní funkcí varníku je vypudit zahřátím z bohatého roztoku pohlcené chladivo. Jejich konstrukce je ovlivněna způsobem přívodu tepla. Toto teplo může být přivedeno parou, zplodinami z hoření či spalováním plynu. U generátorů převládá ležaté uspořádání, ale v současné době byly vytvořeny i velmi účinné stojaté typy. Pro malá zařízení jsou časté dvojtrupové typy. Topná pára vstupuje do nejhornější vnitřní trubky a z nejspodnější odtéká kondenzát. Bohatý roztok přitéká do nejspodnějšího mezitrubkového prostoru, z nejhornějšího vystupuje chudý roztok a páry chladiva

### 4.3 Deflegmátor

Tato komponenta snižuje obsah par absorbentu odcházejících společně s parami chladiva z varníku. Jak již bylo výše zmíněno tento efekt je velmi nežádoucí z důvodů snižování účinnosti a zvyšování poruchovosti tepelného čerpadla. Deflegmátor využívá procesu chlazení, aby donutil nežádoucí složku zkondenzovat a tím ji oddělit od zbytku par.

### 4.4. Pracovní media

U absorpčních tepelných čerpadel je nutno současně využívat dvě pracovní media. První medium je chladivo, které koluje primárním okruhem tepelného čerpadla a přenáší teplo ze vstupu na výstup. Druhé medium je absorbent, který do sebe absorbuje chladící medium.

#### 4.4.1 Voda

Voda je používána jako chladivo ve velkoobjemových zařízeních jako jsou právě absorpční zařízení.

#### 4.4.2 Bromid Lithný

Je dobře rozpustitelný ve vodě a organických rozpouštědlech. Tím pádem je tedy dobře ekologicky odbouratelný. Je extrémně hygroskopický.

#### 4.4.3 Amoniak

Největší předností amoniaku je jeho velmi dobrá rozpustnost ve vodě. Nevýhodou je, že je výbušný, hořlavý a jedovatý. Jeho případný únik lze však zavčas snadno identifikovat a to díky svému výraznému zápachu.

## 5. Využití tepelných čerpadel v průmyslu

Až doposud jsme se zabývali popisováním principu funkce tepelného čerpadla a jeho komponentů. V této části bude popsáno samotné využití tepelných čerpadel v průmyslu. Největší uplatnění najdeme ve zpracovatelském průmyslu. Zpracovatelský průmysl se dále dělí na další odvětví, ve kterých při různých procesech vzniká mnoho odpadního tepla. Toto teplo využíváme prostřednictvím tepelných čerpadel, k ohřívání užitkové vody, vytápění kancelářských prostor nebo předehřívání surovin před následující operací.

### 5.1. Potravinářský průmysl

Jako příklad použití tepelného čerpadla v potravinářském průmyslu bych uvedl začlenění těchto čerpadel do pasterizačního procesu (např.: pro výrobu mléka). V tomto procesu je potřeba základní surovinu ohřát na určitou teplotu, aby se dosáhlo zničení patogenních organismů, a následně po výstupu zchladit. Ohřátá surovina, na výstupu z výdržníku, bude prostřednictvím výměníku sekundárně předehřívát surovinu vstupující do pasterizační jednotky. Následně surovinu dochladíme při průchodu přes tepelné čerpadlo, které nám bude sloužit k primárnímu předehřevu. Tento proces pasterizace se netýká jen mléka, ale veškerých nápojů, které potřebujeme tepelně ošetřit.

Kromě procesu pasterizace nápojů, můžeme tepelná čerpadla využít i při jejich samotné výrobě (například pivovarnictví). Pivo při procesu zvaném rmutování a chmelovaru potřebujeme ohřát na určitou teplotu. Toto ohřáté pivo můžeme využívat jako zdroj tepla pro tepelná čerpadla, a následně jej využívat obdobně jako u pasterizace.

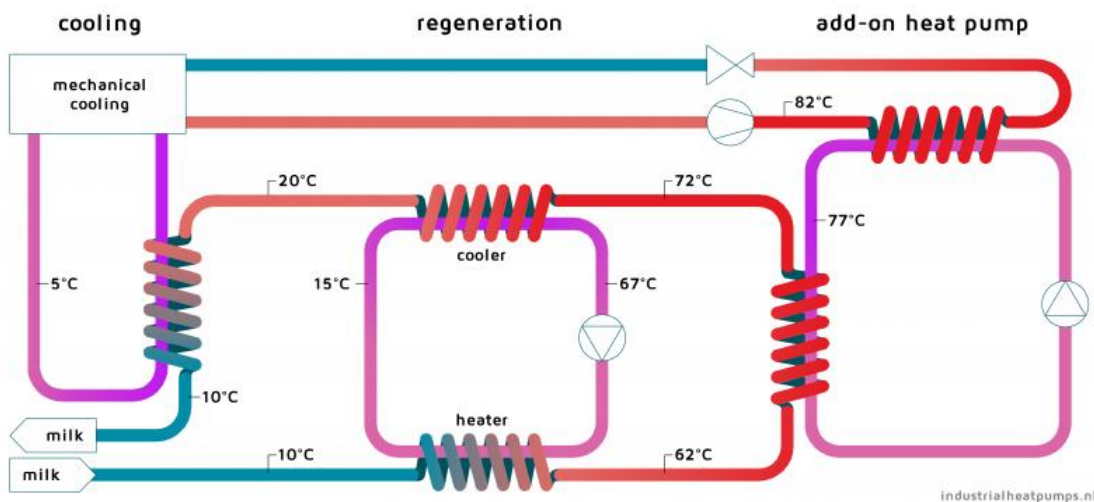
Dalším možným využitím jsou podniky na zpracování masa, kde jako zdroj tepla složí teplý vzduch. Ten je zde vyráběn klimatizačními jednotkami z chladíren a mrazáků. Tepelná čerpadla jsou zde používána především na předehřev užitkové vody.

Jedním z další aplikace tepelného čerpadla v tomto odvětví je v kombinaci s odparkami. Odparka je zařízení, které umožňuje zvyšovat koncentrace kapalných surovin. Odparka pracuje na principu zahřívání suroviny v uzavřené nádobě. Surovina se ohřeje na bod varu a následně se z ní začnou odpařovat veškeré vodní páry. Tyto páry jsou vývěvou odsávány z nádoby. Tímto procesem snižujeme množství vody v surovině, jejímž důsledkem je zahušťování suroviny.

Při procesu sušení dochází k proudění ohřátého vzduchu okolo rozprašované suroviny v kapalném stavu, aby se docílilo vysušení veškeré vody ze suroviny. Ohřátý vzduch po procesu sušení lze využívat prostřednictvím tepelného čerpadla.

### 5.1.1. Pasterizace mléka

Ohřáté mléko na výstupu z pasterizační jednotky slouží k předehřevu "surového" mléka vstupujícího do pasterizační jednotky, právě díky tomuto využití mohou výrobny snížit náklady na energii, které by byly výrazně vyšší za použití samotné technologie ohřívání (např.: přímého ohmického ohřevu), která by musela ohřívát "surové" mléko o vyšší teplotní schod než při předehřátí mléka za využití tepelného čerpadla. Následné chlazení mléka by bylo vysoce ztrátové z hlediska využití této potenciální energie, která lze nejen využít na předehřev mléka, ale také například na ohřívání užitkové vody nebo vytápění některých prostor (kanceláří). Samozřejmě je potřeba dbát na správný návrh a výpočty, aby účinnost tepelného čerpadla byla co možná největší s tím budou klesat náklady na energii.



Obr. 5.1 - Schéma pasterizační jednotky s tepelným čerpadlem [13]

Na počátku je zásobník neošetřeného mléka, z kterého je toto mléko přiváděno do výměníku tepla, který využívá teplo z již ohřátého mléka, k předehřívání mléka na vstupu do pasterizační jednotky z teploty 10°C na 62°C. Následuje proces ohřívání mléka na 72°C za pomoci výměníku. Mléko poté proudí částí označovanou jako výdržník. Ve výdržníku musí mléko setrvat po určitý čas, který je potřebný pro zničení všech patogenních organismů. Následně mléko proudí do výměníku, který z ohřátého mléka odebírá teplo k předehřevu mléka na vstupu, a tím je mléko ochlazeno na 20°C. K dochlazení mléka na požadovaných 10°C dochází při průchodu mléka přes výparník tepelného čerpadla, kde je mléko ochlazeno odebráním části tepla. Tepelné čerpadlo ,pomocí již známého principu, převede odebrané teplo na vyšší teplotní stupeň. Následně je v kondenzátoru předáno teplo do media kolujícího v dohřívací smyčce, která slouží na dohřev mléka před výdržníkem.

## 5.2. Automobilový průmysl

V tomto odvětví tepelná čerpadla využívají odpadní teplo produkované výrobními stroji, ale i zaměstnanci, akumulované ve vzduchu ve výrobních halách. To je následně využíváno především pro vytápění kancelářských prostor, které mohou být i mimo komplex výrobní haly.



### 5.2.1 Výrobní hala BOSCH

V areálu firmy BOSCH, sídlící v Českých Budějovicích, byla postavena výrobní hala o rozloze 9000 m<sup>2</sup>. V hale jsou vyráběny především plastové součástky do automobilů. Jako zdroj odpadního tepla zde slouží plastikářské stroje, které se zde jednotlivé součástky vyrábí. Tato technologie zde produkuje odpadní teplo o teplotě 25°C. Tepelná čerpadla toto teplo převádějí na vyšší teplotní hladinu. Teplo převedené na vyšší teplotní hladinu, o teplotě 65°C, je následně využíváno k vytápění haly a kancelářských prostor. Je zde využito 11 tepelných čerpadel značky IVT, o celkovém výkonu 492 W. Toto řešení přináší úsporu elektrické energie celého komplexu ve výši 12%.



Obr. 5.2 - Kotelna s tepelnými čerpadly (BOSCH) [14]

### 5.3. Výrobní průmysl

Výrobní průmysl je poměrně široký pojem. Jako příklady bych vybral použití tepelných čerpadel ve slévárnách a sklárnách. V těchto dvou případech je zde produkováno velké množství odpadního tepla. Jako zdroje odpadního tepla zde slouží především pece. Odpadní teplo je zde akumulováno obdobně jako v automobilovém průmyslu ve vzduchu v halách, ale může být akumulováno i v chladicí kapalině, která je zde využívána pro chlazení pecí nebo forem.

### 5.3.1 HVM Plasma s.r.o., Praha

Tepelná čerpadla jsou zde zapojena do chladicího okruhu výrobní technologie. Touto technologií zde jsou vakuová povlakovací zařízení, která je nutno chladit z 30°C na 20°C. Instalovaná tepelná čerpadla o výkonu 1,27 MW, odebírající teplo z chladicího okruhu, toto chlazení zajišťují a to s velmi vysokou účinností. Odebrané teplo, převedené na vyšší teplotní hladinu, je posléze využíváno k vytápění a na ohřev užitkové vody.



Obr. 5.3 - Kotelna s tepelnými čerpadly (HVM Plasma) [15]

## 5. 4. Chemický průmysl

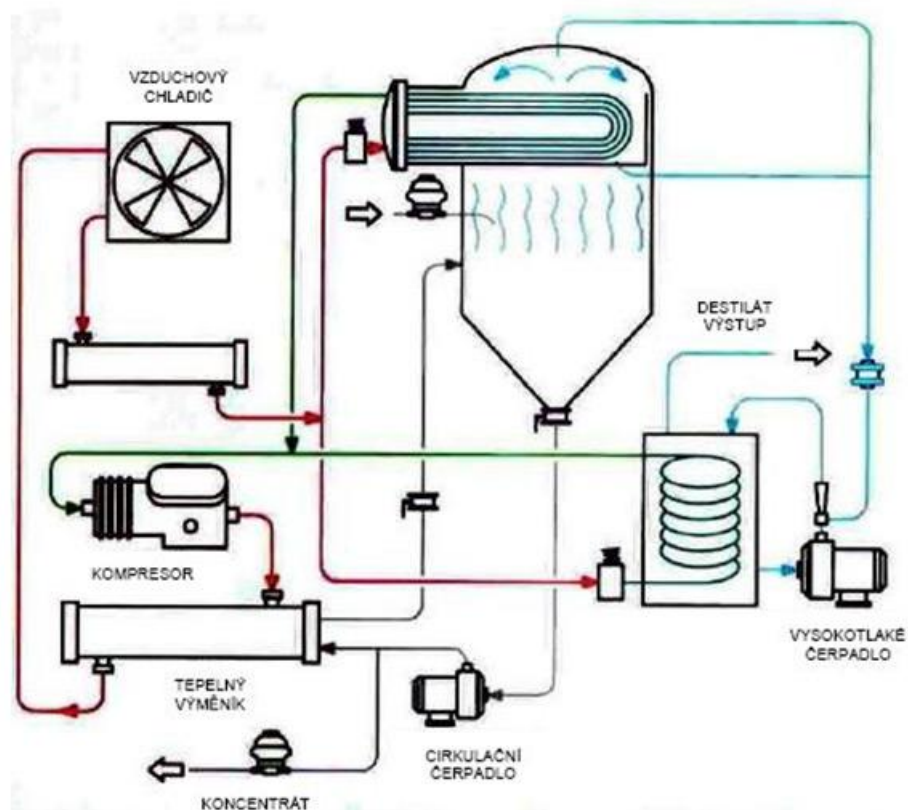
V tomto odvětví se tepelná čerpadla využívají v kombinaci s odparkami, obdobně jako v potravinářském průmyslu. V chemickém průmyslu se používají například při výrobě koncentrovaných kapalných hnojiv nebo koncentrovaných kyselin fosforečných.

Nejčastěji se v chemickém průmyslu využívají tepelná čerpadla při procesech sušení barviv, pracích prášků nebo ve farmacii k sušení léků. Jako zdroj energie zde slouží ohřátý vzduch, který proudí okolo vysoušené suroviny, přes sušárnu.

#### 5.4.1. RUMPOLD s.r.o. Ostrava

Tato firma využívá vakuovou odparku s vestavěným tepelným čerpadlem značky INTREL. Vakuová odparka je zde využívána k čištění opotřebovaných emulzí. Díky využití tepelného čerpadla zde není zapotřebí pára pro odparku ani chladicí voda pro kondenzátory, jelikož proces odpařování probíhá za podtlaku, při teplotách 30 - 35°C.

Vakuová odparka je zařízení skládající se ze odpařovací a kondenzační komory s chladicí spirálou. Tepelné čerpadlo zajišťuje chlazení spirály.



Obr. 5.4 - Schéma vakuové odparky s tepelným čerpadlem [16]

## 5.5. Zemědělský, dřevařský a papírenský průmysl

Obdobně jako jsou tepelná čerpadla využívána v chemickém průmyslu při procesech sušení, tak i v těchto odvětvích jsou tepelná čerpadla využívána převážně při sušení obilí, dřeva nebo obilí či chmele.

## 5.6. Veřejné budovy

V poslední době se velké instalace tepelných čerpadel neprovádějí jen v průmyslu, ale také na některých velkých veřejných objektech.

### 5.6.1. Vysoká škola báňská Ostrava

Pro vytápění tohoto objektu je zde využito 10 tepelných čerpadel značky IVT, o celkovém výkonu 700 kW. Těmto tepelným čerpadlům slouží jako zdroj energie země. Tato energie je získávána prostřednictvím vrtného pole. Toto vrtné pole čítá 110 vrtů o hloubce 130m. Teplo z vrtů se ve všech ročních obdobích pohybuje okolo 5°C. Proto je také tento zdroj využíván klimatizaci objektu v letním období.

Tento objekt sousedí s budovou auly, ve které byl podobný systém instalován již dříve. celkový výkon tepelných čerpadel obou těchto budov přesahuje 1,4 MW.



Obr. 5.5 - Budova FEI [17]

## 7. Závěr

Cílem této práce bylo provést literární rešerši na téma tepelná čerpadla a jejich využití v průmyslu. Je uveden princip funkce tepelného čerpadla a popsány probíhající termodynamické děje. Jsou zde uvedeny základní vztahy pro výpočet energetické bilance, účinnosti a topného faktoru. Dále jsou popsány jednotlivé komponenty tepelných čerpadel.

V další části byly popsány možné aplikace tepelných čerpadel v jednotlivých odvětvích průmyslu. Dále zde byly uvedeny již realizované příklady aplikace tepelných čerpadel v průmyslu.

Tepelná čerpadla se postupem času ukazují jako velmi výhodný nízkoenergetický zdroj tepla. V poslední době tepelná čerpadla zaznamenala velký rozmach, a to hlavně ve zpracovatelském průmyslu. To je způsobeno stále se zvyšujícími cenami energií. Tepelná čerpadla umožňují, velkým zpracovatelským podnikům, alespoň částečnou návratnost nákladů, které musejí vydávat za energii zajišťující proces nezbytný k výrobě požadovaného produktu. Tento systém rekuperace energie přináší úsporu za energii v rozmezí 10-20%. Uvědomíme-li si však mohutnost jednotlivých výrobních procesů, můžeme se dostat s touto úsporou nákladů až do velmi vysokých částek. Do budoucna lze předpokládat že tepelná čerpadla budou stále častěji využívána ve výše zmíněných odvětvích průmyslu.

## Seznam obrázku

Obr. 2.1 - Schéma kompresorového tepelného čerpadla [4] .....	11
Obr. 2.2 - Ideální Carnotův cyklus .....	12
Obr. 2.3 - Skutečný Rankinův cyklus .....	13
Obr. 2.4 - Schéma absorpčního tepelného čerpadla [4] .....	16
Obr. 3.1 - Schéma pístového kompresoru [5] .....	17
Obr. 3.2 - Princip funkce SCROLL kompresoru [6] .....	18
Obr. 3.3 - Řez šroubovým kompresorem [7] .....	19
Obr. 3.4 - Řez deskovým výměníkem [8] .....	20
Obr. 3.5 - Schéma dvoutrubkového výměníku [9] .....	21
Obr. 3.6 - Schéma kotlového výměníku [10] .....	21
Obr. 3.7 - Svazek vnitřních trubek [10] .....	22
Obr. 3.8 - Lamelový výměník [11] .....	22
Obr. 3.9 - Termostatický expanzní ventil [12] .....	23
Obr. 3.10 - Elektronický expanzní ventil [12] .....	24
Obr. 5.1 - Schéma pasterizační jednotky s tepelným čerpadlem [13] .....	32
Obr. 5.2 - Kotelna s tepelnými čerpadly (BOSCH) [14] .....	33
Obr. 5.3 - Kotelna s tepelnými čerpadly (HVM Plasma) [15] .....	34
Obr. 5.4 - Schéma vakuové odparky s tepelným čerpadlem [16] .....	35
Obr. 5.4 - Budova FEI [17] .....	36

---

## Použitá literatura

- [1] Metaxas, A. C. *Foundations of electroheat: a unified approach*, British Library Cataloguing in Publication Data,
- [2] SRDEČNÝ, Karel ; TRUXA, Jan. *Tepelná čerpadla*. Brno: Vydavatelství ERA group spol. s.r.o., 1. vydání 2005.
- [3] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelná čerpadla*. Přerov: Vydáno vlastním nákladem. 1.vydání 2003
- [4] *Plynová absorpční tepelná čerpadla* [online]. 2013 [cit. 2015-6-10]. Dostupné z: <<http://www.robur.cz>>
- [5] *Pístový kompresor* [online]. 1999 [2015-6-10].]. Dostupné z: <<http://cbs.grundfos.com>>
- [6] *Spiráloví kompresory Ecolife Super* [online]. 2012 [2015-6-10].]. Dostupné z: <<http://www.mark-kompresory.cz>>
- [7] *Šroubové kompresory* [online]. 2010 [2015-6-10].]. Dostupné z: <<http://www.aerzen.cz>>
- [8] *Výměníky tepla* [online]. 2014 [2015-6-10].]. Dostupné z: <<http://www.vymenik.com>>
- [9] *Trubkové výměníky* [online]. 2014 [cit. 2015-06-10]. Dostupné z: <<http://www.vymeniky.cz>>
- [10] *Výměníky tepla* [online]. 2010 [cit. 2015-06-10]. Dostupné z: <[users.fs.cvut.cz](http://users.fs.cvut.cz)>
- [11] *Lamelové výměníky* [online]. 2008 [cit. 2015-06-10]. Dostupné z: <<http://www.ciat.cz>>
- [12] *Thermostatic expansion valve* [online]. 2006 [cit. 2015-06-10]. Dostupné z: <<http://navyaviation.tpub.com>>
- [13] *Pasteurization* [online]. 2013 [cit. 2015-06-10]. Dostupné z: <<http://www.industrialheatpumps.nl>>

- [14] *Výrobní hala BOSCH* [online]. © Copyright IVT 2003-2015 [cit. 2015-06-10].  
<Dostupné z: <http://www.cerpadla-ivt.cz>>
- [15] *Jak se dají v průmyslu šetřit náklady na energie* [online]. 2010 [cit. 2015-06-10].  
<Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz>>
- [16] *Vakuové odparky s tepelným čerpadlem* [online]. 2011 [cit. 2015-06-10].  
Dostupné z: <<http://www.intrel.cz>>
- [17] *Instalace tepelných čerpadel vysokých výkonů* [online]. 2012 [cit. 2015-06-10].  
Dostupné z: <<http://vytapani.tzb-info.cz>>
- [18] *Zkratky a pojmy z chlazení* [online]. JDK, spol. s.r.o. 2011[cit. 215-6-16].  
Dostupné z: <<http://www.jdk.cz>>