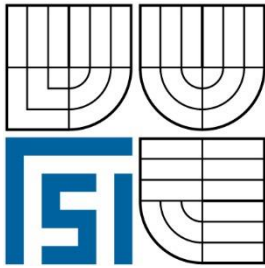


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

CHLADICÍ ZAŘÍZENÍ V POTRAVINÁŘSTVÍ  
REFRIGERATION SYSTEMS IN THE FOOD INDUSTRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JOSEF DVOŘÁK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF ŠTĚTINA, Ph.D.

BRNO 2013



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2012/13

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Josef Dvořák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Chladicí zařízení v potravinářství**

v anglickém jazyce:

### **Refrigeration systems in the food industry**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešerše používaných chladicích zařízení v potravinářství, zejména v mlékárenství. Základní rozbor termodynamických cyklů chladicích zařízení. Jednotlivé části chladicích zařízení. Ekonomika provozu chladicích zařízení, možnosti využití odpadního tepla.

Cíle bakalářské práce:

Základní termodynamika chladicích zařízení (chladicí faktor).

Seznam odborné literatury:

- [1] Whitman B., Johnson B., Tomczyk J., Silberstein E.: Refrigeration & Air Condition Technology. Deimar 2006.
- [2] Stoecker W.F.: Industrial Refrigeration Handbook. McGraw-Hill Professional 1998.
- [3] Cengel Y., Boles M.: Thermodynamics: An Engineering Approach. McGraw-Hill Professional 2010.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

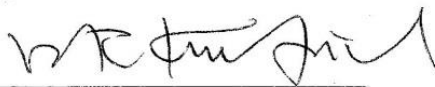
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 18.11.2012

L.S.



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan



## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce je zaměřena na chladicí zařízení v průmyslu, která jsou používána především v potravinářství. Jsou zde popsány jednotlivé části, ze kterých jsou chladicí zařízení sestavena. Součástí práce je shrnutí, jakými způsoby lze využít odpadní teplo a také faktory, které mají vliv na ekonomiku provozu. Cílem práce je popsat základní rozbor termodynamických cyklů v chladicích zařízeních, které jsou uvedeny na názorných schématech.

## **ABSTRACT**

Bachelor's thesis is aimed at refrigeration systems in the industry which are used mainly in the food industry. Here are described individual parts that are refrigeration systems assembled. The work also contains summary of the ways you can make use of waste heat and also factors that have impact on economy of operation. The aim of work is to describe the basic analysis of thermodynamic cycles in the refrigeration systems which are displayed on the illustrative diagrams.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Chladicí zařízení, chladivo, kompresor, kondenzátor, výparník, regulační ventil

## **KEYWORDS**

Refrigeration system, refrigerant, compressor, condenser, evaporator, control valve

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

DVOŘÁK, Josef. *Chladicí zařízení v potravinářství: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 46 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Chladicí zařízení v potravinářství vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne .....

.....

Josef Dvořák

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto doc. Ing. Josefu Štětinovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

## OBSAH

ÚVOD.....	11
1 HISTORIE A VÝVOJ CHLAZENÍ.....	12
2 PODSTATA CHLAZENÍ.....	13
2.1 Chladicí faktor .....	14
3 JEDNOTLIVÉ ČÁSTI KOMPRESOROVÉHO CHLAZENÍ.....	15
3.1 Kompresory .....	15
3.1.1 Pístové kompresory .....	15
3.1.2 Šroubové kompresory.....	17
3.1.3 Termodynamické cykly pístového kompresoru .....	18
3.1.3.1 Ideální jednostupňový pístový kompresor .....	18
3.1.3.2 Skutečný jednostupňový pístový kompresor.....	20
3.1.3.3 Objemová účinnost.....	21
3.1.3.4 Vícestupňová komprese .....	22
3.1.3.5 Optimální tlakový poměr .....	23
3.2 Kondenzátor.....	23
3.2.1 Typy kondenzátorů .....	24
3.2.1.1 Vzduchem chlazené kondenzátory.....	24
3.2.1.2 Vodou chlazené kondenzátory .....	24
3.2.1.3 Odpařovací kondenzátory .....	25
3.3 Sběrač.....	26
3.4 Regulační ventil .....	26
3.5 Výparník .....	26
4 JEDNOSTUPŇOVÝ OKRUH.....	28
5 DVOUSTUPŇOVÝ OKRUH.....	30
6 CHLAZENÍ PŘÍMÉ A NEPŘÍMÉ .....	32
7 CHLADIVA .....	33
8 VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA .....	34
9 EKONOMIKA PROVOZU CHLADICÍCH ZAŘÍZENÍ .....	39
9.1 Projektování a realizace .....	39
9.2 Servis a údržba.....	40
9.3 Zpětné získávání tepla .....	41
Seznam použitých zdrojů .....	43
Seznam symbolů a zkratk.....	45
Seznam příloh .....	46

## ÚVOD

Chladicí technika je pro dnešní život nepostradatelná. Zasahuje téměř do všech oblastí, které jsou důležité pro lidskou činnost. Mnoho odvětví je na chladicích technologiích doslova závislé. Ve zdravotnictví je chlazení využíváno k uskladnění živých tkání, ve strojírenství k ochlazení částí při obrábění, ve sportovním odvětví k výrobě umělého sněhu nebo ledu na zimním stadionu, v klimatizacích a také v potravinářství k uskladnění velkého množství výrobků, které by se při nedostatečném chlazení (mražení) rychle zkazily.

S rostoucími požadavky a využitím se zvyšuje spotřeba elektrické energie. Je tedy snahou zlepšovat energetické parametry, které vedou k úspoře energií. Zároveň také zvýšit životnost a spolehlivost, aby zařízení byla schopna pracovat s minimálními nároky na údržbu. Náhlá porucha nebo odstavení by mohlo způsobit velké škody.

Dalším úkolem je hledání nových látek pro výrobu chladiv, která by zvýšila hospodárnost a spolehlivost zařízení, byla bezpečná k lidem a neškodná k životnímu prostředí.

## 1 HISTORIE A VÝVOJ CHLAZENÍ

Nejdříve k chlazení lidstvo používalo studenou vodu, sníh a led. První strojní chlazení se začalo používat zejména v pivovarech, kde nahradilo chlazení přírodním ledem.

První zmínky o chladicích zařízeních založených na principu termomechaniky pocházejí z 18. a 19. století. Mezi nejznámější jména patří tito objevitelé Joule, Clausius, Helmholtz, Carnot, Faraday, Rankine a Boltzmann.

První parní zařízení popsal Oliver Evans (1805), ale až Američan Jacob Perkins (1834) získal patent na skutečné zařízení pracující s ethyletherem.

S dalším rozvojem a zvyšováním chladicího výkonu byla využívána nová chladiva methylether (1863), oxid uhličitý (1866) a nejvíce čpavek (1873).

V roce 1876 Němec Linde zdokonalil kompresorové chladicí zařízení. Po tomto roce nastal průmyslový rozmach, kdy firma Linde začala vyrábět čpavková zařízení. Tato zařízení využívala pístové kompresory a také v menší míře objemové rotační kompresory. V roce 1934 vynalezl Lysholm šroubový kompresor, ale pro chladiva se začal používat až od roku 1958.

Za počátek vývoje funkčního absorpčního zařízení se zasloužil Francouz Ferdinand Carré (1859). Velké využívání absorpčního zařízení nastalo až počátkem 20. století a je spojeno se jmény Niebergall - teorie oběhu, Maiuri - oběhy se směsmi, Geppert - difúzní oběh se vzduchem, Platen a Munters – difúzní oběh s vodíkem.

Roku 1939 – 1945 byly vybudovány první mrazírny v bývalém Československu.

Mezi první podniky v Československu na výrobu chladicích zařízení patří Calex Zlaté Moravce, kde se vyráběly chladničky a mrazničky do domácností. Dále Elektrosvit Nové Zámky, který vyráběl absorpční chladničky. Tyto podniky byly na Slovensku.

V České republice je to Frigera Kolín, kde se začaly vyrábět menší chladicí jednotky např. pro chladicí návěsy kamionů. Další je ČKD Praha a ČKD Choceň, kde začali s výrobou velkých průmyslových chladicích zařízení. [3]

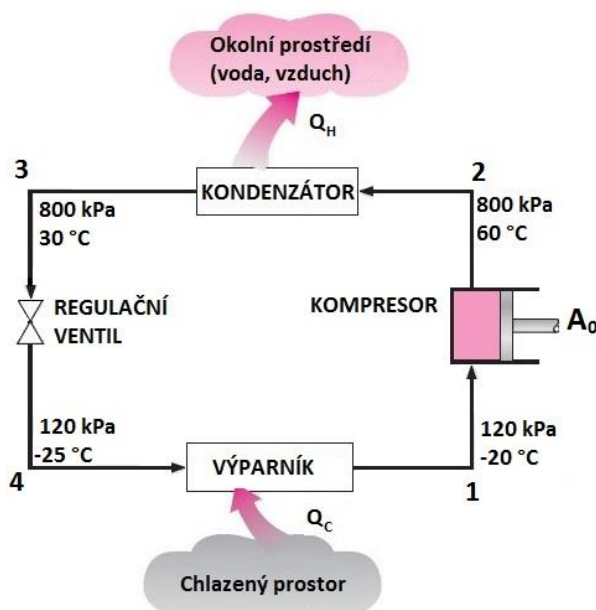


Obr. 1 Oliver Evans (1755 - 1819) [18]

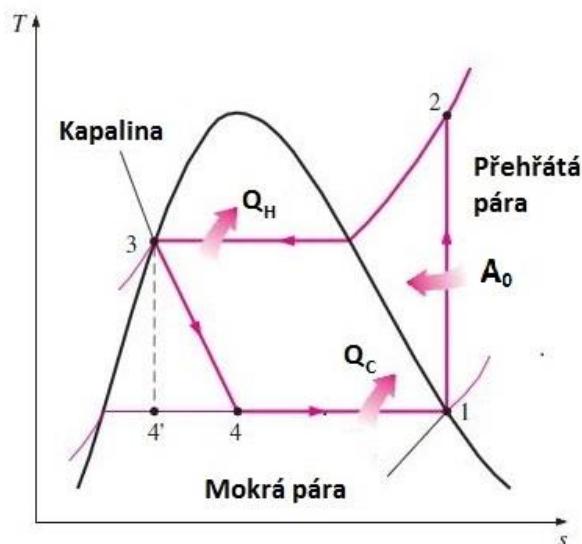
## 2 PODSTATA CHLAZENÍ

Teplu přechází z tělesa s vyšší teplotou na těleso, které má teplotu nižší. Tento proces probíhá v přírodě bez nutnosti zařízení. Po vyrovnání teplot se proces zastaví. Pro přenos tepla z chladnějšího tělesa na těleso o vyšší teplotě je vyžadováno chladicí zařízení. Pracovní kapalina používaná v chladicím cyklu se nazývá chladivo.

Chladicí okruh se skládá ze čtyř hlavních komponent: kompresoru, kondenzátoru, regulačního ventilu a výparníku jak je znázorněno na obr. 2. Na obr. 3 jsou uvedeny také názorné teploty a tlaky, které se v chladicím cyklu vyskytují a jejich průběh v T-s diagramu.



Obr. 2 Chladicí okruh – názorné teploty a tlaky [1]



Obr. 3 Průběh oběhu v T – s diagramu [1]

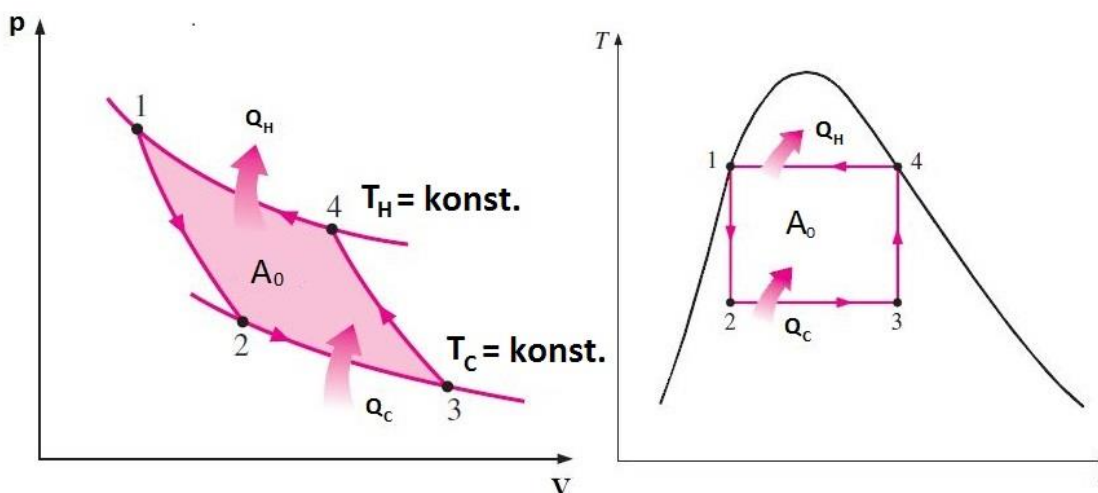
Při nízkém tlaku a teplotě se kapalné chladivo přívodem tepla  $Q_C$  vypaří a tím odebírá teplo z chlazeného prostoru. Ve výparníku se udržuje nízký tlak stálým odsáváním chladiva do kompresoru ve formě páry ve stavu 1 (syťá pára). Chladivo je stlačeno do stavu 2 a opouští kompresor při relativně vysoké teplotě. Dále při vyšším tlaku a teplotě se přehřáté páry odebráním tepla  $Q_H$  ochladí v kondenzátoru a přemění

zpět v kapalně chladivo (tzv. sytou kapalinu 3). Následně v regulačním ventilu škrcením z vysokého tlaku na nízký se mění kapalně chladivo na stav mokré páry 4. Nízkého tlaku se dosáhne škrcením před výparníkem a neustálým odsáváním par z výparníku. [1,8]

## 2.1 Chladicí faktor

Obrácený Carnotův cyklus určuje porovnání hospodárnosti chladicích zařízení a tepelných čerpadel (obr. 4). Teplo se předává při nižší teplotě  $T_C$  a odvádí se při vyšší teplotě  $T_H$ . Podle domluvy, je teplo  $Q_C$  kladné a teplo  $Q_H$  záporné.

Hospodárnost provozu chladicích zařízení se určuje chladicím faktorem, který nabývá hodnot vyšších než 1 a je dán vztahem (2-1). Chladicí zařízení ochlazují různé látky mimo cyklus. Teplo  $Q_C$  je do soustavy přivedeno při nižší teplotě  $T_C$ . Pro správný chladicí účinek je nutné cyklus dodat práci  $A_0$  a také odvést teplo  $Q_H$ . [8]



Obr. 4 Obrácený Carnotův cyklus: p - V a T - s diagram [1]

Děje v diagramu (obr. 4):

- 1 – 2 adiabatická expanze
- 2 – 3 izotermická expanze
- 3 – 4 adiabatická komprese
- 4 – 1 izotermická komprese

Pro obecný cyklus: [8]

$$\varepsilon_{chl} = \frac{Q_C}{|A_0|} = \frac{Q_C}{|Q_H| - Q_C} \quad (2-1)$$

Pro Carnotův cyklus: [8]

$$\varepsilon_{chl} = \frac{T_C}{T_H - T_C} \quad (2-2)$$

### 3 JEDNOTLIVÉ ČÁSTI KOMPRESOROVÉHO CHLAZENÍ

Kompresorové chlazení používané v průmyslu obsahuje: kompresor, kondenzátor, sběrač kapalného chladiva, regulační ventil a výparník

#### 3.1 Kompresory

Kompresory jsou srdcem chladicího zařízení. V chladicím cyklu má kompresor dvě hlavní funkce. První funkcí je odsávání pár chladiva z výparníku tak, aby požadovaná teplota a tlak byly ve výparníku stále udržovány. Druhou funkcí je zvýšit tlak páry chladiva při procesu komprese a současně zvýšení teploty páry chladiva.

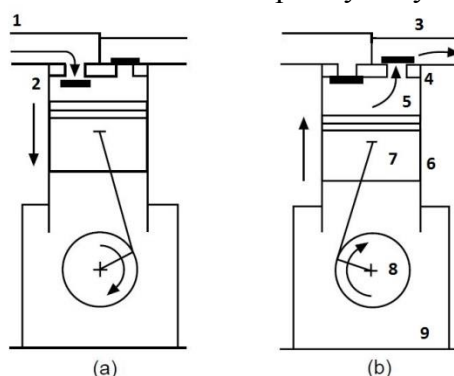
V průmyslové chladicí technice se používají především pístové nebo šroubové kompresory. [4,13]

##### 3.1.1 Pístové kompresory

U pístového kompresoru s vratným pohybem pístu jsou písty poháněny ojnicemi přes klikové hřídele. Písty se pohybují ve válcích. Válce jsou uzavřeny víkem, ve kterých jsou uloženy ventily. Víka válců jsou dvojitá a mezi dvěma deskami víka proudí voda, která ochlazuje hlavy válců. Sací i výtlačné ventily jsou deskové. Sací ventil je umístěn po obvodu válce a výtlačný uprostřed. Výtlačný ventil je přitlačován pružinou. Ventily jsou důležitou složkou v pístovém kompresoru z důvodů jejich vlivu na účinnost (výkon a kapacitu) a spolehlivost kompresoru.

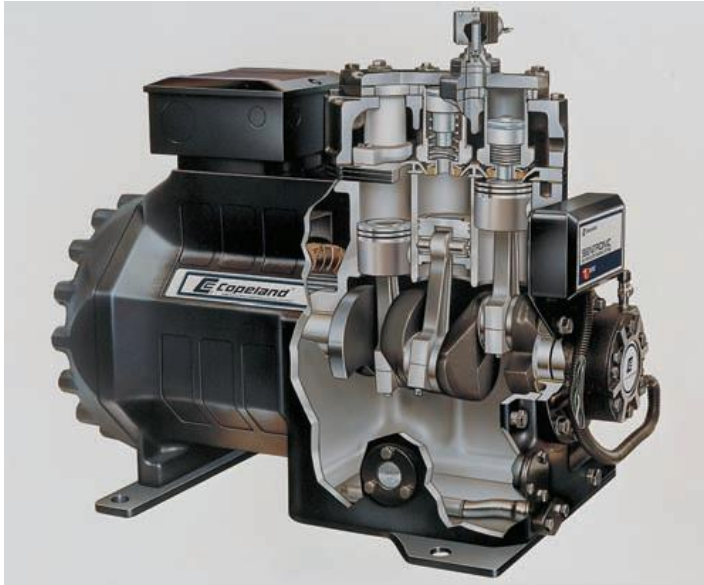
Každý píst má tři těsnicí kroužky a jeden stírací na stírání oleje zpět do klikové skříně. Kliková hřídel je poháněna elektromotorem. Je vyrobena z jednoho kusu kvalitní oceli a jsou v ní navrtány otvory pro rozvod tlakového mazacího oleje. Olej je v klikové skříně kompresoru, je nasáván zubovým čerpadlem a vytlačován přes štěrbinový a magnetický filtr do ložisek hřídele, vrtanými otvory v hřídeli do klikových čepů a do ucpávky hřídele. Ucpávka hřídele je kroužková a skládá se z jednoho ocelového a jednoho bronzového kroužku. Prostor ucpávky je vyplněn tlakovým olejem, který protéká zpět do olejové skříně. Na dně klikové skříně je několik malých magnetů, které na sebe zachycují malé kovové částičky z opotřebeného materiálu, aby se nedostaly do mazacího systému. Pro mazání chladicích kompresorů se používá nízko tuhnutí olej, aby zůstaly stejné mazací vlastnosti i při minusových teplotách.

Používají se v menších nebo středních průmyslových závodech. [4, 6, 12]

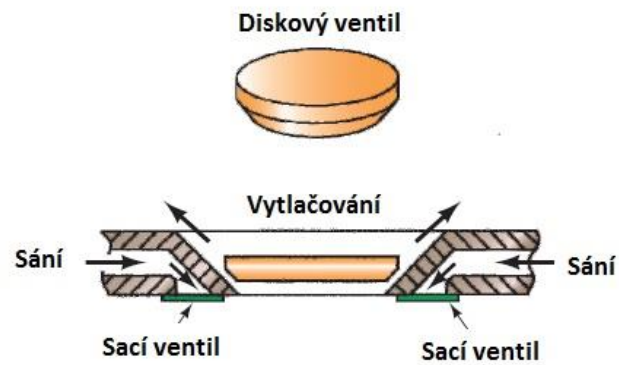


**Obr. 5: Schéma pístového kompresoru [12]**

- 1 - sací potrubí; 2 - sací ventil; 3 - výtlačné potrubí; 4 - výtlačný ventil;
- 5 - pracovní prostor kompresoru; 6 - pracovní válec; 7 - píst s těsnicími kroužky
- 8 - klikový mechanismus; 9 - kliková skříň



Obr. 6: Pístový kompresor v řezu společnosti Copeland [13]



Obr. 7: Detail ventilu pístového kompresoru společnosti Copeland [13]



Obrázek 8 Pístový kompresor dvoustupňový [27]

### 3.1.2 Šroubové kompresory

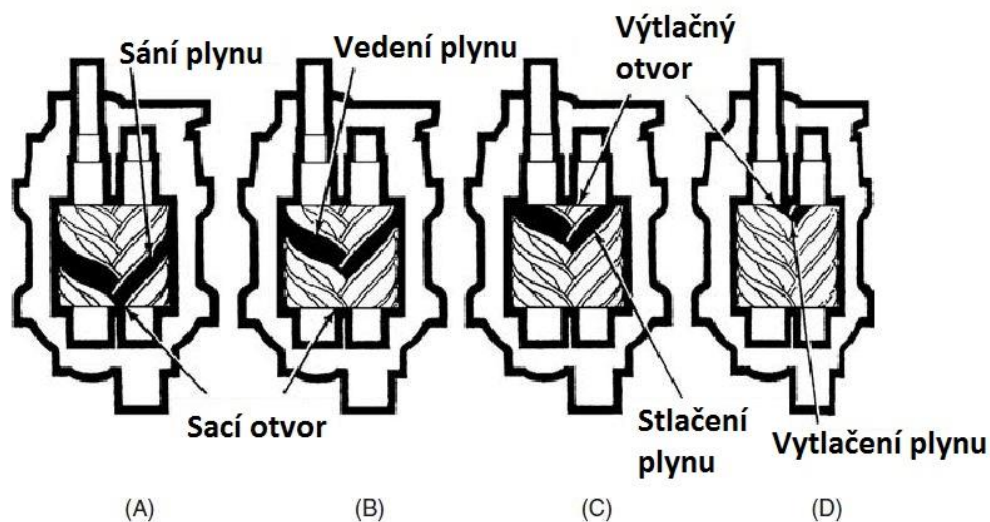
Šroubové kompresory mají dva rovnoběžné rotory ve tvaru ozubených šroubových kol s velkým stoupáním. První rotor má 3 nebo 4 šroubové zuby a druhý má vždy o jeden zářez více než rotor první. Oba rotory musí mít stejné stoupání zubů a jsou uloženy ve válci. Při otáčení ve směru osy vytvářejí zmenšující se komůrku, ve které se postupně stlačuje chladivo a dopravuje na výtlačnou stranu. Chladivo se mezi šroubovými válci míchá s olejem. Po vytlačení chladivo z válce proběhne přes odlučovač oleje, kde se olej odloučí, aby se do okruhu dostalo pouze čisté chladivo.

Pohon rotoru může být řešen dvěma způsoby:

První způsob: Oba rotory jsou poháněny čelním ozubeným soukolím, které zajišťuje synchronizaci otáčení. Vůle mezi rotory je 0,1 – 0,5 mm.

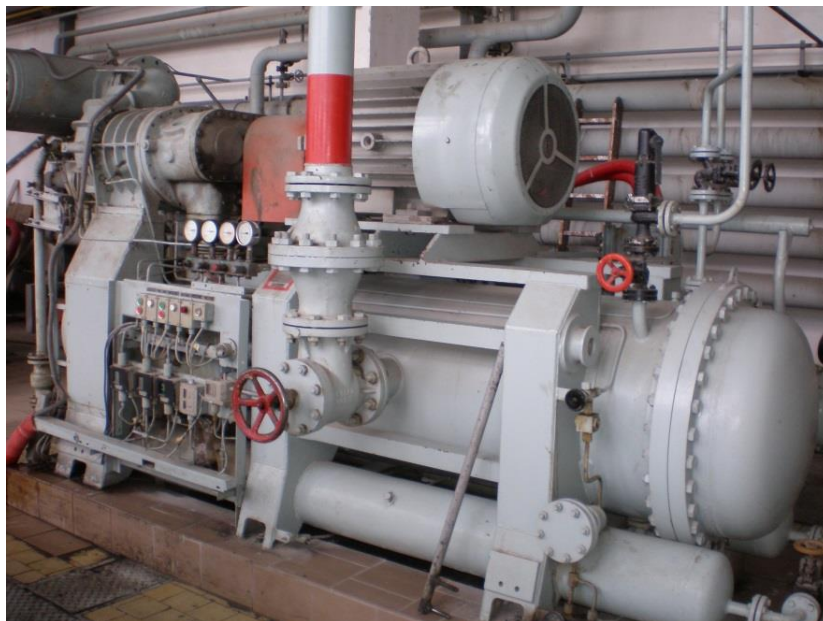
Druhý způsob: Poháněn je jen jeden rotor a druhý rotor se odvaluje. Tyto zuby musí být dostatečně mazány olejem, aby se snížilo tření. Tento olej zároveň těsní vůli mezi zuby, odvádí část tepla a tlumí hluk.

Šroubové kompresory jsou náročné na přesnou výrobu, ale jsou účinnější než pístové kompresory. Používají se ve větších průmyslových závodech. Jejich předností jsou vyšší otáčky, které mohou dosahovat desítek tisíc. Nevýhodou je velký hluk. [5]



Obr. 9: Schéma šroubového kompresoru [7]

- a) přívod plynu; b) vedení plynu v komoře beze změny tlaku c) stlačení plynu  
d) stlačený plyn je vytlačen



Obrázek 10 Šroubový kompresor [27]

### 3.1.3 Termodynamické cykly pístového kompresoru

#### 3.1.3.1 Ideální jednostupňový pístový kompresor

V ideálním pístovém kompresoru je škodlivý prostor nulový. To je možné jen teoreticky, ale prakticky ne. Během sání a komprese neklesne tlak.

**Cyklus operací se skládá z těchto procesů:** [5,8,22]

**Proces 4 – 1:** Píst vyplňuje prostor válce (bod 4) a při pohybu z horní úvratě (HÚ) do dolní úvratě (DÚ) nasává plyn o konstantním sacím tlaku  $p_1$ . Sací ventil zůstane otevřený.

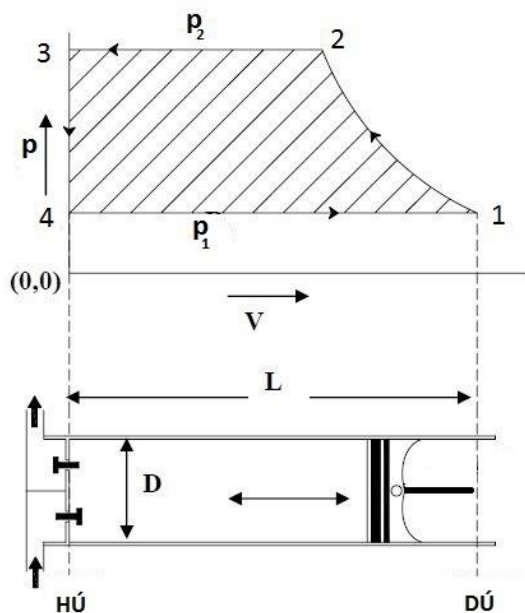
**Proces 1 – 2:** Jedná se o polytropickou kompresi. V průběhu tohoto procesu se píst pohybuje směrem od DÚ k HÚ. Sací a výtlačné ventily zůstanou zavřené a zvyšuje se tlak z  $p_1$  na  $p_2$ . Kompresní křivka 1 – 2 je polytropa určena rovnicí:

$$pV^n = konst \quad (3.1)$$

Technická polytropa:  $n \in (1, \infty)$

**Proces 2 – 3:** Při tomto procesu sací ventil zůstane uzavřen a otevře se vypouštěcí ventil. Chladivo je při uvažovaném konstantním tlaku  $p_2$  vytlačováno z kompresoru dále do celého okruhu. Píst se pohybuje k HÚ.

**Proces 3 – 4:** Vzhledem k tomu, že škodlivý prostor je nulový pro ideální kompresor, v pracovním prostoru nastane okamžitý tzv. izochorický pokles tlaku. Dále opět nastane proces sání 4 – 1..



Obr. 11: Průběh ideálního pístového kompresoru v p-V diagramu [22]

Práce ideálního kompresoru v jednom cyklu je rovna technické práci [8,22]

$$A_{12} = A_{t12} = A_{4-1} + A_{1-2} + A_{2-3} \quad (3.2)$$

Jednotlivé práce jsou rovny obsahu ploch pod danými křivkami v p-V diagramu.

$$A_{4-1} = p_1 \cdot V_1 \Rightarrow \text{práce sací je rovna obsahu plochy pod křivkou 4 - 1}$$

$$A_{1-2} = - \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV \Rightarrow \text{práce kompresní je rovna obsahu plochy pod křivkou 1 - 2}$$

$$A_{2-3} = -p_2 \cdot V_2 \Rightarrow \text{práce výtlačná je rovna obsahu plochy pod křivkou 2 - 3}$$

Celková práce je oblast 1 - 2 - 3 - 4 v p-V diagramu. Plocha se považuje za zápornou (vzhledem k růstu tlaku), aby během expanze nebo poklesu tlaku soustavy byla kladná [6,8,22]

Odvození celkové práce: [6]

$$A_{t12} = p_1 \cdot V_1 - \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV - p_2 \cdot V_2 \quad (3.3)$$

$$A_{t12} = - \int_{P_1}^{P_2} V \cdot dp \quad (3.4)$$

$$pV^n = p_1 V_1^n \quad (3.5)$$

$$V^n = \frac{p_1}{p} V_1^n \quad (3.6)$$

$$V = V_1 \left( \frac{p_1}{p} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (3.7)$$

$$A_{t12} = -p_1^{\frac{1}{n}} V_1 \int_{p_1}^{p_2} p^{-\frac{1}{n}} \cdot dp = \frac{n}{n-1} p_1 V_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] \quad (3.8)$$

Vztah mezi tlakem a objemem lze určit přímo z rovnice polytropy: [8]

$$p_1 V_1^n = p_2 V_2^n \quad (3.9)$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^n \quad (3.10)$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (3.11)$$

Během stlačování se teplota chladiva zvyšuje. Vztah mezi teplotou a objemem (3.13), resp. mezi teplotou a tlakem (3.14) lze získat dosazením stavové rovnice (3.12) do rozepsané rovnice polytropy: [8]

$$pV = mrT \quad (3.12)$$

$$\frac{rT_2 V_1}{rT_1 V_2} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^n \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \quad (3.13)$$

$$\left( \frac{rT_1 p_2}{rT_2 p_1} \right)^n = \frac{p_2}{p_1} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (3.14)$$

### 3.1.3.2 Skutečný jednostupňový pístový kompresor

Píst u skutečného kompresoru v horní úvrati nevyplní na konci stlačení celý prostor válce, tak jak je tomu u ideálního kompresoru. Menší množství stlačeného chladiva zůstane v prostoru mezi pístem a hlavou válce, vznikne tzv. škodný prostor. Je velice důležitý, aby nedošlo k dotyku pístu s ventily. [6]

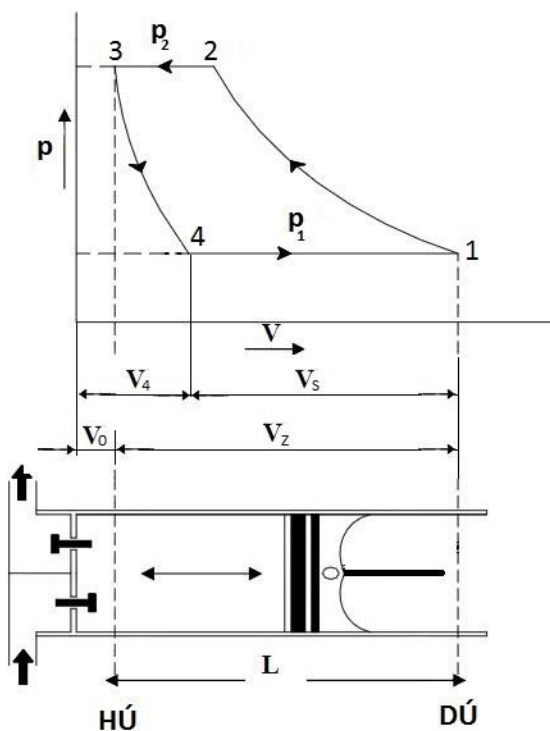
Délka škodného prostoru ve válci zpravidla bývá  $L_3$  (3.15), kde  $L$  je délka zdvihu v mm. [22]

$$L_3 = (0,005L + 0,5) \text{ [mm]} \quad (3.15)$$

Poměr objemu  $V_0$  škodného prostoru vzhledem k objemu  $V_z$  zdvihovému (3.16) je nazýván poměrný škodlivý prostor (3.17), je uváděn v procentech. [6]

$$V_z = V_1 - V_3 \quad (3.16)$$

$$\varepsilon = \frac{V_0}{V_z} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (3.17)$$



Obr. 12: Průběh skutečného pístového kompresoru v p-V diagramu [22]

### 3.1.3.3 Objemová účinnost

Objemová účinnost je dána škodným prostorem. [6]

$$\eta_0 = \frac{V_s}{V_z} = \frac{V_1 - V_4}{V_1 - V_3} = \frac{V_z + V_0 - V_4}{V_1 - V_3} \quad (3.18)$$

Objem chladiva  $V_4$ : [6]

$$\frac{V_4}{V_0} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}} \Rightarrow V_4 = V_0 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (3.19)$$

Velikost škodného prostoru: [6]

$$V_0 = \varepsilon V_z \quad (3.20)$$

Dosazení vztahů (3.19), (3.20) do rovnice (3.18) a úprava: [6]

$$\eta_0 = \frac{V_z + \varepsilon V_z - V_0 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}}}{V_z} = 1 + \varepsilon - \varepsilon \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}} = 1 - \varepsilon \left[ \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \quad (3.21)$$



### 3.1.3.5 Optimální tlakový poměr [8]

Po ochlazení v mezichladiči, jestliže teploty na počátku komprese v prvním a druhém stupni jsou stejné, platí:  $p_1 V_1 = p_x V_x$ .

$$\frac{d|A|}{dp_x} = 0 \quad (3.25)$$

$$p_x = \sqrt{p_1 \cdot p_2} \quad (3.26)$$

Zobecněny vztah (3.26):

$$p_x^2 = \sqrt{p_1 \cdot p_2} \Rightarrow \frac{p_x}{p_1} = \frac{p_2}{p_x}; \Rightarrow \frac{p_{i+1}}{p_i} = \pi = konst. \quad (3.27)$$

platí: 
$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_3}{p_2} = \frac{p_4}{p_3} = \dots = \frac{p_{n+1}}{p_n} \quad (3.28)$$

po úpravě také platí: 
$$\pi^n = \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{p_3}{p_2} \cdot \frac{p_4}{p_3} \dots \frac{p_n}{p_{n-1}} \cdot \frac{p_{n+1}}{p_n} \quad (3.29)$$

$$\pi^n = \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{p_3}{p_2} \cdot \frac{p_4}{p_3} \dots \frac{p_n}{p_{n-1}} \cdot \frac{p_{n+1}}{p_n} \quad (3.30)$$

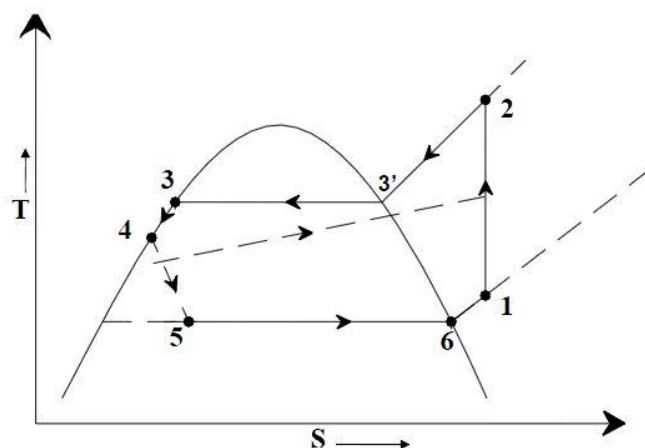
Výsledný vztah pro N-stupňovou kompresi.  
N – počet kompresních stupňů

$$\vartheta = \sqrt[n]{\frac{p_{n+1}}{p_1}} \quad (3.31)$$

## 3.2 Kondenzátor

Kondenzátor je důležitou složkou jakéhokoli chladicího systému. Od kompresoru páry chladiva vstupují do kondenzátoru v plynném přehřátém stavu. Úkolem kondenzátoru je tyto páry ochladit a tím převést zpět chladivo do kapalného stavu.

Musí být opatřen manometrem pro kontrolu tlaku a pojistným ventilem. V případě přetlaku by pojistný ventil upustil přebytečný tlak, aby nedošlo k havárii. [13,22]



Obr. 14 Kondenzace 2-3'-3-4 [22]

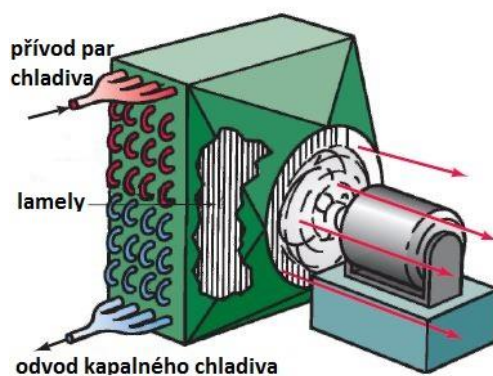
### 3.2.1 Typy kondenzátorů [22]

- Vzduchem chlazené kondenzátory
- Vodou chlazené kondenzátory
- Odpařovací kondenzátory

#### 3.2.1.1 Vzduchem chlazené kondenzátory

Vzduchem chlazené kondenzátory bývají lamelové, přes které je vháněn vzduch ventilátorem. Probíhá zde nucená konvekce. Nejsou tak účinné, hlavně v letním období, to způsobuje vysoké kondenzační teploty a tlaky a vyšší spotřebu elektrické energie pro pohon kompresoru. Jsou používány jen v menších zařízeních, jako jsou klimatizace, potravinářské boxy, atd.

Kondenzátory domácích chladniček jsou ochlazovány okolním vzduchem přirozenou konvekcí. [5,22]



Obr. 15 Kondenzátor chlazený vzduchem [13]

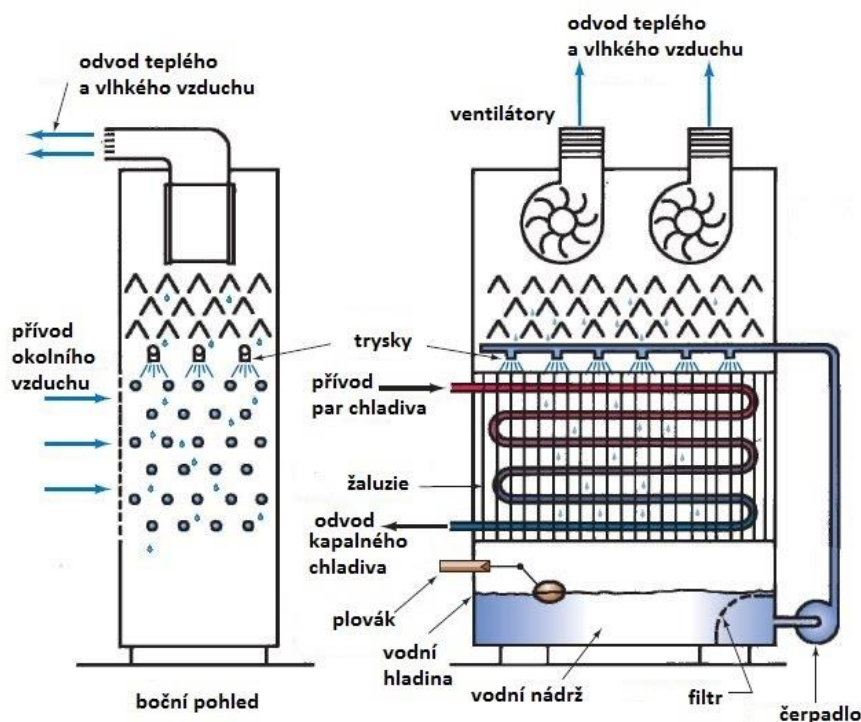
#### 3.2.1.2 Vodou chlazené kondenzátory

Kondenzátory chlazené vodou bývají ve většině případů kotlové. Kotel slouží jako sběrač chladiva. Uvnitř kotle jsou trubky, kterými protéká chladicí voda. Po vnějším obvodu těchto trubek probíhá tepelná výměna mezi chladicí vodou a párami chladiva, které kondenzují. Voda pro kondenzátor se musí také ochlazovat, protože by docházelo k vyšším kondenzačním teplotám a tlakům. [5,22]

### 3.2.1.3 Odpařovací kondenzátory

Odpařovací kondenzátory pracují na principu chladicí věže. K chlazení je využita voda a proudění vzduchu pomocí ventilátoru. Ve spodní části věže je umístěna nádrž na vodu. Čerpadlo z nádrže čerpá vodu do horní části věže, kde jsou trysky na sprchování potrubí s chladivem. Nad těmito vodními tryskami je ventilátor, který nasává vzduch z boční části věže směrem nahoru proti sprchující vodě. Tím dochází k vyššímu odparu vody na kondenzátorových trubkách a vyšší účinnosti kondenzátoru. Mezi vodními tryskami a ventilátorem jsou umístěny žaluzie, které zachytávají drobné kapky vody a stékají zpět do vodní nádrže.

Tento typ je neúčinnější, v zimním období se ventilátory mohou vypínat. [13,22]



Obr. 16 Odpařovací kondenzátor [13]



Obr. 17 Odpařovací kondenzátor při provozu [27]

### 3.3 Sběrač

Zkapalněné chladivo z kondenzátoru stéká do sběrače kapalného chladiva, do kterého se musí vejít chladivo z celého okruhu. Tato nádrž musí být také opatřena manometrem, pojistným ventilem a hladino-znakem pro kontrolu hladiny kapalného chladiva. [3]



Obr. 18 Sběrač kapalného chladiva pod odpařovacím kondenzátorem [27]

### 3.4 Regulační ventil

Kapalné chladivo ze sběrače chladiva proudí do výparníku přes regulační ventil. Zde se provádí redukce tlaku. Je to důležitý pochod, který nastává v chladicím cyklu. Při škrcení se teplo nepřivádí ani neodvádí, ale redukuje se tlak kapaliny z vysokého tlaku na nízký. Redukce tlaku se provádí tak, že se kapalina vede zúženým otvorem do prostoru s nízkým tlakem. Po vniknutí kapaliny do tohoto prostoru se kapalina částečně odpaří. Čím je vyšší rozdíl tlaku před škrcením a po něm, tím více kapaliny se po škrcení přemění v páru.

Množství odpařené kapaliny závisí také na teplotě. Čím je kapalina před škrcením chladnější, tím méně se při škrcení odpařuje a naopak. To znamená, že čím je kapalina více zchlazena, tím méně se jí při procesu škrcení odpaří a zbyde větší množství kapaliny pro odběr tepla z okolního prostředí. [11,13]

### 3.5 Výparník

Z regulačního ventilu proudí chladivo do výparníku. Výparník je výměník tepla, ve kterém se chlazené látky odebírají teplo a ta se tím ochlazuje. Toto teplo přechází do

chladiwa a tím se chladivo vypařuje. Páry chladiva odsává kompresor a tím umožňuje další přívod kapalného chladiva přes regulační ventil. Takové výparníky se používají u menších zařízeních. U velkých průmyslových chladicích zařízení se používají výparníky s nucenou cirkulací chladiva. Chladivo proudí od regulačního ventilu do expanzní nádoby, která slouží také jako odlučovač kapalného chladiva. Z této nádoby je chladivo přepravováno čerpadlem přes výparník zpět do nádoby. Část chladiva se vypaří ve výparníku a zbytek se vypařuje v expanzní nádobě. Tyto páry odsává kompresor.

Trubky výparníku, kterými se ochlazuje vzduch, mají na sobě kovové lamely, aby se zvětšila plocha pro přenos tepla. Tyto výparníky jsou opatřeny ventilátorem, který žene vzduch přes kovové lamely. [9,11,13]



Obr. 19 Výparník [27]



Obrázek 20 Výparník [27]

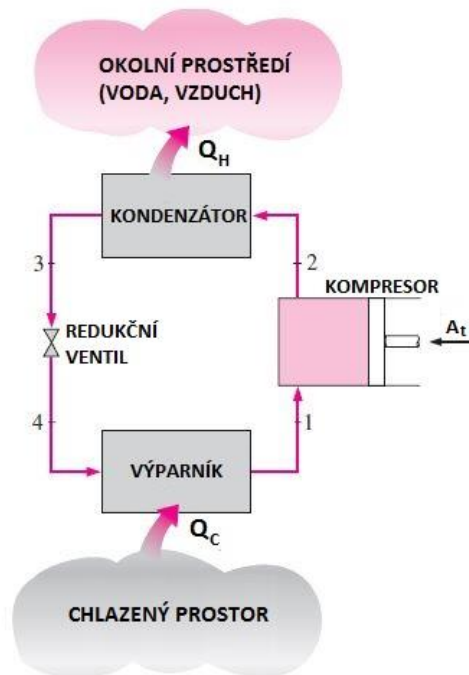
## 4 JEDNOSTUPŇOVÝ OKRUH

Využívá se v chladicích zařízeních s nižšími výkony, kde není zapotřebí hlubokých chladicích teplot. U menších chladicích jednotek se okruh skládá z kompresoru, kondenzátoru, regulačního ventilu a výparníku (obr. 21). U větších průmyslových zařízení se jednostupňový okruh používá s nuceným oběhem kapalného chladiva. Tento okruh má navíc sběrač kapalného chladiva, expanzní nádobu a čerpadlo kapalného chladiva. (Příloha - 2)

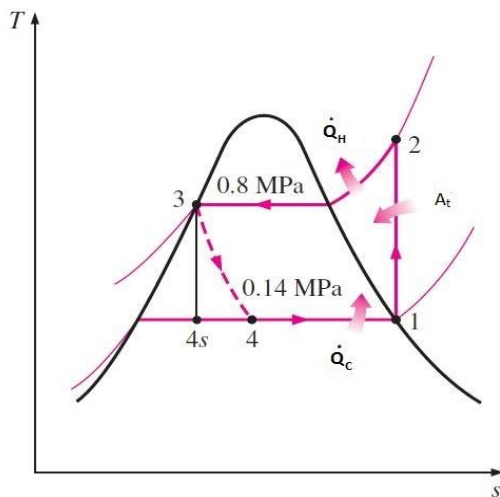
Okruh má dvě části, vysokotlakou a nízkotlakou. Vysokotlaká část je od výtlačného ventilu kompresoru přes kondenzátor až k regulačnímu ventilu. (Příloha – 2 – červené a fialové potrubí) Odtud je přes výparník až k sacímu ventilu kompresoru strana nízkotlaká. (Příloha – 2 – žluté potrubí) Chladivo se vypařuje za takového tlaku, aby jeho teplota varu byla nižší, než je požadovaná teplota chlazené látky.

U zařízení bez nuceného oběhu kapalného chladiva je chladivo do výparníku dopravováno rozdílem tlaku před a za regulačním ventilem. Chladivo se vypařuje po celé délce výparníkového systému tak, že na konci je větší množství par než kapaliny a tím je přestup tepla v těchto místech výparníku horší, než v místech úplného zaplavení kapalným chladivem.

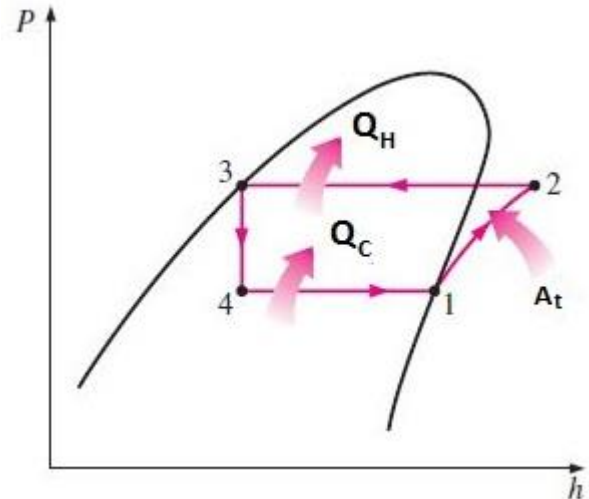
U zařízení s nuceným oběhem kapalného chladiva je chladivo dopravováno od regulačního ventilu do expanzní nádoby, která slouží jako nízkotlaký sběrač kapalného chladiva. Na expanzní nádobu je napojeno sání kompresoru, páry vzniklé za regulačním ventilem neprojdou ani výparníkem a hned je odsává kompresor. Pomocí čerpadla se dosáhne úplného zaplavení výparníku kapalným chladivem. Tak se dosáhne dokonalého přestupu tepla po celé jeho délce. Část chladiva se ve výparníku odpaří a do expanzní nádoby se vrací směs par a kapaliny. Tyto páry také odsává kompresor. Kapalina v expanzní nádobě při nízkém tlaku vře, proto musí být čerpadlo umístěno pod expanzní nádobou v hloubce 1 až 2 metry. Je to proto, aby kapalina do čerpadla natekla, jinak by došlo k odpařování kapaliny v čerpadle. Vznikla by parní bublina a přerušeno nasávání kapaliny. [1,9]



Obr. 21 Schéma 1. stupňového chladicího oběhu [1]



Obr. 22 T-s [1]



Obr. 23 p-h [1]

Pro 1. stupňový chladicí okruh na obrázku (21) platí: [9]

Hmotnostní chladivost – množství tepla odebrané chlazené látce ve výparníku 1 kg chladiva

$$q_C = h_1 - h_4 \quad (4-1)$$

Objemová chladivost – množství tepla odebrané chlazené látce ve výparníku 1 m<sup>3</sup> chladiva

$$q_v = \frac{q_C}{v_1} \quad (4-2)$$

Měrná izoentropická práce

$$a_{ie} = h_2 - h_1 \quad (4-3)$$

Množství tepla předané chladicí látce v kondenzátoru 1 kg chladiva

$$q_H = h_2 - h_3 \quad (4-4)$$

Chladicí faktor

$$\varepsilon_{chl} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{q_C}{a_{ie}} \quad (4-5)$$

Čerpací poměr

$$\varphi_R = \frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_4} = \frac{q_H}{q_C} = 1 + \frac{1}{\varepsilon_{chl}} \quad (4-6)$$

U zařízení, které má chladicí výkon  $\dot{Q}_C$  platí:

Hmotnostní průtok

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_C}{q_C} \quad (4-7)$$

Výkon kondenzátoru

$$\dot{Q}_H = \dot{m} \cdot q_H \quad (4-8)$$

Příkon

$$P = \dot{m} \cdot a_{ie} \quad (4-9)$$

## 5 DVOUSTUPŇOVÝ OKRUH

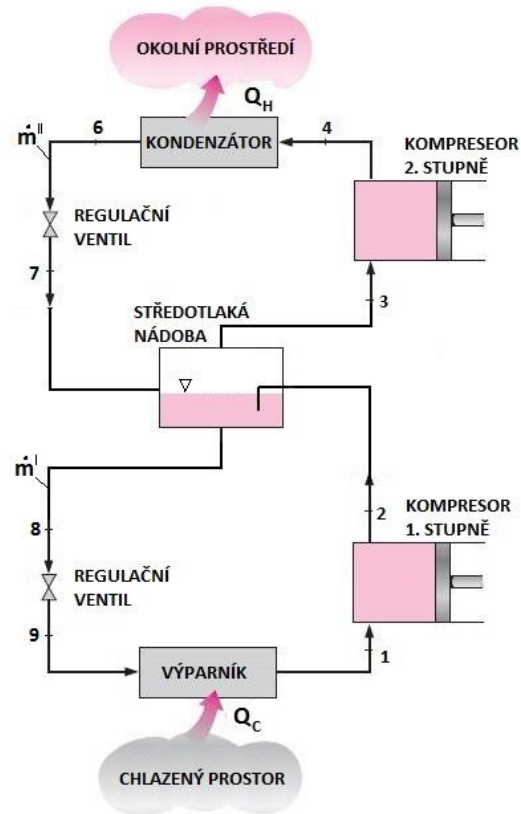
Používá se k dosažení hlubokých chladicích teplot. Jednostupňovým okruhem by nebylo výhodné vytvářet takové teploty z konstrukčních důvodů, hospodárnosti provozu a pro kompresi v jednom stupni by byl kompresní poměr příliš velký. Zvýší se také chladicí faktor oproti jednostupňovému okruhu. Dalším důvodem dvoustupňového chlazení jsou různé vypařovací teploty jedním zařízením.

Dvoustupňový chladicí okruh se skládá minimálně ze dvou kompresorů. Každý kompresor má svůj vlastní okruh. Mezi těmito okruhy je napojena středotlaká nádoba.

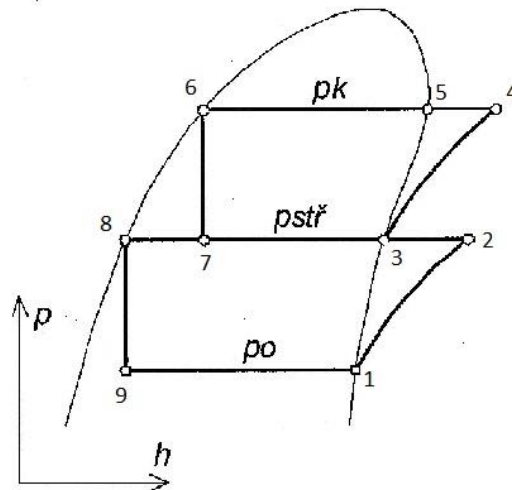
Dvoustupňový chladicí okruh pracuje tak, že kompresor prvního stupně odsává páry chladiva z expanzní nádoby. Páry nevytlačuje do kondenzátoru, ale do středotlaké nádoby, ve které je kapalné chladivo. Výtlačné potrubí je ponořeno pod hladinou kapalného chladiva, páry v kapalině částečně kondenzují a zbytek par je odsáván kompresorem druhého stupně a vytlačován do kondenzátoru. Páry v kondenzátoru zkapalní a stékají do sběrače chladiva. Ze sběrače kapalné chladivo proudí přes regulační ventil do středotlaké nádoby. Středotlaká nádoba pracuje jako mezichladič, kde se chladivo předchladí na teplotu kolem  $-10^{\circ}\text{C}$  a odtud proudí přes další regulační ventil do expanzní nádoby. Tím se dosáhne nízkých vypařovacích teplot  $-33^{\circ}\text{C}$  až  $-40^{\circ}\text{C}$ . Takhle vychlazené kapalné chladivo je dopravováno čerpadlem do výparníku, kde se využívá k zamrazování různého zboží. Kapalné chladivo ze středotlaké nádoby také dopravuje čerpadlo do výparníků různých chladíren.

Ve středotlaké a expanzní nádobě jsou dva plováky. Spodní plováky hlídají hladinu kapalného chladiva. Mají elektrické koncové spínače, které jsou napojeny na regulační ventil. Při poklesu hladiny plovák klesne a sepne spínač, ten otevře regulační ventil a tak se načerpá kapalné chladivo do nádoby. Po dosažení hladiny je plovákem regulační ventil vypnut. V horní části nádob jsou plováky pro případ přeplnění nádoby kapalinou. Kdyby došlo k tomuto přeplnění, nastane havarijný stav a plováky vypnou celé zařízení, aby se kapalné chladivo nedostalo do kompresorů.

Kompresor druhého stupně musí mít silnější elektromotor, protože pracuje s vyšším tlakem. Nasává syté páry ze středotlaké nádoby, které tam vytlačuje kompresor prvního stupně. Tento tlak je kolem 0,2 MPa a vytlačuje je do kondenzátoru na tlak cca 0,8 MPa a vyšší. [1,3,9,10]



Obr. 24 Schéma 2. stupňového chladicího oběhu s průchozí středotlakou nádobou (zpracování dle [1, 9])



Obr. 25 p - h diagram [9]

Dle průchozí středotlaké nádoby v okruhu je hmotnostní průtok chladiva ve 2. stupni větší než v 1. stupni. [9]

$$\dot{m}^{II} \cdot h_7 - \dot{m}^I \cdot h_8 + \dot{m}^I \cdot h_2 - \dot{m}^{II} \cdot h_3 = 0 \quad (5-1)$$

$$\dot{m}^{II} = \dot{m}^I \cdot \frac{h_2 - h_8}{h_3 - h_7} \quad (5-2)$$

Střední tlak 
$$p_{stř} = \sqrt{p_0 \cdot p_k} + 0,035 \quad (5-3)$$

## 6 CHLAZENÍ PŘÍMÉ A NEPŘÍMÉ

Chlazení přímé spočívá v tom, že chlazená látka je vychlazována přímo vypařujícím se chladivem ve výparníku.

U chlazení nepřímého je mezi chlazenou látkou a vypařujícím se chladivem zařazen oběh teplotně látky. Pro plusové teploty se většinou používá voda a pro minusové teploty se používají roztoky anorganických solí nazývané solanky. Tyto teplotně látky se vychlazují v nádrži, kde je ponořen výparník a čerpadlem dopravovány k chlazení dalších látek. [11]

Nepřímé chlazení se především používá v mlékárnách k vychlazení mléka. Dále na zimních stadionech, kde se v nádrži vychladí solanka a čerpadlem je dopravována pod ledovou plochu. Je to také z důvodu bezpečnosti osob na stadionu pro případ úniku čpavku.



Obr. 26 Chlazení solanky [27]



Obrázek 27 Přímé chlazení zboží [27]

## 7 CHLADIVA

Chladicí zařízení vykonává tepelný oběh pomocí pracovní látky, kterou je chladivo. Při oběhu se ve výparníku teplo přijímá z chlazené látky při nižší teplotě a tlaku a v kondenzátoru se teplo odevzdává do chladicí látky při vyšší teplotě a tlaku. Chladivo mění skupenství z plynného na kapalné a obráceně.

Obecný název ke značení chladiv se používá pro vodu, vzduch, čpavek nebo podle chemického složení, např. oxid uhličitý. Ve třicátých letech 20. st. se začaly používat jako chladiva halogenované uhlovodíky a bylo třeba zavést pro ně jiné značení. První látka s chemickým názvem byl difluordichlormetan označován jako chladivo R 12. Toto chladivo patří do skupiny tvrdých freonů (R12, R502, R13). Mají nepříznivý vliv na ozónovou vrstvu a nesmějí být používány. Tvrdé freony jsou nahrazovány vhodnějšími chladivy s označeními R 407A, R 407B a R 407C.

Označení a složení chladiv začíná písmenem R z anglického slova Refrigerant a následně třímístné číslo podle pravidel:

- první číslice určuje počet atomů uhlíku v molekule zmenšený o jeden, jestliže výsledek by byl nula, tak se neuvádí a označení by bylo dvoumístné
- druhá číslice určuje počet atomů vodíku v molekule, který je zvětšený o jeden
- třetí číslice určuje počet atomů fluoru v molekule

Informace o chladivech používaných v dnešní době jsou uvedeny v příloze 1. Chladivo R22 je dle nařízení Evropského parlamentu povolené používat do roku 2015. [9,17]

### Čpavek [9]

Pro průmyslové účely je vyráběn synteticky. Má vysokou hmotnostní a objemovou chladivost, velký součinitel přestupu tepla při změně skupenství, nízkou cenu a je nejvíce používán. Mezi nevýhody patří hořlavost, výbušnost, jedovatost. Výhodou při uniknutí je pronikavý zápach, který upozorní na únik už při malé koncentraci ve vzduchu, která ještě není nebezpečná. Uniklé páry jsou lehčí než vzduch, proto musí být ohrožené prostory vybavené odsáváním, které je umístěné nahoře. Při přítomnosti vlhkosti agresivně působí na zinek, měď a její slitiny

Je vhodný pro velká zařízení.

Teplota varu při 101 325 Pa je  $-33,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Oxid uhličitý [9]

Je bezpečný a nenarušuje konstrukční materiály, proto se začal používat na počátku strojního chlazení. Nevýhodou je nízká hodnota kritické teploty ( $31,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) při vysokém kritickém tlaku ( $7,38\text{ MPa}$ ), ke kondenzaci dochází v nadkritické oblasti při tlaku větším jak  $10\text{ MPa}$ . Nedojde tak k běžné kondenzaci chladiva jako u ostatních, které mají kondenzační tlak nižší než kritický. Páry chladiva se jen ochladí a ke kondenzaci par dojde a během redukce tlaku. Je vhodný pro nízkoteplotní stupně kaskádního zařízení.

### Uhlovodíky [9]

Neporušují ozónovou vrstvu a mají nulový vliv na globální oteplování. Ekologové tedy žádají, aby byly více využívány. Používají se u zařízení, kde je malá náplň chladiva. Po domácích chladničkách se začínají objevovat u tepelných čerpadel pro ohřev vody.

## 8 VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA

Jednou z energetických úspor je využití odpadního tepla z chladicího zařízení. Toto zařízení bývá většinou v provozu po celý rok a ve většině případů je kondenzační teplo odváděno bez dalšího využití do ovzduší. Hlavně v letních měsících chlazení nepracuje v ideálních provozních podmínkách a snižuje se jeho chladicí výkon. Tím se zvyšuje spotřeba elektrické energie a opotřebení zařízení. [15]

Odpadní teplo z chladicího zařízení lze využít pro různé účely. U větších chladicích zařízení se odpadní kondenzační teplo může využívat pro ohřev vody k vytápění kanceláří, šaten, ohřívání užitkové vody např. v mlékárnách, masokombinátech a v různých sušárnách k vysoušení dřeva apod. Např. v obchodních domech, kde je větší počet chladicích zařízení je možné také přehřívát užitkovou vodu.[5]

Chladicí zařízení bez možnosti využití odpadního tepla, kde je vypařovací teplota  $-5^{\circ}\text{C}$  a kondenzační teplota  $+35^{\circ}\text{C}$  (obr. 28) v porovnání, kdy je do okruhu se stejnými teplotami připojen na výtlačné potrubí mezi kompresor a kondenzátor výměník pro ohřev užitkové vody (obr. 30). Výměníky tepla bývají většinou lamelové, kde přehřáté páry chladiva přes tyto lamely předávají teplo chladnější látce. [21]

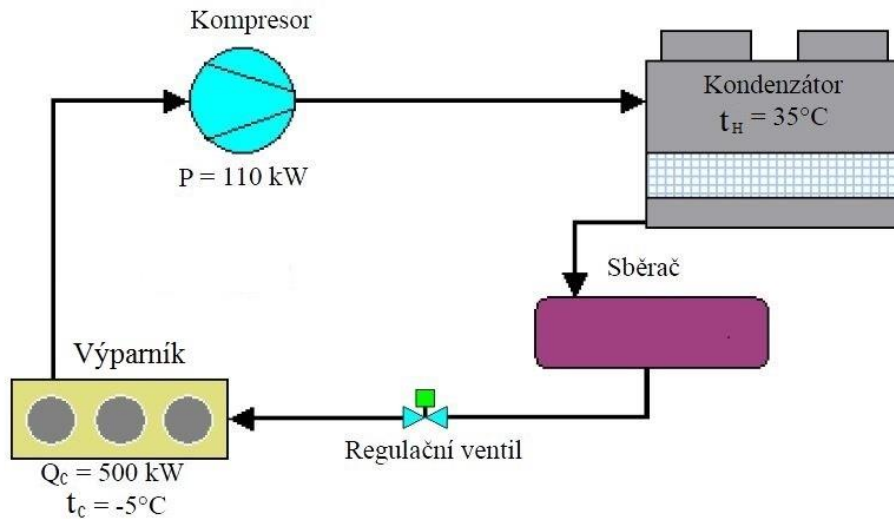
V chladicím okruhu bývají používány pístové nebo šroubové kompresory. Jejich porovnání, kdy je využíváno odpadního tepla, je uvedeno v tab. 1. [14]

Ke klasickému chladicímu okruhu (obr. 30) je možné přidat další okruh s vysokotlakým kompresorem tzv. systém tepelného čerpadla (obr. 32). Chladicí zařízení s tepelným čerpadlem, kde jsou teploty vypařovací  $-5^{\circ}\text{C}$  a kondenzační  $+35^{\circ}\text{C}$  stejné jako u okruhu bez využití odpadního tepla (obr. 28) a s výměníkem tepla (obr. 30) jsou pro porovnání uvedeny hodnoty v tabulce 2. Výparník a expanzní nádoba kapalného chladiva jsou nahrazeny středotlakou nádobou. Tepelné čerpadlo převádí energii z nižší tepelné hodnoty na vyšší a tím se zvyšuje teplota pro ohřev vody. Má nižší spotřebu elektrické energie než klasické systémy pro vytápění a ohřev. Výhodou také může být použití menšího kondenzátoru. [24]

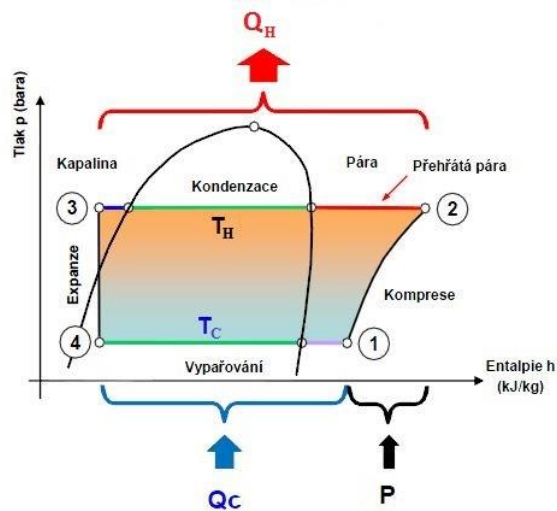
Návratnost investice a ekonomické zhodnocení instalovaného tepelného čerpadla je uvedena v kapitole 9 v tab. 5.[14]

Na zimním stadionu v Kutné Hoře je využíváno odpadní teplo z chladicího zařízení společně s tepelným čerpadlem k ohřevu vody v plaveckém bazéně. Množství vyprodukovaného tepla tepelným čerpadlem v období, kdy je zimní stadion v provozu, je znázorněno v tab. 3 a zobrazeno na obr. 33 pro rok 2010 – 2011. Je zde použit pístový kompresor značky MYCOM N6HK s příkonem 51 kW a tepelným výkonem 270 kW. V chladicím okruhu je používáno chladivo čpavek. [14]

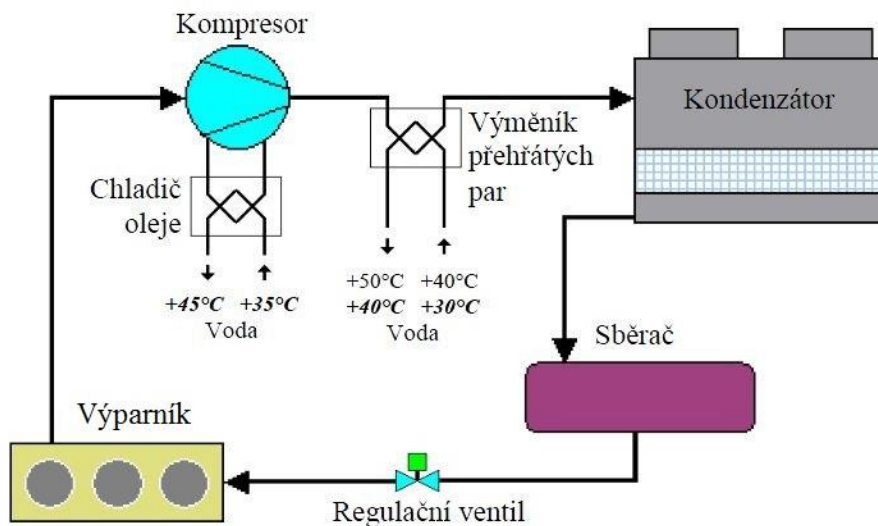
Na zimních stadionech se dále odpadní teplo využívá na ohřev vody pro rolbu a k rozpouštění ledové tříště z ledové plochy ve sněžné jámě. (Příloha 3) [25]



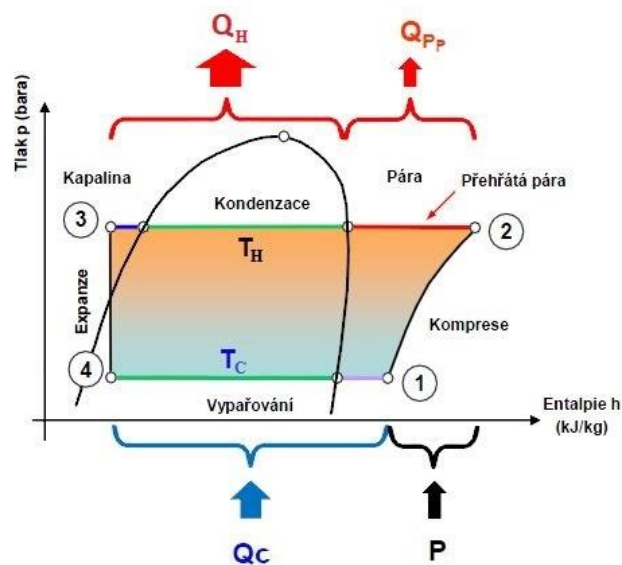
Obr. 28 Chladicí zařízení - bez využití odpadního tepla [14]



Obr. 29 Chladicí oběh v p - h diagramu - bez využití odpadního tepla [20]



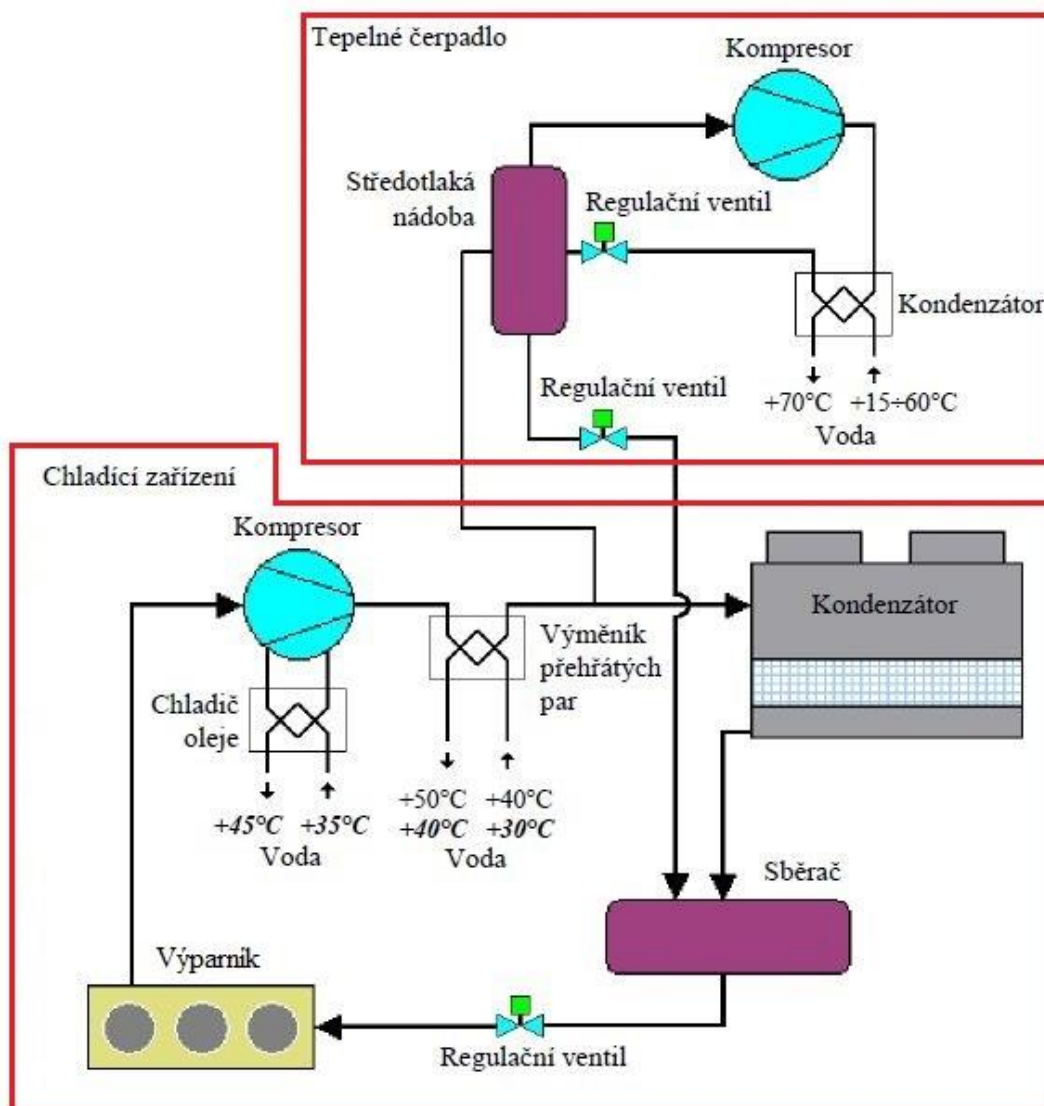
Obr. 30 Chladicí zařízení - s tepelným výměníkem k využití odpadního tepla [14]



Obr. 31 Chladicí oběh v p - h diagramu - s využitím odpadního tepla [20]

Tab. 1 Porovnání pístového a šroubového kompresoru v chladicím zařízení k využití odpadního tepla (Vypařovací teplota:  $-5^{\circ}\text{C}$ , kondenzační teplota:  $+35^{\circ}\text{C}$ ) [14]

		Pístový kompresor	Šroubový kompresor
Chladicí výkon kompresoru	$Q_C$	500 kW	500 kW
Spotřeba elektrické energie	P	110 kW	110 kW
Teplota na výtlaku kompresoru		$100^{\circ}\text{C}$	$75^{\circ}\text{C}$
Teplo v přehřátých parách	$Q_{PP}$	85 kW (ohřev vody na $50^{\circ}\text{C}$ , využití 77% P)	54 kW (ohřev vody na $40^{\circ}\text{C}$ , využití 49% P)
Teplo z kondenzace	$Q_H$	511 kW	511 kW
Celkové teplo z okruhu chladiva	$Q_{CEL}$	596 kW	565 kW
Teplo z chlazení oleje	$Q_{OIL}$	14 kW (špatné využití)	54 kW (ohřev vody na $45^{\circ}\text{C}$ )



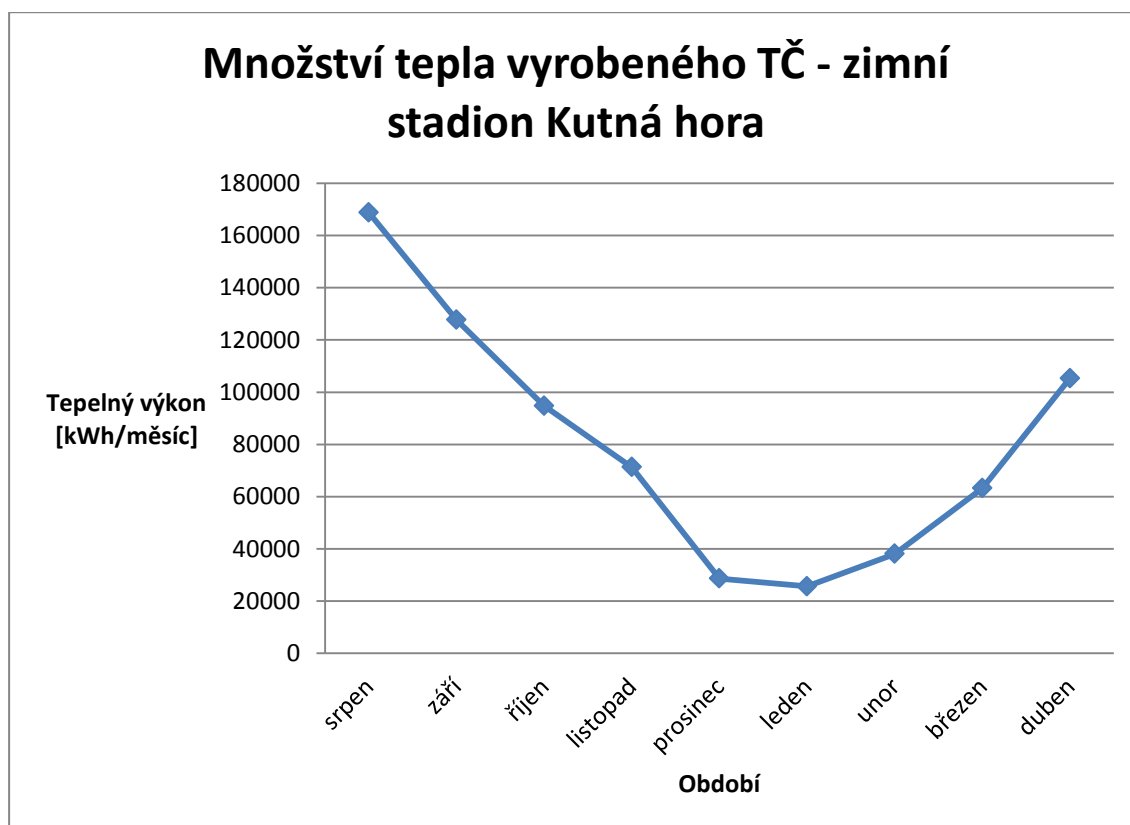
Obr. 32 Chladicí zařízení s tepelným čerpadlem k využití odpadního tepla [14]

Tab. 2 Chladicí zařízení s tepelným čerpadlem (Vypařovací teplota:  $-5^{\circ}\text{C}$ , kondenzační teplota:  $+35^{\circ}\text{C}$ ) [14]

Chladicí výkon	$Q_C$	500 kW
Spotřeba el. energie pro chlazení	$P$	110 kW
Teplo v přehřátých parách	$Q_{Pp}$	85 kW/ 54 kW
Využité teplo pro tepelné čerpadlo	$Q_H$	511 kW
Spotřeba el. energie pro tepelné čerpadlo	$P_{TČ}$	103 kW
Využité teplo z tepelného čerpadla	$Q_{TČ}$	590 kW (ohřev vody na $70^{\circ}\text{C}$ )
Topný faktor tepelného čerpadla	COP	5,73

Tab. 3 Tepelné čerpadlo - zimní stadion a plavecký bazén [14]

OBDOBÍ	Doba provozu		Tepelný výkon	
	[hod/ měs]	[hod/ den]	[kWh/ měs]	[GJ/ měs]
srpen	625	21	168750	608
září	473	16	127710	460
říjen	351	12	94770	341
listopad	264	9	71280	257
prosinec	106	4	28620	103
leden	95	3	25650	92
unor	141	5	38070	137
březen	234	8	63180	227
duben	390	13	105300	379
SOUČET	2679 [hod]		723330 [kWh]	2604 [GJ]



Obr. 33 Závislost tepelného výkonu v jednotlivých měsících [14]

## 9 EKONOMIKA PROVOZU CHLADICÍCH ZAŘÍZENÍ

Spotřeba elektrické energie chladicích a klimatizačních zařízení je přibližně 15% vyrobené energie na zemi a stále roste. Ceny elektrické energie se neustále zvyšují, proto je kladen čím dál větší důraz na to, jak tyto energie snížit. Možnosti, kterými lze ovlivnit energetickou účinnost jsou projektování a realizace, servis a údržba, zpětné získávání tepla. [20,23]

### 9.1 Projektování a realizace

#### Volba chladiva

Chladivo se vybírá podle fyzikálních a termodynamických vlastností, jakým vlivem působí na životní prostředí, z hlediska bezpečnosti, ekonomiky a legislativního omezení.

Množství látky, které přispívá k poškozování ozonové vrstvy je vyjadřováno hodnotou ODP (Ozone Depleting Potential). Vliv, jakým se chladiva podílejí na globálním oteplování udává hodnota GWP (Global Warming Potential). Tyto hodnoty jsou uvedeny v příloze 1, čím jsou hodnoty menší, tím lépe.

Používání freonových chladiv R134a, R407c, R507 atd. ve velkých průmyslových zařízeních zvyšuje spotřebu elektrické energie a riziko pro omezení těchto chladiv ze špatného vlivu na globální oteplování (velké množství náplně). Vlastní cena uvedených chladiv je o 300 % - 800 % vyšší, než je cena NH<sub>3</sub>.

Výsledkem pro používání chladiva NH<sub>3</sub> v průmyslovém chlazení je vhodná energetická účinnost systému a téměř žádné omezení, které by mělo vliv na životní prostředí. [23]

#### Izolace

Jednu z nejdůležitějších rolí ve spotřebě energie ovlivňují izolace. Čím je izolace kvalitnější, tím je spotřeba menší.

#### Typ kompresoru

Nejvíce elektrické energie z celého chladicího zařízení spotřebují kompresory.

Podle požadovaných tlakových poměrů a dosažitelných výkonů je tedy důležité brát ohled na vhodný výběr kompresoru.

Jednostupňové pístové kompresory jsou vhodné pro max. tlakový poměr 5, potom je nutný dvoustupňový pístový kompresor.

Pro vyšší tlakové poměry se používají šroubové kompresory, mají také vyšší výkon. [23]

#### Návrh tepelných výměníků

Pokud je výparník na nízkotlaké straně poddimenzovaný, má to za následek provoz při nižších vypařovacích teplotách a tím se zvyšuje spotřeba elektrické energie.

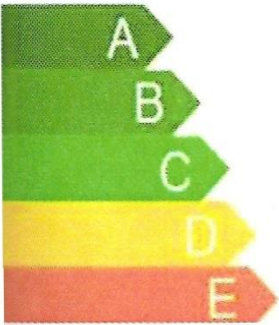
Vzduchové výparníky je nutné navrhovat podle požadované skutečné teploty v prostou, ne podle průměrné teploty vzduchu. [23]

Zvýšením výparné teploty o 1 °C se sníží přibližně spotřeba energie o 3 – 4 %. [16]

Tak jako u domácích spotřebičů jsou u kondenzátorů chlazených vzduchem s axiálním ventilátorem energetické třídy. Ty určují, jak je odvod tepla do okolí energeticky náročný. Hodnota R (9-1) vyjadřuje zařazení do příslušné energetické třídy v tab. 4. [9]

$$R = \frac{\text{nominální teplený výkon}}{\text{příkon ventilátoru}} \quad (9-1)$$

Tab. 4 Energetické třídy pro vzduchem chlazené kondenzátory [9]

Energetická třída	vlastní spotřeba	hodnota R
	extrémně nízká	$R > 100$
	velmi nízká	$70 < R < 110$
	nízká	$45 < R < 70$
	střední	$30 < R < 45$
	vysoká	$R < 30$

Snížením kondenzační teploty o 1 °C se sníží spotřeba energie celého chladicího okruhu o 2 – 3 %. [16]

## 9.2 Servis a údržba

Správným servisem a údržbou je možno velmi snadno ušetřit 15 – 25 % elektrické energie. [23]

### Přítomnost oleje v systému

Spotřebu energie ovlivňuje také přítomnost oleje v zařízení. Olej se do zařízení dostává z kompresorů na výtlačné straně a usazuje se na vnitřních stěnách potrubí. Při vypnutém zařízení olej stéká na dno nádob a je potřeba jej vypustit. [3]

### Zanesení a nečistoty

Na lamelách tepelných výměníků se snadno usazuje prach. To může způsobovat korozi a horší přenos tepla ve výparníku a kondenzátoru. [23]

### Nekondenzovatelné plyny v systému

Výkon a spotřebu ovlivňuje vzduch v zařízení. Vzduch se může dostávat do zařízení drobnými netěsnostmi ve spojích na nízkotlaké straně. Vzduch se ze zařízení vypouští na vysokotlaké straně, když je zařízení vypnuté. [3]

### Odtávání chladičů

Námraza z chladičů je potřeba pravidelně kontrolovat a odstraňovat. Nejúčinnější metodou je odtávání horkými parami přivedenými z výtlačku přímo do výparníku. Není k tomu potřeba žádná další spotřeba elektrické energie jako u odtávání topnými tyčemi. [23]

### 9.3 Zpětné získávání tepla

Během chlazení každé chladicí zařízení produkuje teplo, které lze využít viz kapitola 8 a tím snížit náklady elektrické energie.

Odpadní teplo je možné efektivněji využívat přidáním tepelného čerpadla do systému. Pro názornost je v tab. 5 uvedeno ekonomické zhodnocení tepelného čerpadla.

**Tab. 5 Ekonomické zhodnocení instalovaného tepelného čerpadla [14]**

Topný výkon	590 kW
Spotřeba elektrické energie	103 kW
Cena tepla	14 € / GJ
Cena elektrické energie	0,08 € / kWh
Předpokládaná investice na instalaci tepelného čerpadla	300 000 €
Vyrobené teplo (při provozu 24h / den)	50,9 GJ / 713 €
Spotřeba elektrické energie (při provozu 24h / den)	2 472 kWh / 198 €
Úspora (při provozu 24h / den)	515 € / den = 180 225 € / rok
Návratnost investice (při provozu 24h / den)	3,4 roku

## ZÁVĚR

Chladicí technika se neustále vyvíjí a vylepšuje. Lidstvo si svůj život v dnešní době bez chladicí techniky nedovede představit, proto se vývoj určitě nezastaví a bude nadále pokračovat.

Ve všech oblastech jsou kladeny požadavky na hospodárné nakládání s energiemi všech druhů. Ekonomický důvod je ovlivněn zvyšujícími se cenami energií. Dalším důvodem je vliv na ochranu životního prostředí a do budoucna zachovat co největší množství neobnovitelných zdrojů energie ve formě fosilních paliv.

U chladicích zařízení lze ovlivnit spotřebu elektrické energie už na počátku realizace vhodným projektem a následně správnou údržbou, servisem a zpětným získáváním tepla. Pro lepší využití odpadního tepla odvedeného z kondenzační strany a tím snížení ekonomických nákladů se využívá ke klasickému chladicímu okruhu okruh s tepelným čerpadlem.

Snahou ekologů je vyřešit dlouhodobý problém chladicích zařízení a snížit nebo nejlépe zastavit vliv na životní prostředí, přesněji na porušování ozonové vrstvy a globálního oteplování. Vědci objevují a vyvíjejí nová chladiva, která by tyto požadavky splňovala. Ekologům se podařilo prosadit a zakázat používání chladiva freonu R 22 od 1. 1. 2015. To bylo dříve velmi využívané především v domácích chladničkách. Když se freon začal používat, tak se jevil jako ideální chladivo, protože byl bez zápachu, není dráždivý jako čpavek. Dnes je nahrazeno ekologičtějšími chladivy. V průmyslových zařízeních se pro chlazení nejvíce využívá čpavek, pořizovací cena je nízká a při úniku má minimální dopad na životní prostředí. Jeho nevýhodou je výbušnost v koncentraci se vzduchem v uzavřeném prostoru v mezích 15 – 28 %. Další nevýhodou je jedovatost, ale jeho přítomnost ve vzduchu odhalí jeho silně pronikavý zápach, který ještě není nebezpečný.

V práci jsou popsány a porovnány dva typy kompresorů, pístové a šroubové. V menších chladicích zařízeních se používají pístové kompresory a ve větších zařízeních, kde jsou požadovány větší výkony, se využívají šroubové kompresory.

Schéma (příloha 2) a fotografie jednotlivých částí chladicího zařízení byly pořízeny v mlékárně v Jaroměřicích nad Rokytnou, kde je jednostupňové chladicí zařízení. Fotografie šroubového kompresoru pochází z Drůbežářských závodů v Moravských Budějovicích, zde je dvoustupňové chladicí zařízení. V těchto podnicích byla také provedena konzultace s obsluhou zařízení.

## Seznam použitých zdrojů

### Knižní zdroje

- [1] CENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. *Thermodynamics: an engineering approach*. 5th ed. Boston: McGraw-Hill Higher Education, c2006. ISBN 00-728-8495-9
- [2] DINÇER, İbrahim; KANOGLU, Mehmet. *Refrigeration systems and applications*. 2nd ed. Chichester, West Sussex, U.K.: Wiley, 2010, xvi, 464 p. ISBN 04-707-4740-4.
- [3] DVOŘÁK, Zdeněk. *Základy chladicí techniky*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986, 247 s.
- [4] HANLON, Paul C. *Compressor handbook*. New York: McGraw-Hill, 2001. ISBN 00-702-6005-2.
- [5] HOCH, Václav. *Chladicí technika*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 183 s. ISBN 80-214-0412-4.
- [6] CHLUMSKÝ, Vladimír; LIŠKA, Antonín. *Kompresory*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1977, 200 s.
- [7] MILLER, Rex; MILLER, Mark R. *Air conditioning and refrigeration*. New York: McGraw-Hill, 2006. ISBN 00-714-8741-7.
- [8] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Vyd. 3. přeprac. / . Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 284 s. ISBN 80-214-2409-5.
- [9] PETRÁK, Miroslav; PETRÁK, Jiří. *Kompresorová chladicí zařízení a jejich energetická náročnost*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 2011. 158 s. ISBN 978-80-01-04929-7.
- [10] WANG, Shan K. *Handbook of air conditioning and refrigeration*. 2nd ed. New York, c2000, 1 v. (various pagings). ISBN 00-706-8167-8.
- [11] STOECKER, W. F. *Industrial refrigeration handbook*. New York: McGraw-Hill, c1998. ISBN 00-706-1623-X.
- [12] TROTT, A; WELCH, T. *Refrigeration and air-conditioning*. 3rd ed. Boston, Mass.: Butterworth Heinemann, 2000, vi, 377 p. ISBN 07-506-4219-X.
- [13] WHITMAN, William C., et al. *Refrigeration & air conditioning technology*. 6th ed. Clifton Park, N.Y.: Delmar Cengage Learning, c2009. ISBN 14-283-1936-0.

### Elektronické zdroje

- [14] ČKD CHLAZENÍ, s.r.o. [online]. Využití odpadního tepla, 2011 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <[http://vetrani.tzb-info.cz/download.py?file=docu/clanky/0080/008069\\_%C8KD%20Chlazen%ED%20s.r.o.%20-%20%C8pavkov%E1%20tepln%E1%20%E8erpadla.pdf](http://vetrani.tzb-info.cz/download.py?file=docu/clanky/0080/008069_%C8KD%20Chlazen%ED%20s.r.o.%20-%20%C8pavkov%E1%20tepln%E1%20%E8erpadla.pdf)>

- [15] Echoz rekuperace. [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <<http://www.echoz.cz/rekuperace/>>
- [16] HERDA, Michal. *Energetická účinnost a trendy vývoje chladicích systémů v komerčním chlazení* [online]. Svaz chladicí a klimatizační techniky, 2011-1-25 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <<http://schkt.tradecentrum.cz/res/data/002/001308.pdf>>
- [17] Chladivo. [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <<http://www.jdk.cz/cs/produkty/chladivo>>
- [18] Oliver Evans. [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <<http://kids.britannica.com/comptons/art-58597/Oliver-Evans>>
- [19] PAVELEK, Milan. *Kompresory* [online]. Přednáška. FSI VUT v Brně [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <[http://ottp.fme.vutbr.cz/users/pavelek/termo/14\\_Kompresory.pdf](http://ottp.fme.vutbr.cz/users/pavelek/termo/14_Kompresory.pdf)>
- [20] POSPÍŠIL, Luděk. *Využití chladné i teplé strany chladicího okruhu* [online]. Svaz chladicí a klimatizační techniky, 2013-1-29 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <<http://schkt.tradecentrum.cz/res/data/004/001581.pdf>>
- [21] PROKOP, Jiří. *Využití odpadního tepla* [online]. MM průmyslové spektrum, prosinec 2000, č. 12, s. 2-3. [cit. 2013-05-14] Dostupné z: <<http://www.echoz.cz/files/MM-clanek.pdf>>
- [22] Refrigeration and Air Conditioning-IIT Kharagpur Notes [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <<http://www.scribd.com/doc/25369918/Refrigeration-and-Air-Conditioning-IIT-Kharagpur-Notes>>
- [23] RŮŽEK, Václav. *Energetická účinnost a trendy vývoje chladicích systémů v průmyslovém chlazení* [online]. Svaz chladicí a klimatizační techniky, 2011-1-25 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <<http://schkt.tradecentrum.cz/res/data/002/001307.pdf>>
- [24] RŮŽEK, Václav. *Průmyslová tepelná čerpadla jako nadstavba chladicích systémů* [online]. Svaz chladicí a klimatizační techniky, 2013-1-29 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <<http://schkt.tradecentrum.cz/res/data/004/001584.pdf>>
- [25] Využití odpadního tepla při chlazení zimních stadionů. [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/3325-vyuziti-odpadniho-tepla-pri-chlazení-zimnich-stadionu>>
- [26] VÁLEČEK, Roman. *Sestavy tlakových zařízení se zaměřením na chladicí zařízení*. [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <<http://schkt.tradecentrum.cz/res/data/002/001312.pdf>>
- [27] Foto autor

## Seznam symbolů a zkratek

Symbol	Jednotka	Název
$A_0$	[J]	práce cyklu
$A_{12}$	[J]	práce ideálního kompresoru
$a_{ie}$	[J/kg]	měrná izoentropická práce
$A_t$	[J]	práce skutečného kompresoru
$A_{t12}$	[J]	technická práce ideálního kompresoru
$h$	[J/kg]	měrná entalpie (indexy odpovídají bodům v grafu)
$L_3$	[mm]	délka škodného prostoru ve válci
$m$	[kg]	hmotnost
$\dot{m}$	[kg/s]	hmotnostní průtok
$n$	[-]	technická polytropa
$N$	[-]	počet kompresních stupňů
$p$	[Pa]	tlak (indexy odpovídají bodům v grafu)
$P$	[W]	příkon
$Q_C$	[J]	přivedené teplo
$q_c$	[J/kg]	hmotnostní chladivost
$\dot{Q}_C$	[W]	chladičí výkon zařízení
$Q_H$	[J]	odvedené teplo
$q_H$	[J/kg]	měrné teplo
$\dot{Q}_H$	[W]	výkon kondenzátoru
$q_V$	[J/m <sup>3</sup> ]	objemová chladivost
$Q_{PP}$	[W]	teplo v přehřátých parách
$Q_{CEL}$	[W]	celkové teplo z okruhu
$Q_{OIL}$	[W]	teplo z chlazení oleje
$COP$	[-]	topný faktor
$r$	[J/kg.K]	měrná plynová konstanta
$R$	[-]	zařazení do energetické třídy
$T$	[K]	termodynamická teplota
$T_C$	[K]	termodynamická výparná teplota
$t_c$	[°C]	výparná teplota
$T_H$	[K]	termodynamická kondenzační teplota
$t_H$	[°C]	kondenzační teplota
$V$	[m <sup>3</sup> ]	objem
$v$	[m <sup>3</sup> /kg]	měrný objem
$V_0$	[m <sup>3</sup> ]	škodný prostor
$V_Z$	[m <sup>3</sup> ]	zdvihový objem
$\varepsilon$	[%]	poměrná velikost škodného prostoru
$\varepsilon_{chl}$	[-]	chladičí faktor
$\eta_0$	[-]	objemová účinnost
$\vartheta$	[-]	optimální tlakový poměr
$\phi_R$	[-]	čerpací poměr

## **Seznam příloh**

- Příloha 1      Přehled chladiv [9]
- Příloha 2      Kontrolní panel – 1. stupňové chladicí zařízení – Mlékárna Jaroměřice nad Rokytnou
- Příloha 3      Využití odpadního tepla na zimní stadionu [26]
- CD-ROM

# Příloha 1

Označení chladiva		Fyzikální data			Kritické veličiny			Kritická koncentrace		Bezpečnostní údaje			Potenciál vlivu na životní prostředí	
		Molová hmotnost (kg.kmol <sup>-1</sup> )	Teplota varu při 101,3 kPa (°C)	Kritické veličiny		Kritická koncentrace (kg.m <sup>-3</sup> )	Meze výbušnosti ve vzduchu		Bezpečnostní skupiny	životní rozklad ozonu	otoplování	GWP <sub>100</sub>		
				teplota (°C)	tlak (MPa)		dolní (kg.m <sup>-3</sup> )	horní (kg.m <sup>-3</sup> )						
Halogenované uhlovodíky (jedno- a vícesložkové)														
technické	chemické													
R22	CHClF <sub>2</sub>	86,47	-40,8	96,1	4,99	0,3	nevýbušné	A1	L1	0,050	1 700			
R134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	102,00	-26,1	101,1	4,06	0,25	nevýbušné	A1	L1	0	1 300			
R152a	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	66,10	-24,0	113,3	4,52	0,027	0,137	0,462	A2	L2	140			
R227ea	CF <sub>3</sub> CHFCF <sub>3</sub>	170,03	-16,5	101,8	2,93		nevýbušné			0	2 900			
RC318	(-CF <sub>2</sub> -CF <sub>2</sub> -) <sub>2</sub>	200,03	-7,0	115,4	2,78	0,81	nevýbušné	A1	L1	0	8 700			
R404A	R125/143a/134a (44/52/4)	97,60	-46,6	72,1	3,74	0,48	nevýbušné	A1/A1	L1	0	3 260			
R407C	R32/125/134a (23/25/52)	86,20	-43,8	86,0	4,63	0,31	nevýbušné	A1/A1	L1	0	1 530			
R410A	R32/125 (50/50)	72,60	-51,6	70,2	4,77	0,44	nevýbušné	A1/A1	L1	0	1 730			
R507	R125/143a (50/50)	98,90	-47,1	70,7	3,71	0,49	nevýbušné	A1	L1	0	3 300			
Uhlovodíky														
R290	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> Propan	44,10	-42,1	96,8	4,25	0,008	0,038	0,171	A3	L3	0	3		
R600	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub> Butan	58,12	-0,5	152,0	3,80	0,008	0,036	0,202	A3	L3	0	3		
R600a	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub> Isobutan	58,12	-11,8	135,0	3,65	0,008	0,043	0,202	A3	L3	0	3		
Přírodní chladiva														
R717	NH <sub>3</sub> ěpavek	17,03	-33,3	133,0	11,42	0,00035	0,104	0,195	B2	L2	0	0		
R744	CO <sub>2</sub>	44,01	-78,4	31,1	7,38	0,1	nevýbušné		A1	L1	0	1		



# Příloha 2

