

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Využití odpadního tepla chladicích zařízení u chladicích  
boxů**

## ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2019/2020

### ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	<b>Bc. Michal LIŠKA</b>
Osobní číslo:	<b>E18N0027K</b>
Studijní program:	<b>N2644 Aplikovaná elektrotechnika</b>
Studijní obor:	<b>Aplikovaná elektrotechnika</b>
Téma práce:	<b>Využití odpadního tepla chladicích zařízení u chladicích boxů</b>
Zadávací katedra:	<b>Katedra elektroenergetiky a ekologie</b>

#### Zásady pro vypracování

1. Popište konstrukci, varianty a použití chladicích boxů.
2. Analyzujte problematiku chlazení u chladicích boxů.
3. Zpracujte návrh chladicího zařízení pro vybraný restaurační provoz.
4. Zhodnoťte návrh po stránce energetické, ekonomické a ekologické.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce je zaměřena na využití odpadního tepla z chlazení chladicích boxů. Je zde popsána historie a principy chlazení, jednotlivé druhy chlazení a jejich použití u chladicích boxů. Součástí mé práce je návrh chladicího zařízení pro restaurační provozovnu s využitím odpadního tepla. Tento projekt je zpracován na reálném základě a zahrnuje zhodnocení efektivnosti využití odpadního tepla po stránce energetické, ekonomické a ekologické.

## **Klíčová slova**

Energetická bilance, ekologie, chladicí zařízení, chladiva, kompresor, chladicí box, odpadní teplo, teplá užitková voda

## **Abstract**

Scope of my diploma thesis I focused on waste heat using from refrigeration systems. Main parts are concerned with history and cooling principles, various refrigeration types and their usage in cooler boxes. Final part of my thesis is design of a walk-in cooler for restaurant with waste heat utilization. This project is based on specific values and covers efficiency evaluation of the use of waste heat from energy, economic and environmental perspective.

## **Key words**

Energy balance, ekology, cooler device, coolant, compressor, walk-in cooler, waste heat, warm supply water

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 10.6.2020

Michal Liška

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu profesorovi Ing. Janovi Škorpilovi, CSc. za cenné připomínky a odborný dohled při zpracování diplomové práce.

# Obsah

ÚVOD .....	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	10
<b>1 HISTORIE A PRINCIP CHLAZENÍ.....</b>	<b>11</b>
1.1 HISTORIE CHLAZENÍ .....	11
1.2 PRINCIP CHLAZENÍ.....	12
1.2.1 Levotočivý Carnotův cyklus .....	13
1.2.2 Levotočivý Rankin-Clausiiův cyklus .....	14
<b>2 DRUHY CHLADICÍCH ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>15</b>
2.1 KOMPRESOROVÁ CHLADICÍ ZAŘÍZENÍ.....	15
2.2 ABSORPČNÍ CHLADICÍ ZAŘÍZENÍ .....	17
2.3 ADSORPČNÍ CHLADICÍ ZAŘÍZENÍ .....	18
2.4 TERMOELEKTRICKÁ CHLADICÍ ZAŘÍZENÍ .....	19
2.4.1 Seebeckův jev.....	20
2.4.2 Peltierův jev.....	20
2.4.3 Peltierův článek.....	21
2.4.4 Thomsonův jev.....	22
<b>3 POUŽITÍ CHLADICÍ TECHNIKY .....</b>	<b>23</b>
3.1 CHLADICÍ BOXY PRO POTRAVINY .....	23
3.2 CHLADICÍ BOXY PRO UCHOVÁNÍ MASA .....	23
3.3 CHLADICÍ BOXY PRO ČERSTVÉ KVĚTINY .....	23
3.4 CHLADICÍ BOXY PRO LÉKY .....	24
3.5 CHLADICÍ BOXY NA VÍNO .....	24
3.6 CHLADICÍ BOXY PRO CHLAZENÍ NÁPOJŮ .....	24
3.7 CHLADICÍ BOXY PRO TANKOVÉ A SUDOVÉ PIVO .....	25
3.8 SPECIÁLNÍ CHLADICÍ ZAŘÍZENÍ.....	25
<b>4 KOMPONENTY CHLADICÍCH ZAŘÍZENÍ.....</b>	<b>26</b>
4.1 KOMPRESOR.....	26
4.1.1 Pístové kompresory.....	26
4.1.2 Scroll kompresory.....	27
4.1.3 Šroubové kompresory .....	27
4.1.4 Rychlostní kompresory .....	28
4.2 KONDENZÁTOR .....	28
4.3 VÝPARNÍK .....	30
4.4 SBĚRAČ CHLADIVA A ODLUČOVAČ OLEJE.....	31
4.5 EXPANZNÍ VENTILY .....	31
4.5.1 Mechanické expanzní ventily .....	32
4.5.2 Elektronické expanzní ventily .....	33
4.6 DEHYDRÁTORY .....	33
4.7 ELEKTROMAGNETICKÝ VENTIL .....	34
4.8 PRŮHLEDÍTKO .....	34
4.9 TERMOSTATY .....	34
4.10 PRESOSTATY .....	34
4.11 CHLADIVA.....	35
<b>5 NÁVRH CHLADICÍHO SYSTÉMU S VYUŽITÍM ODPADNÍHO TEPLA.....</b>	<b>37</b>
5.1 STANOVENÍ SPOTŘEBY CHLADU PRO CHLADICÍ BOX.....	38
5.1.1 Výpočet spotřeby chladu.....	40
5.1.2 Spotřeba chladu pro vybraný restaurační provoz .....	43

5.2	TECHNICKÉ PROVEDENÍ CHLADICÍHO ZAŘÍZENÍ.....	43
5.3	ZHODNOCENÍ NÁVRHU .....	46
<b>ZÁVĚR.....</b>		<b>47</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....</b>		<b>48</b>
<b>PŘÍLOHA A .....</b>		<b>50</b>
<b>PŘÍLOHA B.....</b>		<b>52</b>
<b>PŘÍLOHA C .....</b>		<b>55</b>
<b>PŘÍLOHA D .....</b>		<b>57</b>
<b>PŘÍLOHA E.....</b>		<b>60</b>



## **Úvod**

V současné době výrazně zasahuje chladicí technika do života lidstva. Provozem těchto zařízení se uvolňuje velké množství tepla, které je za normálních okolností rozptýleno do okolí bez dalšího využití. Zvyšující se nároky na dlouhodobé uchovávání čerstvých potravin a narůstající nároky na dodávku tepla mají značný vliv na vzrůstající spotřebu energií.

Doplněním chladicího systému o výměníky tepla je možné získat energii pro přípravu teplé užitkové vody (TUV) a vytápění. Získáním této energie lze dosáhnout značných energetických úspor.

Cílem této diplomové práce je popsat princip, konstrukci a problematiku chlazení chladicích boxů. Hlavní částí je návrh a zhodnocení využití odpadního tepla z chladicího zařízení vybraného restauračního provozu v Plzni k přípravě teplé užitkové vody.

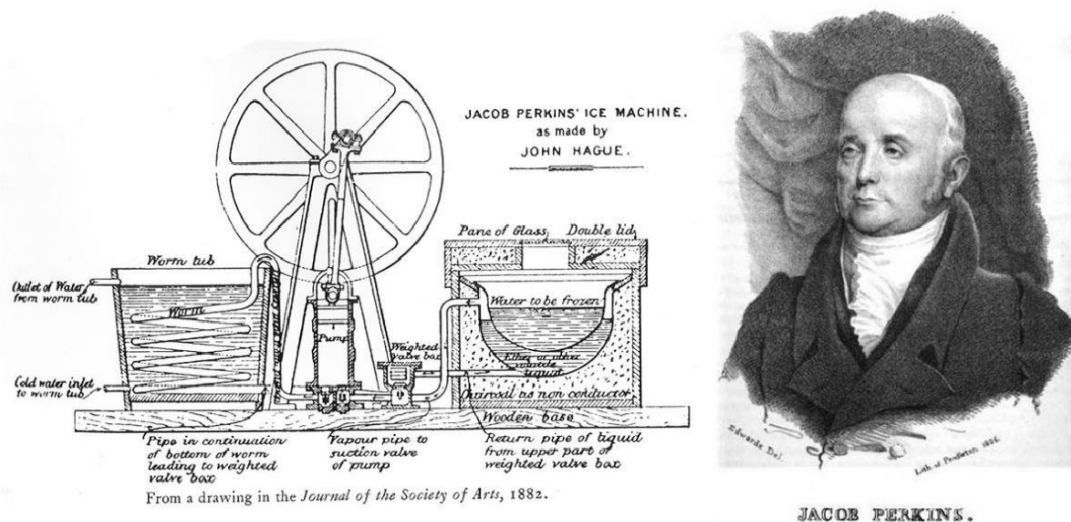
## Seznam symbolů a zkratek

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CFC	Chlor-fluorované uhlovodíky
CNC	Číslicově řízené strojní obrábění
COP	Obecný výkonový koeficient
DPH	Daň z přidané hodnoty
EMV	Elektromagnetický ventil
GWP	Potenciál globálního oteplování
NH <sub>3</sub>	Amoniak (čpavek)
ODP	Potenciál poškozování ozonové vrstvy
PUR	Polyuretanový izolační materiál
TUV	Teplá užitková voda

# 1 Historie a princip chlazení

## 1.1 Historie chlazení

K ochlazení látek využívali lidé přírodní jevy již v dávných dobách, aniž by si je dovedli vysvětlit. Kolem 2500 před n. l. docházelo k ochlazení pitné vody v průlničitých nádobách jejím odpařováním, v plochých miskách vystavených současnému odpařování a vyzařování docházelo v 5. století před n. l. k výrobě ledu, nebo bylo využíváno shromažďování sněhu a ledu pro úschovu potravin v letních měsících. [1]



**Obr. 1.1** Jacob Perkins se svým patentem [2]

Vytvoření prvních provozuschopných chladicích zařízení je založeno na rozvoji termomechaniky. Hlavní objevy spadají do 18. a 19. století. První zařízení s parním oběhem popsal v roce 1805 Oliver Evans, ale patent na skutečně pracující zařízení s ethyletherem byl ohlášen teprve v roce 1834 Jacobem Perkinsem (obr. 1.1). Následně docházelo k rozvoji termomechaniky zaváděním nových chladiv (methylether, oxid uhličitý, čpavek, methylchlorid) a aplikacemi vyžadujícími zvyšování výkonu. [1]

V Evropě nastal průmyslový rozmach po roce 1876, kdy začala firma Linde vyrábět první čpavková zařízení, a o 20 let později vyrobila svůj největší kompresor poháněný dvouválcovým parním strojem. V USA nastal rozmach průmyslové výroby strojního chlazení po roce 1880. Kromě tradičních pístových kompresorů nachály uplatnění i rotační kompresory. Další výrazné pokroky znamená výroba turbokompresorů a vynález šroubového kompresoru, který se používá od roku 1958. [1]

Objevením dichlordifluormethanu, známého pod názvem freon 12 nebo zkratkou CFC, došlo, spolu s řadou dalších halogenovaných uhlovodíků a podstatnému rozšíření turbokompresorů, k velkému rozvoji malých chladicích zařízení. [1]

Ke zrodu provozuschopného absorpčního chlazení dochází v roce 1859 Ferdinandem Carré, který byl velmi zajímavou postavou pro své pojetí principů chladicí techniky. Průmyslový rozmach absorpčních zařízení nastává počátkem 20. století a je spojen se jmény Altenkirch, Niebergall (teorie oběhu), Geppert (princip difuzního oběhu) a Platen a Munters (difuzní oběh s vodíkem). [1]

Ve druhé polovině 19. století dochází ke klíčovým objevům a dosahování teplot v kryogenní oblasti. Zkapalněním helia, a tím dosažení teploty okolo 4 K končí významná epocha chladicí techniky. Od této doby začíná období dosahování stále nižších teplot s cílem maximálního přiblížení absolutní nule. [1]

K největšímu rozvoji umělého chladu došlo na základě požadavků z pivovarů, kde bylo potřeba nahradit přírodní chlad nebo chlazení přírodním ledem. Na základě vědomostí o příznivém vlivu chladu na trvanlivost potravin dochází k využití chladu v lodní přepravě zmrazeného masa. Chlazení se začalo následně využívat v chemickém a petrochemickém průmyslu, stavebnictví, klimatizaci, zimních sportech, biologii, medicíně atd. [1]

V roce 1927 se objevuje tepelné čerpadlo, které vzniklo na základě myšlenky využití tepla odváděného z chladicího zařízení. Tato myšlenka pochází již z roku 1852 od lorda Kelvina. Časová prodleva nebyla způsobena složitostí technického řešení, ale ekonomickými a energetickými podmínkami pro uplatnění tohoto systému. [1]

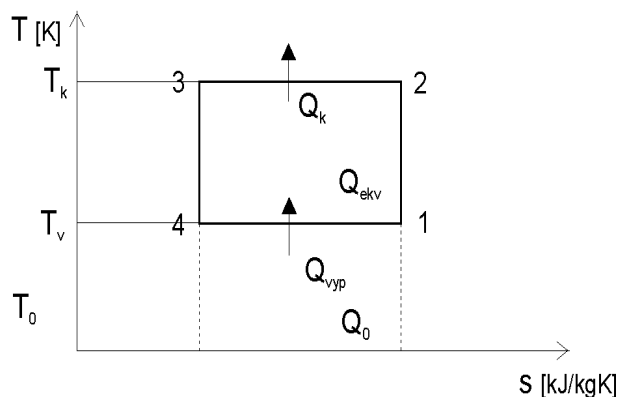
## 1.2 Princip chlazení

Na základě druhé věty termodynamiky dochází k přenosu tepla z prostředí s vyšší teplotou do prostředí s nižší teplotou. Chladicí zařízení odebírá teplo z ochlazovaného prostoru a následně jej vyzařuje mimo chlazený prostor. Chladicí oběhy jsou převážně levotočivé termodynamické cykly. Na rozdíl od pravotočivých cyklů je pro činnost těchto termodynamických cyklů nutno přivádět práci. [3]

### 1.2.1 Levotočivý Carnotův cyklus

Chladicí oběh představuje z hlediska termodynamiky obrácený Carnotův cyklus, tzv. levotočivý chladicí obr. 1.2. Součet tepla přijatého výparníkem  $Q_{vyp}$  a tepelná hodnota vnitřní práce  $Q_{ekv}$  je rovna teplu  $Q_k$  odevzdanému při vyšším tlaku a teplotě  $T_k$  topnému médiu v kondenzátoru. [5]

$$Q_k = Q_{vyp} + Q_{ekv} \quad [W] \quad (1.1)$$



**Obr. 1.2** Obrácený Carnotův cyklus [4]

Pracovní cyklus se skládá z následujících fází:

- 4→1 izotermické vypařování s přívodem tepla  $Q_{vyp}$  při vypařovací teplotě  $T_v$
- 1→2 adiabatická komprese s kompresní prací  $Q_{ekv}$  – tepelný ekvivalent spotřebované práce
- 2→3 izotermická kondenzace s odvodem tepla  $Q_k$  při kondenzační teplotě  $T_k$
- 3→4 adiabatická expanze pracovního média ve škrtkicím ventilu

Pro porovnání efektivnosti pracovního cyklu chladicího oběhu používáme chladicí faktor (COP, z anglického Coefficient of Performance). Chladicí faktor je definovaný jako poměr chladicího výkonu k příkonu.

Pracovní látka přijímá teplo  $q_0$  při nízké teplotě  $T_0$  a po stlačení je teplo  $q_k$  při vyšší teplotě  $T_k$  odváděno z pracovní látky do okolí.

$$q_0 = T_0(s_2 - s_1) \quad [J/kg] \quad (1.2)$$

$$q_k = T_k(s_2 - s_1) \quad [J/kg] \quad (1.3)$$

Chladicí faktor vypočteme ze vztahu:

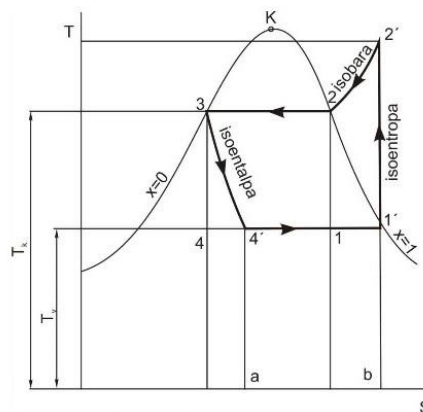
$$\begin{aligned}\varepsilon_c &= \frac{q_0}{q_k - q_0} = \frac{T_0(s_2 - s_1)}{T_k(s_2 - s_1) - T_0(s_2 - s_1)} \\ &= \frac{T_0}{T_k - T_0} \quad [-]\end{aligned}\quad (1.4)$$

kde  $q_0$  – teplo dodané pracovní látce [J/kg]

$q_k$  – teplo odvedené z pracovní látky [J/kg]

### 1.2.2 Levotočivý Rankin-Clausiiův cyklus

Pro chladicí systémy s kompresorem a vypařováním chladiva je pro výpočet používán zidealizovaný levotočivý Rankin-Clausiiův cyklus, složený z izobarického přívodu a odvodu tepla, izoentropického stlačení syté páry a snížení tlaku škrcením vroucí kapaliny. [1]



**Obr. 1.3** Levotočivý Rankin-Clausiiův cyklus [6]

Rankin-Clausiiův cyklus se skládá z následujících fází:

1→2 adiabatická komprese

2→3 ochlazování a kondenzace

3→4 izoentropické škrcení

4→1 vypařování

Chladicí faktor vypočteme ze vztahu:

$$\varepsilon_R = \frac{q_0}{a} \quad [-]\quad (1.5)$$

kde  $q_0$  – teplo dodané pracovní látce [J/kg]

$a$  – adiabatická práce komprese chladiva [J/kg]

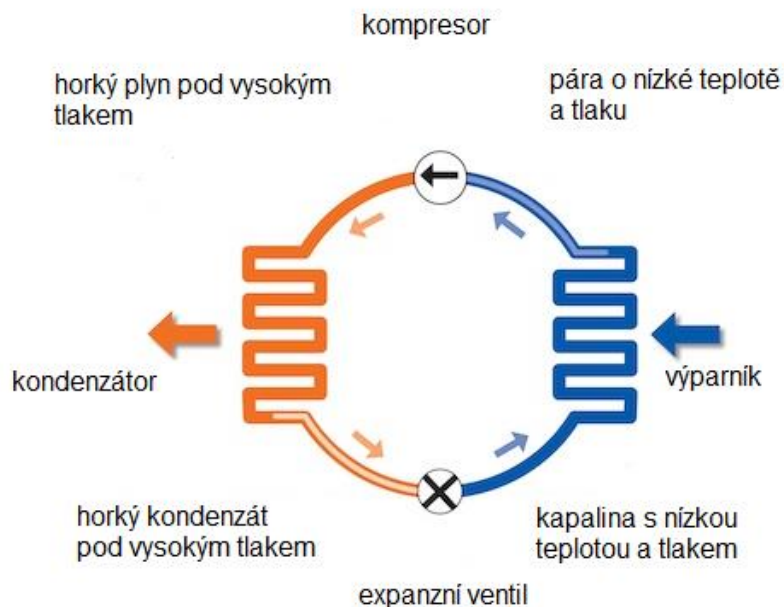
## 2 Druhy chladicích zařízení

Chladicí zařízení můžeme podle principu činnosti rozdělit na:

- Kompresorová chladicí zařízení
- Absorpční chladicí zařízení
- Adsorpční chladicí zařízení
- Termoelektrická chladicí zařízení

### 2.1 Kompresorová chladicí zařízení

Kompresorové chladicí zařízení je jedno z nejvíce používaných chladicích zařízení. Setkáváme se s ním denně v automobilech nebo v chladničkách. Jeho princip je založen na Rankin-Clausiově cyklu, při kterém dochází ke kondenzaci a odpařování kapalného chladiva. Toto chladivo nepřetržitě cirkuluje v uzavřeném systému. Ke skupenské přeměně chladiva je zapotřebí velkého množství tepla. Používaná chladiva mají kromě jiných vlastností, při běžném atmosférickém tlaku, teplotu varu hluboko pod 0 °C.

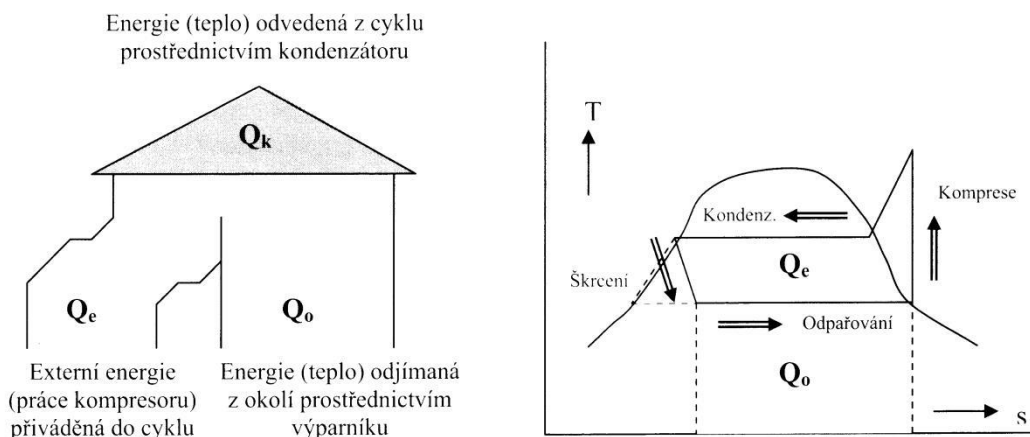


**Obr. 2.1** Kompresorové chladicí zařízení [7]

Mezi hlavní části kompresorového chladicího zařízení patří zejména kompresor, kondenzátor, expanzní ventil a výparník (obr.2.1).

Během chladicího cyklu probíhají čtyři procesy:

- V kompresoru, který zajišťuje cirkulaci chladiva v systému, dojde ke stlačení chladiva v podobě plynu na vysoký tlak. Toto chladivo se stlačením zároveň zahřeje a následně proudí do kondenzátoru.
- V kondenzátoru dojde k předání tepla ze zahřátého a stlačeného plynu do okolního prostředí, čímž dojde ke zchlazení a přeměně na kapalinu se stále vysokým tlakem.
- Při průchodu kapalinou expanzím ventilem dojde ke snížení vysokého tlaku a zároveň snížení teploty pod teplotu v chlazeném prostoru.
- Chladivo proudí do výparníku, kde absorbuje teplo z chlazeného prostoru a odpařením se přemění na plyn s nízkým tlakem. Plyn proudí následně zpět do kompresoru a celý cyklus se opakuje.



**Obr. 2.2** Sankeyův a  $T$ - $s$  diagram cyklu kompresorového chlazení [8]

Na obr.2.2 je možné vidět energetické bilance a toky, které jsou znázorněny v Sankeyově a  $T$ - $s$  diagramu. [8]

Termodynamická bilance cyklu vychází z rovnosti přivedené a odvedené energie:

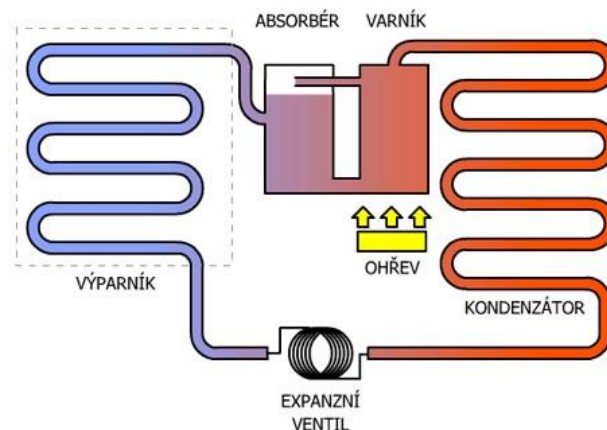
$$Q_k = Q_o + Q_e \quad [W] \quad (2.1)$$

- kde
- $Q_k$  – Energie (teplo) odvedená z cyklu (kondenzátorem) [W]
  - $Q_o$  – Energie (teplo) odebíraná z okolí (výparníkem) [W]
  - $Q_e$  – Energie přiváděná do cyklu (kompresorem) [W]



## 2.2 Absorpční chladicí zařízení

Základní rozdíl mezi absorpčním a kompresorovým chlazením je nahrazení komprese tepelným pochodem. Pro absorpční chladicí zařízení je zapotřebí chladiva a absorpční látky. Nejběžněji používanými roztoky pro teploty pod 0 °C jsou roztok amoniaku a vody (chladičem je amoniak), nebo roztok bromidu hlinitého a vody pro teploty nad 0 °C (chladičem je voda).



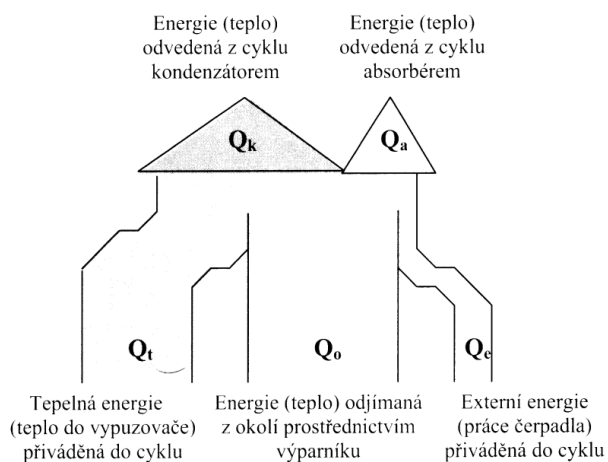
**Obr. 2.3** Absorpční chladicí zařízení [9]

Hlavní části absorpčního chladicího zařízení jsou výparník, absorbér, čerpadlo, kotel, kondenzátor a expanzní ventil (obr.2.3).

Během absorpčního cyklu probíhají tyto fáze:

- Bohatý roztok (směs chladiva a absorpční látky) je čerpadlem dopravován v kapalně fázi do vypuzovače. Přívodem tepla do vypuzovače dochází k ohřívání směsi a odpařování chladiva (látka s nižší teplotou varu). Chladivo je v plynné fázi odvedeno do kondenzátoru. Neodpařená absorpční látka je odvedena do absorbéro.
- V kondenzátoru je chladivo při vyšším tlaku ochlazeno na nízkou teplotu, čímž dojde k přeměně na kapalinu. Teplo z chladiva je odvedeno do okolního prostředí.
- Pracovní látka vstupuje pod vysokým tlakem do expanzního ventilu, kde dojde expanzí ke snížení tlaku a vstříkovaní do výparníku.

- Ve výparníku se pracovní látka odpařuje a tím dochází k odnímání tepla z chlazeného prostoru. Páry chladiva jsou odváděny do absorbéru.
- V absorbéru jsou páry chladiva, v důsledku nižšího tlaku a ochlazování, pohlcovány absorpční látkou. Roztok absorpční látky a chladiva je pomocí čerpadla opět dávkována do vypuzovače. [8]



**Obr. 2.4** Sankeyův diagram absorpčního chladicího cyklu [8]

Termodynamická bilance cyklu vychází, jako u kompresorového chlazení, z rovnosti přivedené a odvedené energie:

$$Q_k + Q_a = Q_t + Q_o + Q_e \quad [W] \quad (2.2)$$

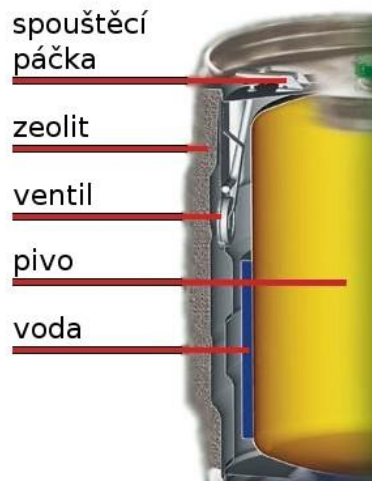
- kde
- $Q_k$  – Energie (teplo) odvedená z cyklu kondenzátorem [W]
  - $Q_a$  – Energie (teplo) odvedená z cyklu absorbérem [W]
  - $Q_t$  – Tepelná energie přiváděná do cyklu (do vypuzovače) [W]
  - $Q_o$  – Energie (teplo) odebíraná z okolí (výparníkem) [W]
  - $Q_e$  – Energie přiváděná do cyklu (práce čerpadla) [W]

### 2.3 Adsorpční chladicí zařízení

Adsorpční chladicí zařízení je velmi podobné absorpčnímu chlazení. Základní rozdíl oproti absorpčnímu chlazení spočívá v tom, že u adsorpčního chlazení se chladivo adsorbuje na povrch pevné látky místo toho, aby se rozpustilo v tekutině. Zpět se uvolňuje ohřátím.

Adsorbentem bývá nejčastěji silikonový gel, aktivní uhlí nebo zeolit. Adsorbátem může být amoniak, voda nebo methanol.

Za zvýšeného tlaku se v kondenzátoru změní plynné skupenství adsorbátu na kapalné a pokračuje dále do výparníku. Ve výparníku se vlivem tepla odebíraného z okolí odpařuje. Vzniklá pára proudí do adsorbéru, kde je adsorbována adsorbentem. Vznikající teplo je odváděno do okolí. Tento cyklus se následně opakuje.



**Obr. 2.5** Řez pláštěm samochladičoho sudu [9]

Adsorpční chladicí zařízení je možné používat např. v transportních chladničkách nebo v sudech na pivo. K provozu těchto zařízení není nutné požívat zdroj energie v místě chlazení.

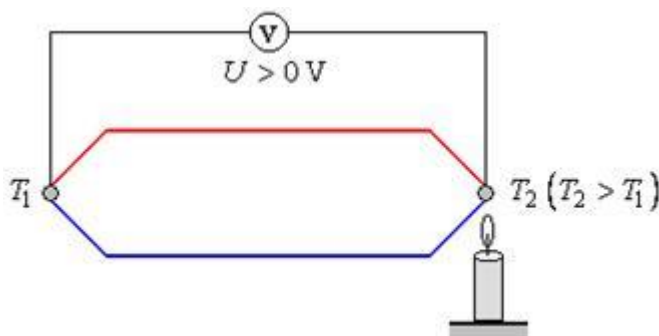
## 2.4 Termoelektrická chladicí zařízení

Fyzikální principy, na kterých jsou založena moderní termoelektrická chladicí zařízení, se ve skutečnosti datují do počátku 18. století. První důležitý objev se datuje do roku 1821, kdy německý vědec Thomas Seebeck zjistil, že elektrický proud může nepřetržitě protékat v uzavřeném obvodu tvořeném dvěma odlišnými kovy, pokud jsou spoje kovů udržovány při dvou různých teplotách. V roce 1834 francouzský hodinář a fyzik Jean Peltier zjistil, že existuje opačný jev, kdy by tepelná energie mohla být absorbována na jednom odlišném kovovém spoji a vybita na druhém spoji. O dvacet let později vydal William Thomson (známý jako Lord Kelvin) komplexní vysvětlení Seebeckových a Peltierových efektů a popsal jejich vztah. [10]

Peltierův, Seebeckův a Thomsonův jev jsou základními termoelektrickými jevy.

### 2.4.1 Seebeckův jev

Seebeckův jev je termoelektrický jev, při kterém se generuje termoelektrické napětí v obvodu, který je složen ze dvou různých polovodičů nebo kovů a zároveň mezi jejich spoji existuje rozdíl teplot (teplotní gradient). Příčinou vzniku tohoto jevu je transport nosičů náboje a rozdíl kontaktních potenciálů s rozdílnou teplotou. Tento jev je nejčastěji využíván k měření teplot pomocí termočlánků, pro měření proudu tepelnými ampérmetry nebo k výrobě energie v tepelných generátorech. [11]



Obr. 2.6 Seebeckův jev [12]

Teplota spoje  $T_1$  se převážně používá jako referenční a udržuje se na nízké teplotě. Při působení tepla na spoj  $T_2$  se na svorkách  $T_1$  a  $T_2$  objeví napětí  $U$  a začne v tomto uzavřeném obvodu proudit elektrický proud. [10]

Toto napětí lze vyjádřit:

$$U = \alpha(T_2 - T_1) \text{ [V]} \quad (2.3)$$

kde  $\alpha$  – Seebeckův koeficient [V/K]

$T_1$  – Referenční teplota [K]

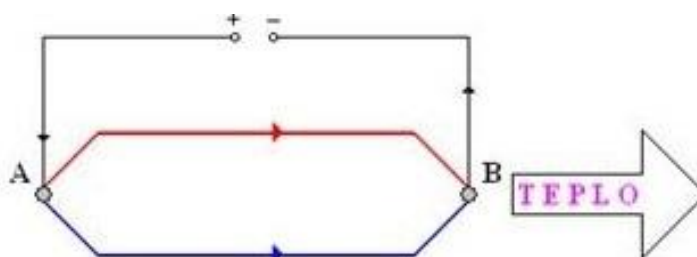
$T_2$  – Měřená teplota [K]

Termoelektrické napětí je velmi malé, proto se termočlánky nepoužívají jako zdroje elektrického napětí.

### 2.4.2 Peltierův jev

Opakem Seebeckova jevu je Peltierův jev. Tento jev popisuje stav, kdy ve spoji dvou různých materiálů, kterým protéká elektrický proud z vnějšího zdroje, dochází ke generování (popř. absorbování) tepla. Zahřívání nebo ochlazování závisí na polaritě termoelektrického napětí spoje a směru proudu. Při souhlasném směru protékajícího proudu z vnějšího zdroje

napětí a směru proudu se při Peltierově jevu bude spoj B oteplovat a spoj A ochlazovat (obr.2.7). [10] [11]



Obr. 2.7 Peltierův jev [13]

Peltierův jev lze vyjádřit jako:

$$Q = \Pi_{AB} I t \text{ [J]} \quad (2.4)$$

kde  $\Pi_{AB}$  – relativní Peltierův koeficient [V]

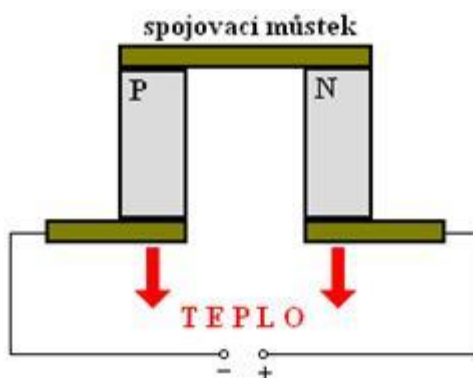
$I$  – elektrický proud [A]

$t$  – doba průchodu proudu [s]

Peltierova jevu se využívá ke konstrukci chladicích zařízení nebo termostatů.

### 2.4.3 Peltierův článek

Peltierův článek se skládá ze dvou sloupků tvořených polovodiči typu N a P. Tyto sloupky jsou vodivě spojeny spojovacím můstkem. Na opačném konci jsou kontaktní plošky určené pro přívod elektrické energie.



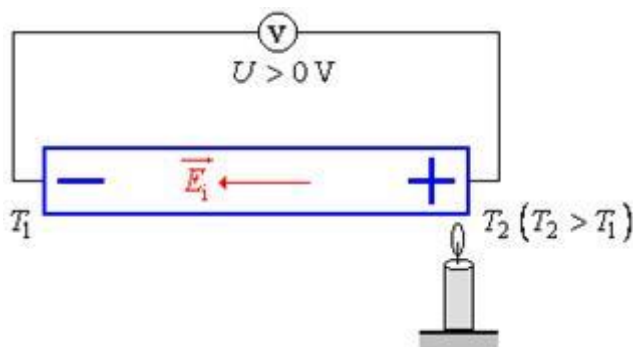
Obr. 2.8 Peltierův článek [13]

V případě zapojení Peltierova článku dle obr.2.8 jsou z polovodiče typu N elektrony odváděny směrem ke zdroji napětí. Z polovodiče typu P jsou odváděny ke zdroji napětí díry a v důsledku toho klesá ve spojovacím můstku počet volných nosičů náboje. Tím klesá kontaktní napětí mezi spojovacím můstkem a polovodiči. Spojovací můstek se tak začne ochlazovat. Při opačné orientaci zdroje se spojovací můstek ohřívá. [13]

Jednotlivé Peltierovy články se spojují do větších celků a vytváří tzv. chladicí termobaterie. K dosažení vyšších teplotních rozdílů se spojují termobaterie do kaskády. V tomto případě je nutné zajistit elektrickou izolaci mezi jednotlivými termobateriemi za použití keramiky s dobrou tepelnou vodivostí. Toto zapojení je možné využít například v přenosných chladicích boxech. [13]

#### 2.4.4 Thomsonův jev

Třetí termoelektrický jev je Thomsonův jev. Byl objevený v roce 1851 Williamem Thomsonem. Tento jev vzniká zahříváním jednoho konce kovové tyče, čímž se vytvoří teplotní gradient a mezi konci vznikne malé termoelektrické napětí (obr.2.9). Thomsonův jev je velmi podobný Seebeckovu jevu, ale vzniká pouze při ohřívání jednoho vodiče.



Obr. 2.9 Thomsonův jev [14]

V závislosti na přerozdělení elektrického náboje ve vodiči po ohřátí jednoho konce, dochází k pozitivnímu nebo negativnímu Thomsonovu jevu. Podle toho se dělí kovy na dvě skupiny. Pozitivní Thomsonův jev vzniká v kovech jako je měď nebo zinek. Tyto kovy mají na konci s vyšší teplotou vyšší potenciál a na konci s nižší teplotou nižší potenciál. [14]

Vzhledem k malému napětí vznikajícímu při Thomsonově jevu, nemá tento jev praktické uplatnění.

### 3 Použití chladicí techniky

Hlavním důvodem pro stavbu chladicích boxů a využití chladicí techniky je především uchovávání zboží podléhající rychlé zkáze. Mezi takovéto zboží patří například maso, zelenina, květiny, ovoce, mléčné výrobky a pivo.

Při návrhu a následné realizaci chladicího boxu je důležité stanovit požadovanou teplotu uvnitř prostoru, druh skladovaného zboží a velikost boxu.

Podle dosahované teploty ve skladovacím prostoru dělíme boxy na:

- chladicí boxy – teplota 0 °C až +10 °C
- mrazicí boxy – teplota -18 °C až -22 °C

#### 3.1 Chladicí boxy pro potraviny

Teplota uvnitř chladicího boxu pro potraviny se nejčastěji pohybuje v rozmezí od 0 °C do 6 °C. Při návrhu chladicího boxu je důležitý způsob skladování potravin, zda budou skladovány balené nebo nebalené. Při skladování nebalených potravin je nutné použití výparníků chlazení, které zajistí ideální vlhkost a optimální proudění vzduchu v boxu. Tím je zabráněno vysušování potravin i při dlouhodobém skladování. Základním stavebním prvkem jsou PUR panely. [15]

#### 3.2 Chladicí boxy pro uchování masa

Teplota uvnitř chladicího boxu pro maso se nejčastěji pohybuje v rozmezí od 0 °C do 2 °C. V těchto boxech je také nutné zajistit ideální vlhkost a optimální proudění vzduchu za pomoci speciálního výparníku a tím zabránění vysušování masa. Chladicí boxy na maso jsou často vybaveny regálovými systémy, závěsnými háky nebo sklopnými rameny a navijáky. Nejčastější provedení stěn je z PUR panelů. [15]

#### 3.3 Chladicí boxy pro čerstvé květiny

K prodloužení trvanlivosti květin se používají chladicí boxy se skladovací teplotou v rozmezí od 5 °C do 7 °C, pro květiny pocházející z tropů v rozmezí od 12 °C do 16 °C.

Chladicí boxy pro květiny se vyrábějí v libovolných tvarech a za pomoci izolačních skel. Provedení stěn z PUR panelů je možné volit v různých barevných provedeních dle odstínů RAL. [15]



**Obr. 3.1** Izolační PUR panely [16]

### **3.4 Chladicí boxy pro léky**

Teplota v chladicích boxech pro zdravotnictví se obvykle pohybuje 0 °C do 15 °C. Ve zdravotnictví jsou často používány také mrazicí boxy pro teploty až -35 °C pro skladování krve nebo krevní plazmy. U těchto aplikací se instalují speciální hluboko mrazicí technologie s velmi výkonnými kompresory, umožňující hluboko teplotní rozsahy teplot. Mrazicí boxy jsou obvykle instalovány s předchladírnou proti zabránění výkyvů teplot u citlivého zboží. [15]

### **3.5 Chladicí boxy na víno**

Chladírenská technologie pro chlazení vína pomáhá udržovat potřebnou vlhkost a teplotu. Chladicí boxy, v tomto případě vinotéky, jsou vyráběny z PUR panelů a izolačních skel v profilech REHAU. U prosklených boxů je jedna nebo několik stěn místo PUR panelu nahrazena izolačním sklem, nebo sestavou prosklených obslužných dveří. Izolační prosklení lze vyrobit v libovolných tvarech a velikostech, industriální systém chladicích boxů dovoluje neomezené možnosti variability. Boxy na víno je možné vyrobit nejen v bílé barvě. [15]

### **3.6 Chladicí boxy pro chlazení nápojů**

Teplota v chladicích boxech se pohybuje podle potřeby v rozmezí od 0 °C do 15 °C. Tyto boxy mohou sloužit jako prodejní na výstavu zboží, nebo jako skladovací boxy v zázemí restaurace. [15]



### 3.7 Chladicí boxy pro tankové a sudové pivo

Chladicí boxy na pivo jsou realizovány v mnoha variantách a modifikacích. Teplota v chladicích boxech pro pivo se pohybuje okolo 5 °C až 7 °C. Takto předchlazené pivo již putuje pivním vedením do běžného chladiče piva, kde dochází k finálnímu dochlazení. Tento proces výrazně zvyšuje kvalitu podávaného nápoje. Izolační vlastnosti jsou zajištěny PUR panelem a izolačním sklem. Prosklené boxy pro výstavu pivních sudů a tanků jsou skvělým designovým doplňkem každé restaurace. [15]



**Obr. 3.2** Chladicí box pro pivní tanky

### 3.8 Speciální chladicí zařízení

Samostatnou kapitolou jsou speciální chladicí zařízení, mezi které patří pivní chlazení, podlahové chlazení nebo výrobníky ledu. Tato zařízení jsou převážně vyráběna na přání zákazníka. Je v nich možné spojit osobitý design a funkční prvky. [15]

## 4 Komponenty chladicích zařízení

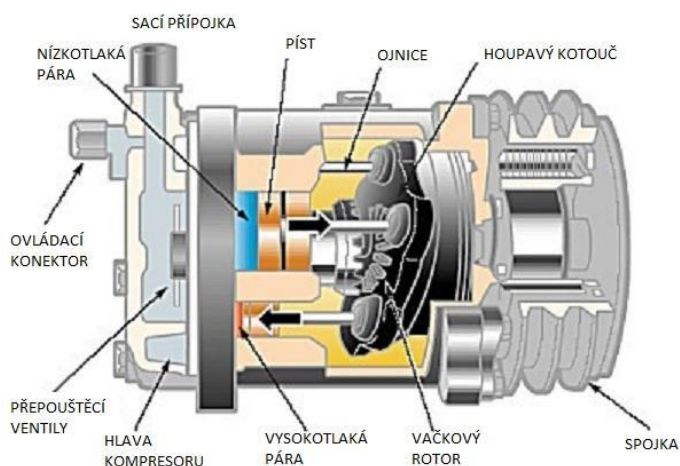
### 4.1 Kompresor

Základní částí chladicího okruhu s parním oběhem je kompresor. Kompresory pro chladicí okruhy nazýváme chladivovými kompresory, vzhledem k jejich pracovní látce. U těchto kompresorů jsou kladeny vysoké nároky na těsnost, protože i nepatrný únik chladiva znamená problém v provozu chladicího systému. Kompresory pracují za velmi proměnlivých podmínek, a proto jsou nemalé nároky kladeny i na jejich pevnost.

#### 4.1.1 Pístové kompresory

Nejrozšířenějšími kompresory v chladicí technice jsou pístové kompresory. Jejich využití je nejvíce rozšířeno v domácích chladničkách a v distribučním chlazení.

Pístové kompresory pracují na principu pístu, který se pohybuje ve válci. Pístem pohybuje klikový mechanismus, který je roztáčen motorem. K dalším důležitým částem patří ojnice a píst, které uskutečňují převod rotačního pohybu na přímočarý vratný pohyb. Náhradou klikového mechanismu je nakloněná kruhová deska, která se otáčí kolem svého středu a vykonává tak vratný pohyb jednoho nebo více pístů (obr.4.1). Pístový kompresor se šikmou deskou se nejčastěji používá v autoklimatizacích.



**Obr. 4.1** Pístový kompresor se šikmou deskou [17]

Pístové kompresory se rozdělují na souproudé a protiproudé. Toto rozdělení je závislé na uspořádání ventilového ústrojí. Souproudý kompresor má sací ventil umístěný ve spodní

části pístu a výtlačný ventil umístěný ve ventilové desce. Páry chladiva mají při průchodu kompresorem jeden směr. U protiproudého kompresu je směr proudění chladiva při sání opačný oproti směru proudění par chladiva při vytlačování. Z důvodu zvýšení hmotnosti, a s tím spojené problémy, se souproudé uspořádání v praxi téměř nevyskytuje.

#### **4.1.2 Scroll kompresory**

Kompresory scroll jsou méně hlučné, efektivnější a hospodárnější než pístové kompresory. Technické řešení těchto kompresorů je známo velmi dlouho, ale až s rozšířením CNC obrábění dochází k jejich výrobě.

Princip scroll kompresoru spočívá v obíhání spirály (scroll) po dráze, kterou definuje další nepohyblivá spirála umístěná na těle kompresoru. Pohyblivá spirála je spojena s klikovou hřídelí způsobující kývavý excentrický pohyb, který vytváří řady plynových kapes. Tyto kapsy se při přemísťování dovnitř spirály zmenšují, čímž se zvyšuje teplota i tlak na potřebnou hodnotu.

Mezi nevýhody scroll kompresorů patří nutnost návrhu na vyšší teploty a utěsnění rotorů vůči sobě, aby pracovní komory byly dokonale těsné. Výhodou těchto kompresorů je malý počet pohyblivých dílů, což má pozitivní vliv na jejich životnost a poměrně velkou spolehlivost.

#### **4.1.3 Šroubové kompresory**

Největší předností šroubových kompresorů je zejména jejich výkonnost. Vyrábějí se pro výkony v desítkách kW až MW. Obvodová rychlost rotorů je až dvacetinásobná oproti rychlosti rotorů u pístových kompresorů. Tato vlastnost umožňuje, při zachování požadovaného chladicího výkonu, zmenšit rozměry tohoto zařízení.

Šroubové kompresory se vyrábějí jako dvurotorové nebo jednorotorové. Tělesa dvurotorového kompresoru jsou šroubová s nestejným počtem zubů a vybráním v obou rotorech. Princip spočívá v nasávání par chladiva do prostoru mezi šrouby při odvalování šroubů a následném stlačení páry chladiva při uzavírání prostoru mezi šrouby.

Mezi hlavní výhody šroubových kompresorů bezpochyby patří jeho malé rozměry a malý počet pohyblivých částí. Nevýhodou je zejména náročnost systému mazání a axiální zatížení ložisek kompresoru. Odstranění tohoto zatížení je možné použitím jednorotorového provedení.

Toto provedení pracuje na principu jednoho rotoru a jedné nebo dvou růžic, které zasahují do vnitřního závitu rotoru kompresoru. Vzhledem k umístění růžice na boku šroubu nedochází k axiálnímu zatížení.

Zvláštní provedení šroubového kompresoru bez mazání je možné použít i pro plyny s nebezpečím výbuchu.

#### **4.1.4 Rychlostní kompresory**

Rychlostní kompresory se dělí na dvě základní skupiny. Na turbokompresory a kompresory bez pohyblivých částí, tzv. ejektory.

Turbokompresory se používají převážně pro vysoké chladicí výkony v řádech MW. Podle charakteru proudění par chladiva se turbokompresory dělí na axiální, radiální a diagonální. Otáčky turbokompresorů se pohybují v závislosti na průměru oběžného kola a požadovaného výkonu cca od tisíce až po desítky tisíc otáček za minutu. Snížením vysoké rychlosti par chladiva z oběžného kola v difuzoru dochází ke stlačení těchto par a pohybová energie se přemění na tlakovou. Průtok chladiva je regulován polohami rozváděcích lopatek umístěných ve vstupním hrdle turbokompresoru. Technické řešení a výrobní provedení těchto kompresorů je složitá záležitost a z tohoto důvodu je výroba řešena většinou zakázkovým způsobem. [17]

Ejektory jsou zvláštní skupina strojů využívající vlastnosti Venturiho efektu. Poháněcí plyn nebo pára o vyšším tlaku, než je tlak ve vstupním hrdle je veden do pracovní dýzy, kde expanduje na nižší tlak, než je ve vstupním hrdle. Vzhledem k rychlosti průtoku s sebou strhává páry z hrdla a mísí se s nimi. Při následném průtoku difuzorem se rychlost mění na tlak a kinetická energie se mění na energii tlakovou. [17]

## **4.2 Kondenzátor**

Kondenzátor je výměník tepla a slouží k odvodu tepla z chladicího oběhu. Podle provedení a použité chladicí látky dělíme kondenzátory na:

- Vzduchem chlazené
- Kapalinou chlazené
- Odpařovací

Nejčastěji používaným kondenzátorem je kondenzátor chlazený vzduchem. Veškeré teplo je odváděno z kondenzační strany do vzduchu. Základem těchto kondenzátorů je lamelová teplosměnná plocha, přes kterou je proděni vzduchu zajištěno ventilátory. U kondenzátorů umístěných ve vnitřních prostorech je nutné zajistit přívod čerstvého vzduchu a ohřátý odvést ven. Na zajištění dostatečné výměny vzduchu je kladen velký nárok. Pokud není zajištěna dostatečná výměna vzduchu v místnosti, vzduch se neustále ohřívá, narůstá kondenzační tlak a spotřeba elektrické energie. Dalším nepříznivým efektem je pak snížení chladicího výkonu chladicího zařízení.



**Obr. 4.2** *Vzduchem chlazený kondenzátor*

U kapalinou chlazených kondenzátorů se používá jako chladicí médium voda nebo nemrznoucí kapalina. Není-li tato kapalina dále používána pro technologické účely, je nutné ji chladit odváděním tepla do okolí.

Odpařovací kondenzátory využívají latentní teplo odpařující se vody. Vzduch na výstupu z kondenzátoru má vždy vyšší vlhkost než vzduch na vstupu. Odpařovací kondenzátory se v chladicí technice používají převážně u čpavkových chladicích zařízení. V ostatní chladicí technice se využívá tohoto principu pomocí vodní věže a kapalinou chlazeného kondenzátoru.

Chladicí věže pracují na principu, že se část proudící vody odpaří. Teplo potřebné k odpaření je dodáváno zbytkem vody, u které tak dojde k ochlazení. Do chladicí věže se přivádí chlazená voda, která se pomocí trysek rozstříkuje. Tyto kapky přicházejí do styku s proudícím vzduchem a část vody se odpaří. Zbylá voda padá do vany umístěné na dně věže odkud je čerpána zpět ke chlazeným spotřebičům.

### 4.3 Výparník

Výparník je výměník tepla a slouží k odnímání tepla chlazené látky. Teplo z ochlazované látky přechází do chladiva, které se jeho pohlčováním vypařuje. Výparníky dělíme podle regulace přívodu chladicí látky a zaplavení teplosměnné plochy na:

- Suché výparníky
- Zaplavené výparníky

Suché výparníky mají na výstupu z výparníku suchou (nejčastěji přehřátou) páru chladiva. Expanzi chladiva zajišťuje expanzní ventil umístěný v těsné blízkosti výparníku. V případě rozdělení do více sekcí se používá pro každou sekci samostatný expanzní ventil, aby byl zajištěn nástřik chladiva skutečné zátěži každé sekce.

U zaplavených výparníků je nástřik chladiva řízen výškou chladiva ve výparníku nebo v pomocné nádobě. Cirkulace chladiva se zajišťuje oběhovým čerpadlem nebo samospádem, pokud je nádoba položena výše než výparník. Použití těchto výparníků je převážně v průmyslu u čpavkových chladicích zařízení.

Pro chlazení vzduchu v chladicích boxech se převážně používají lamelové výparníky. U těchto výparníků dochází při ochlazování okolního vzduchu ke kondenzaci vlhkosti ze vzduchu. Tato vlhkost zůstává vysrážená na povrchu výparníku. Tento kondenzát je odváděn mimo výparník. Při velkých rychlostech vzduchu dochází částečně ke strhávání kapek vody a při velmi nízkých teplotách dochází k namrzání vlhkosti na teplosměnné ploše výparníku. Namrzání snižuje přestup tepla a výkon výparníku. Z tohoto důvodu je nutné zajistit odtávání.

Odtávání výparníku se zajišťuje nejčastěji vzduchem, ale v tomto případě je nutná teplota vzduchu nad 0 °C (ideálně 5-6 °C). Při odtávání dojde k uzavření přívodu chladiva do výparníku magnetickým ventilem a v provozu jsou pouze ventilátory. V případě velmi nízkých teplot v chladicím boxu je odtávání zajištěno elektrickými topnými tyčemi umístěnými v teplosměnném bloku. V tomto případě jsou během odtávání ventilátory vypnuty.

#### 4.4 Sběrač chladiva a odlučovač oleje

Sběrač kapalného chladiva je tlaková nádoba. Slouží jako zásobník kapalného chladiva a v případě opravy by mělo být možné shromáždit veškeré chladivo v tomto zásobníku, aby se zabránilo úniku chladiva do ovzduší. U zařízení s rozvětvenými potrubními systémy slouží sběrače chladiva, vzhledem k velikosti náplně, pouze jako vyrovnávací zásobník kapalného chladiva. Před opravami je nutné chladivo odstát do lahví. Výstupní trubka ze sběrače je vedena ze dna, aby kapalina neobsahovala parní bublinky.

Při provozu kompresoru odchází do chladicího okruhu směs par chladiva a oleje. Olej postupně prochází celým systémem přes kondenzátor, sběrač chladiva a přes výparník se vrací zpět do kompresoru. V některých případech se může olej shromažďovat ve výparníku a z výparníku do kompresoru je unášeno již jen velmi malé množství oleje. Nedostatek oleje v kompresoru může zapříčinit poškození ložisek kompresoru případně zadírání pístů kompresoru.



**Obr. 4.3** Odlučovač oleje [18]

Shromážděný olej ve výparníku postupně zaplavuje teplosměnnou plochu, klesá výkon výparníku a zároveň stoupá spotřeba elektrické energie. Z tohoto důvodu se u rozsáhlých zařízení používá odlučovač oleje.

#### 4.5 Expanzní ventily

Úkolem expanzních ventilů je zajistit expanzi kapalného chladiva a zajistit, že bude do výparníku přivedeno pouze takové množství chladiva, které se ve výparníku zcela vypaří. Zároveň chrání kompresor před nasáváním kapalného chladiva, které by snižovalo jeho dopravní účinnost.

Podle konstrukce expanzních ventilů a jejich funkce můžeme ventily rozdělit do tří základních skupin na:

- Mechanické expanzní ventily
- Elektronické expanzní ventily
- Ostatní

#### 4.5.1 Mechanické expanzní ventily

Mechanické expanzní ventily patří mezi nejpoužívanější a rozdělují se podle řízení průběhu expanze na automatické a termostatické.

Automatické expanzní ventily udržují konstantní tlak ve výparníku. V současnosti se tyto ventily pro běžná chladicí zařízení prakticky nepoužívají, protože neumožňují využití plného chladicího výkonu v celém rozsahu tlaků a teplot. K přívodu chladiva do výparníku dojde vždy, když tlak ve výparníku stoupne na nastavenou hodnotu. Ovládacím prvkem je membrána nebo vlnovec, na který působí atmosférický tlak společně s pružinou, a z druhé strany působící tlak vypařujícího se chladiva a regulační pružiny. [17]



**Obr. 4.4** *Termostatický expanzní ventil Danfoss [19]*

Termostatické expanzní ventily, na rozdíl od automatických expanzních ventilů, regulují přehřátí par chladiva na výstupu z výparníku. Hlavní částí tohoto ventilu je tryska, která je ovládána membránou. Na membránu působí z jedné strany síla vznikající tlakem náplně termočlánku, měnící se v závislosti na teplotě tykavky. Na spodní stranu membrány působí pružina regulačního šroubu a tlak expandovaného chladiva. Rozdíl tlaků odpovídá přehřátí chladiva. Velikost přehřátí je nastavena regulačním šroubem. Termostatické



expanzní ventily mění kontinuálně množství vstříkovaného chladiva do výparníku v závislosti na teplotě vstupujících par a umožňují tak využití výkonu kompresoru v celém rozsahu teplot i tlaků.

#### 4.5.2 Elektronické expanzní ventily

Hlavní předností elektronických expanzních ventilů je možnost včlenit jejich elektronické řídicí moduly do systému řízení, regulace a sledování s přístupem ke každému ventilu samostatně. Nemalelou výhodou je přesnější a citlivější regulace přehřátí par, dlouhá životnost a malý provozní hluk. Vyskytují se dvě provedení. Pulzní provedení a provedení s krokovým motorem.

Pulzní expanzní ventil pracuje jako klasický elektromagnetický ventil. Cyklus ovládání je nastaven v řídicí jednotce v předem stanovené délce pulzu. Délka jednoho pulzu bývá v rozmezí 5 až 10 sekund. Při použití pulzních ventilů odpadá nutnost použití elektromagnetického uzavíracího ventilu. V případě výpadku elektrické energie dojde automaticky k uzavření tohoto ventilu.

Expanzní ventily s krokovým motorem jsou používány pro větší výkony. Ovládání ventilů je taktéž řídicí jednotkou, avšak povely nejsou předávány cívce, ale krokovému motoru, který se při každém pulzu pootočí o daný úhel. [17]

#### 4.6 Dehydrátory

Největším nepřítelem všech kompresorových chladicích systémů je voda. Reakcí vody s oxidy některých látek dochází k tvoření kyselin. Z tohoto důvodu jsou v systémech používány dehydrátory, které jsou naplněny dehydratační látkou. Tato látka je schopna fyzikálně vázat vlhkost obsaženou v chladivu.

Jako dehydratační látku je možné použít jakoukoliv hydroskopickou látku, která je za provozu chemicky stálá a zbytková vlhkost cirkulujícího chladiva bude nižší než mezní hodnota vlhkosti chladiva. Dehydratační náplně dehydrátorů se vyskytují ve formě volně sypané náplně nebo ve formě vložek.

Pro menší výkony se dehydrátory vyrábějí v provedení na jedno použití. Pro větší výkony jsou dehydrátory většinou rozebíratelné a jejich vložky je možné opakovaně vyměnit. Většina dehydrátorů je schopna částečně zachytit i kyselé složky vzniklé chemickou reakcí maziva, vody a chladiva uvnitř okruhu.

## 4.7 Elektromagnetický ventil

Elektromagnetický ventil zajišťuje uzavření přívodu kapalného chladiva v okamžiku vypnutí kompresoru a znemožní tím následné poškození výparníku. Při spuštění kompresoru dojde znovu k otevření elektromagnetického ventilu. Elektromagnetický ventil uzavře přívod kapalného chladiva, zatímco kompresor zůstane v chodu. Tlak v sacím potrubí klesá a při dosažení dané hodnoty se kompresor vypne. [5]

## 4.8 Průhledítka

Průhledítka umožňuje provádět vizuální kontrolu množství chladiva v potrubí. Při průtoku nedostatečného množství kapaliny jsou viditelné pod sklem průhledítka bublinky páry. Součástí bývá také indikátor vlhkosti obsažené v chladivu. Podle množství vlhkosti v chladivu dochází k zbarvení indikátoru.

## 4.9 Termostaty

Termostaty jsou zařízení pro udržování teploty v požadovaném rozsahu. Termostaty po dosažení nastavené hodnoty čidla nebo po teplotní deformaci bimetalu vypínají ovládanou součást. K obnovení provozu dochází převážně automaticky. Podle druhu použití se vyrábějí termostaty s konstantní vypínací teplotou, s konstantní zapínací teplotou nebo s konstantní diferencí. Dále je možné termostaty rozdělit podle jejich funkce na pojistné, řídicí nebo kombinované.

## 4.10 Presostaty

Presostaty jsou nastavitelná tlaková čidla, která ovládají na základě měřeného tlaku činnost funkčních dílů chladicího zařízení.

Po dosažení mezní hodnoty kondenzačního nebo vypařovacího tlaku presostaty vypínají ventilátor nebo elektromotor kompresoru. Po opětovném stoupnutí, nebo poklesu tlaku na nastavenou hodnotu, dojde k obnovení provozu. Snímaný tlak působí na membránu a zároveň působí proti regulační pružině přes páku mechanismu na kontakty mikrospínače.

Podle velikosti ovládacího tlaku se presostaty rozdělují na nízkotlaké, vysokotlaké a kombinované. Nízkotlaké spínače se nejčastěji používají pro řízení provozu okruhů s termostatickými expanzními ventily. Jejich funkci je možné využít i jako ochranu při úniku chladiva. Vysokotlaké spínače se využívají jako ochrana před stoupnutím tlaku nad

přípustnou hodnotu. Většina přetlakových spínačů musí být po automatickém vypnutí uvedena do provozu ručně. U zařízení, kde je nutné použití nízkotlakého i vysokotlakého spínače, se používá kombinovaný presostat. Jedná se o umístění obou spínačů do jednoho pouzdra.

#### 4.11 Chladiva

Chladivo je jedna z nejdůležitějších částí chladicího systému. Funkci chladicího systému umožňují termodynamické změny, při nichž dohází ke kondenzaci nebo naopak k vypařování pracovní látky. Chemických látek nebo různých chemických sloučenin je velké množství, ale ne všechny mají vlastnosti pro jejich využití v technické praxi.

Mezi nejdůležitější příznivé vlastnosti chladiv patří snadná výroba a dostupnost, široký rozsah pracovních teplot a tlaků, a další vlastnosti z oblasti energetické náročnosti. K nepříznivým vlastnostem patří zejména hořlavost, výbušnost, jedovatost, chemická nestálost, popřípadě nepříznivý vliv látky na životní prostředí. Za obvyklých provozních podmínek je stabilita chladiv dostatečná. Ve většině případů se zvětšuje působení na konstrukční materiály při výskytu vlhkosti v zařízení. Problém hořlavosti a výbušnosti chladiv je nutné uvažovat zvláště v oblasti klimatizace. [5]

Pro označení jednotlivých chladiv bylo zavedeno mezinárodní označení ve tvaru RXXX<sub>Y</sub>, kde počáteční písmeno R označuje, že se jedná o chladivo. Číselné označení chladiv má svoji logiku. Jednosložková chladiva, která vycházejí z uhlovodíku, používají označení odpovídající složení molekuly chladiva. Vícesložková chladiva používají označení přidělená Americkou asociací ASHRAE. Přírodní chladiva používají na prvním místě za písmenem R číslici 7 a následné číslo označuje molovou hmotnost molekuly přírodní látky (např. R717 = NH<sub>3</sub>). Seznam všech chladiv je možné nalézt na webových stránkách ASHRAE ([www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)). [17]

Pro rozdělení chladiv je nejčastějším kritériem jejich vznik nebo původ. Chladiva dělíme na přírodní nebo vyrobená synteticky. Mezi přírodní chladiva patří voda, čpavek, oxid siřičitý, oxid uhličitý a další. Nejběžněji používané přírodní chladivo je čpavek a z ekologických důvodů oxid uhličitý. Syntetická chladiva vznikají přidáním atomů chloru, fluoru, případně bromu do molekuly přírodního uhlovodíku. Fyzikální vlastnosti je možné ovlivnit druhem a počtem přidaných atomů chloru a fluoru.

Fluorované skleníkové plyny	Látka		ODP	GWP
	<b>Chladiva HFC</b>			
	<b>R23</b>	CHF <sub>3</sub>	0	14800
	<b>R32</b>	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0	675
	<b>R125</b>	C <sub>2</sub> HF <sub>5</sub>	0	3500
	<b>R134a</b>	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	0	1430
	<b>R152a</b>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub>	0	124
	<b>R143a</b>	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	0	4470
	<b>R227ea</b>	C <sub>3</sub> HF <sub>7</sub>	0	3220
	<b>R236fa</b>	C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	0	9810
<b>Směsi obsahující HFC chladiva</b>				
<b>R404A</b>	R125 / R134a / R143a	44 / 4 / 52%	0	3922
<b>R407A</b>	R32 / R125 / R134a	20 / 40 / 40%	0	2107
<b>R407B</b>	R32 / R125 / R134a	10 / 70 / 20%	0	2804
<b>R407C</b>	R32 / R125 / R134a	23 / 25 / 52%	0	1774
<b>R410A</b>	R32 / R125	50 / 50%	0	2088
<b>R417A</b>	R125 / R134a / R600	46,6 / 50,0 / 3,4%	0	2346
<b>R422D</b>	R125 / R134a / R600	65,1 / 31,5 / 3,4%	0	2729
<b>R427A</b>	R32 / R125 / R143a / R134a	15 / 25 / 10 / 50%	0	2138
<b>R437A</b>	R134a / R125 / R600 / R601	78,5 / 19,5 / 1,4 / 0,6%	0	1805
<b>R507</b>	R125 / R143a	50 / 50%	0	3985
<b>R508A</b>	R23 / R116	39 / 61%	0	13214
<b>R508B</b>	R23 / R116	46 / 54%	0	13396

Přírodní chladiva	Látka		ODP	GWP	
	<b>R170</b>	Ethan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0	6
	<b>R290</b>	Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0	3
	<b>R600a</b>	Isobutan	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	0	3
	<b>R717</b>	Amoniak (čpavek)	NH <sub>3</sub>	0	0
	<b>R744</b>	Oxid uhličitý	CO <sub>2</sub>	0	1
	<b>R1270</b>	Propylen	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0	2

**Tab.1 Seznam chladiv [20]**

Pro hodnocení ekologického vlivu chladiv na životní prostředí se používají tři základní kritéria:

- GWP – potenciál globálního oteplování
- ODP – potenciál poškozování ozonové vrstvy
- TEWI – celkový vliv na ohřev atmosféry

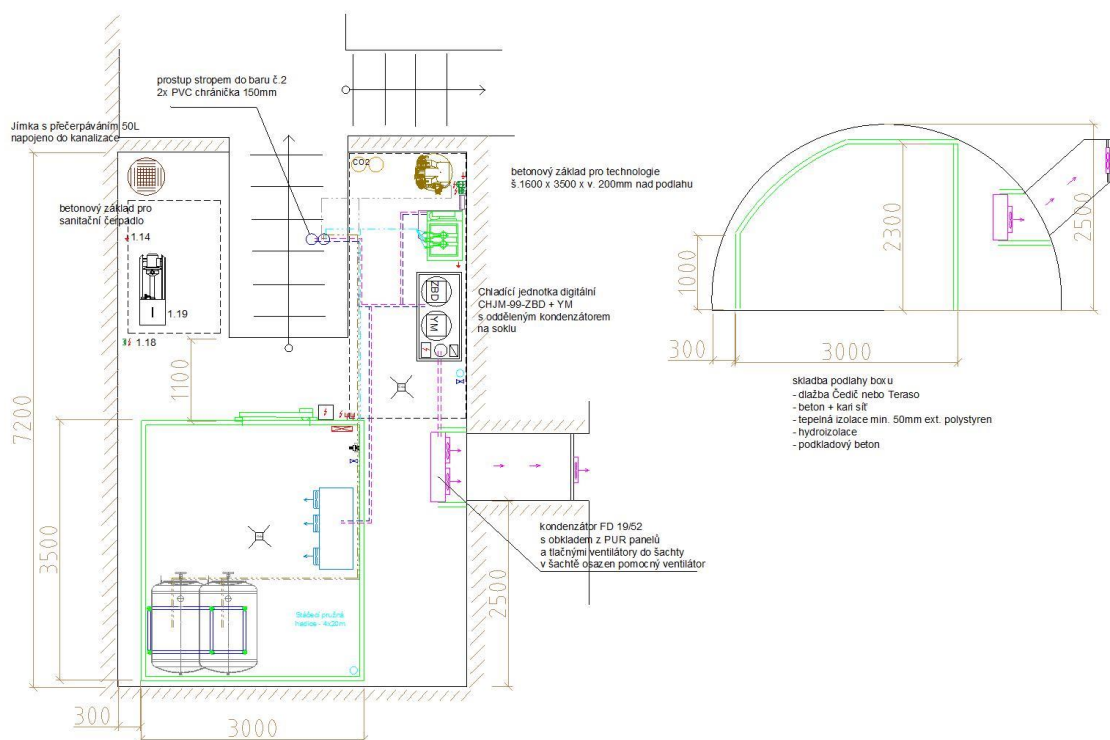
Elektrické vlastnosti a vzájemná rozpustnost s oleji a s vodou patří mezi nejdůležitější fyzikální vlastnosti chladiv. Elektrická pevnost a dielektrická konstanta umožňují bezchybnou funkci elektromotorů v prostředí par chladiva. U chladiv dáváme přednost nerozpustnosti s olejem z důvodu usazování oleje v aparátech a následného možného odvedení z okruhu. [5]

## 5 Návrh chladicího systému s využitím odpadního tepla

Pro návrh chladicího systému s využitím odpadního tepla jsem zvolil rekonstruovaný objekt určený k provozování restaurace. V prostorech restaurace jsou umístěny dva výčepní pulty s chlazenými částmi a v nepodsklepeném přízemí budovy je prostor pro umístění chladicího boxu.

Chladicí box bude využíván pro skladování tankového piva ve čtyřech pivních tancích o celkovém objemu 2000 litrů, KEG sudy s pivem a lahve s alkoholem. Optimální teplota pro skladování piva je 5 °C a na tuto teplotu bude navrhován chladicí systém.

Pro návrh chladicího boxu počítám s pohybem jedné osoby po dobu 2 h za den. Celkové množství skladovaného zboží je 5000 kg s denním obratem 1000 kg. Denní doba chodu kompresoru je 16 h. Předpokládaná počáteční teplota zboží doplňovaného do chladicího boxu je 10 °C. Okolní teplota chladicího boxu je 20 °C. Chladicí zařízení je umístěno vedle chladicího boxu. Výparník s nuceným oběhem vzduchu je umístěný v chladicím boxu pod jeho stropem. Kondenzační jednotka s ventilátory je umístěna na konzolách s odvodem vzduchu do šachty. Velikost chladicího boxu a jeho umístění je patrné z obr 5.1.



Obr. 5.1 Dispoziční řešení prostoru

Základním stavebním prvkem chladicího boxu jsou sendvičové PUR panely. Pro tento box byl zvolen PUR panel tloušťky 60 mm, jehož vnitřní izolační vrstvu tvoří polyuretan. Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  těchto panelů je  $0,0225 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Panely jsou spojovány zámky, které zamezují vzniku tepelných mostů.

## 5.1 Stanovení spotřeby chladu pro chladicí box

Pro stanovení spotřeby chladu v chlazeném prostoru je nutné znát jeho energetickou bilanci. Pro určení energetické bilance je nutné stanovit veškeré zdroje tepla v chlazeném prostoru a veškeré tepelné toky z a do tohoto prostoru.

Návrhový a bilanční výkon chlazeného prostoru chladicího boxu jsem stanovil podle vztahu:

$$Q = Q_s + Q_{vz} + Q_{chl} + Q_{ve} + Q_l + Q_{os} + Q_{od} \text{ [Wh]} \quad (5.1)$$

kde	$Q_s$ – tepelný zisk prostupem tepla	[Wh]
	$Q_{vz}$ – tepelný zisk při vstupech do boxu	[Wh]
	$Q_{chl}$ – teplo odváděné z ochlazovaného zboží	[Wh]
	$Q_{ve}$ – tepelný zisk od ventilátorů	[Wh]
	$Q_l$ – tepelný zisk od lidí	[Wh]
	$Q_{os}$ – tepelný zisk od osvětlení	[Wh]
	$Q_{od}$ – tepelný zisk od odtávání	[Wh]

Tepelný zisk prostupem tepla stěnami, stropem a podlahou získáme ze vztahu:

$$Q_s = U \cdot S \cdot (t_e - t_i) \text{ [W]} \quad (5.2)$$

kde	$U$ – součinitel prostupu tepla	$[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$
	$S$ – plocha stěn	$[\text{m}^2]$
	$t_e$ – teplota mimo chlazený prostor	$[\text{°C}]$
	$t_i$ – teplota uvnitř chlazeného prostoru	$[\text{°C}]$

Součinitel prostupu tepla je závislý na materiálu použitém pro konstrukci stěn chladicího boxu a tloušťce stěny. Hodnoty je možné nalézt v technických listech od panelů konkrétních výrobců nebo na základě normovaných hodnot dle ČSN 73 0540-2:2011 tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky.

Další složkou tepelné zátěže je tepelný zisk  $Q_{vz}$ , ke kterému dochází výměnou vzduchu při otevírání dveří a netěsnostmi stěn a dveří. Tento vzduch je nutné ochladit na teplotu chlazeného prostoru. Kromě tepla může do prostoru vnikat i vodní pára. Podíl suchého vzduchu a vodní páry se udává jako relativní vlhkost. Pro výpočet tepelné zátěže  $Q_{vz}$  vycházíme ze vztahu:

$$Q_{vz} = n \cdot V \cdot \rho \cdot (h_e - h_i) \quad [J] \quad (5.3)$$

kde	$n$ – četnost vstupů do chlazeného prostoru	[-]
	$V$ – objem chlazeného prostoru	[m <sup>3</sup> ]
	$\rho$ – hustota vzduchu	[kg/m <sup>3</sup> ]
	$h_i$ – entalpie vzduchu interiéru prostoru	[J/kg]
	$h_e$ – entalpie vzduchu exteriéru prostoru	[J/kg]

Při vstupu osob do chlazeného prostoru je nutné uvažovat také se složkou tepelné zátěže od pohybujících se osob  $Q_l$  a zároveň je při vstupu v provozu osvětlení, které elektrickou energii přemění v teplo  $Q_{os}$ . Tyto tepelné zátěže vypočteme ze vztahů:

$$Q_l = n \cdot q_l \cdot \tau \quad [Wh] \quad (5.4)$$

kde	$n$ – počet osob	[ks]
	$q_l$ – tepelný výkon předaný jednou osobou	[W]
	$\tau$ – denní doba pobytu v chlazeném prostoru	[h]

$$Q_{os} = n_{os} \cdot P_{os} \cdot \tau \quad [Wh] \quad (5.5)$$

kde	$n_{os}$ – počet svítidel	[ks]
	$P_{os}$ – příkon osvětlení chlazeného prostoru	[W]
	$\tau$ – denní doba osvětlení chlazeného prostoru	[h]

Stejně jako osvětlení v chlazeném prostoru, tak i ventilátory použité pro nucenou cirkulaci vzduchu v chladicím boxu, přeměňují ventilátory veškerý svůj elektrický příkon na teplo. Pro výpočet tepla od ventilátorů použijeme podobný vztah jako pro výpočet tepla z osvětlení  $Q_{os}$ :

$$Q_{ve} = n_{ve} \cdot P_{ve} \cdot \tau \quad [Wh] \quad (5.6)$$

kde	$n_{ve}$ – počet ventilátorů	[ks]
	$P_{ve}$ – příkon ventilátoru	[W]
	$\tau$ – denní doba chodu ventilátorů	[h]

Pro ochlazení skladovaného zboží z počáteční teploty  $t_1$  na konečnou teplotu  $t_2$  musí být odvedena nemalá část tepla  $Q_{chl}$ , pro které platí:

$$Q_{chl} = m \cdot c_p \cdot (t_v - t_i) \quad [J] \quad (5.7)$$

kde	$m$ – denní obrat zboží	[kg]
	$c_p$ – měrná tepelná kapacita zboží	[J/kg.K]
	$t_v$ – teplota vstupujícího zboží	[°C]
	$t_i$ – teplota uvnitř chlazeného prostoru	[°C]

Poslední složkou pro výpočet je tepelná zátěž  $Q_{od}$ , která vzniká při použití topných tyčí pro odtávání námrazy na výparníku, která snižuje výkon chladicího systému. Pro výpočet tepla od odtávacího zařízení je shodný vztah pro výpočet tepla od ventilátorů (5.6).

### 5.1.1 Výpočet spotřeby chladu

Pro výpočet spotřeby chladu jsem použil vztahy 5.1-5.7 uvedené v předchozí kapitole. Dalším způsobem provedení výpočtu tepelné bilance je použití vhodného softwaru. Pro porovnání výpočtu byl použitý software *Bilance* v.2.3. od firmy JDK spol. s r.o., jehož výstup je uveden v příloze C.

Zadané hodnoty:

Délka, šířka a výška prostoru	$l = 3,5 \text{ m}, d = 3 \text{ m}, h = 2,3 \text{ m}$
Provedení stěn a stropu	PUR panel ISOPAN, $d = 60 \text{ mm}, U = 0,37 \text{ W/m}^2\text{.K}$ viz. příloha B
Podlaha	Podlaha bez izolační vrstvy, $U = 2,18 \text{ W/m}^2\text{.K}$
Teplota chlazeného prostoru	$t_i = 5 \text{ °C}$
Relativní vlhkost vzduchu v boxu	$\varphi_i = 65 \text{ %}$
Entalpie vzduchu v boxu	$h_i = 13,16 \text{ kJ/kg}$ [22]
Teplota okolního vzduchu	$t_e = 20 \text{ °C}$



Entalpie okolního vzduchu	$h_e = 44,57 \text{ kJ/kg}$ [22]
Relativní vlhkost vzduchu mimo box	$\varphi_e = 65 \%$
Druh skladovaného zboží	Nápoje-pivo
Měrná tepelná kapacita zboží	$c_p = 4,18 \text{ kJ/kg.K}$
Celkový příkon osvětlení	$P_{os} = 500 \text{ W}$
Množství skladovaného zboží	$m = 5000 \text{ kg}$
Denní obrat zboží	$m = 1000 \text{ kg}$
Celkový příkon ventilátorů	$P_{ve} = 500 \text{ W}$
Denní doba chodu kompresoru	$\tau_c = 16 \text{ hod}$
Denní doba odtávání	$\tau_{od} = 0,4 \text{ hod}$
Příkon pro odtávání výparníku	$P_{od} = 1500 \text{ W}$

### Prostup tepla izolacemi

Prostup tepla izolacemi provedeme pomocí vztahu (5.2).

Obvodové stěny

$$Q_{s1} = U \cdot S \cdot (t_e - t_i) = 0,37.8,2948 \cdot (20 - 5) = \mathbf{46,0361 \text{ W}}$$

$$Q_{s2} = U \cdot S \cdot (t_e - t_i) = 0,37.7,1298 \cdot (20 - 5) = \mathbf{39,5704 \text{ W}}$$

Strop

$$Q_{s3} = U \cdot S \cdot (t_e - t_i) = 0,37.10,8936 \cdot (20 - 5) = \mathbf{60,4595 \text{ W}}$$

Podlaha

$$Q_{s4} = U \cdot S \cdot (t_e - t_i) = 2,182.10,8936 \cdot (10 - 5) = \mathbf{118,8492 \text{ W}}$$

Celkový prostup tepla izolacemi chladicího boxu:

$$Q_s = 2 \cdot Q_{s1} + 2 \cdot Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} = 2.46,0361 + 2.39,5704 + 60,4595 + 118,8492 \\ = \mathbf{350,5217 \text{ W} = 30285,075 \text{ kJ/den}}$$

### Tepelný zisk výměnou vzduchu

Tepelný zisk výměnou vzduchu dveřmi jsem vypočetl ze vztahu (5.3). Četnost vstupů  $n$  do chlazeného prostoru je rovna  $n = \frac{70}{\sqrt{V}}$ :

$$Q_{vz} = n \cdot V \cdot \rho \cdot (h_e - h_i) = \frac{70}{\sqrt{24,15}} \cdot 24,15 \cdot 1,2697 \cdot (44,57 - 13,16) = \mathbf{13719 \text{ kJ/den}}$$

### Tepelný zisk pohybujících se osob

Tento tepelný zisk počítám ze vztahu (5.4):

$$Q_l = n \cdot q_l \cdot \tau = 1.241 \cdot 2 = \mathbf{482 \text{ Wh/den} = 1735 \text{ kJ/den}}$$

### Tepelný zisk od osvětlení

Tepelný zisk od osvětlení počítám ze vztahu (5.5):

$$Q_{os} = n_{os} \cdot P_{os} \cdot \tau = 1 \cdot 500 \cdot 2 = \mathbf{1000 \text{ Wh/den} = 3600 \text{ kJ/den}}$$

### Tepelný zisk od ventilátorů

Tepelný zisk od ventilátorů počítám ze vztahu (5.6):

$$Q_{ve} = n_{ve} \cdot P_{ve} \cdot \tau = 1 \cdot 500 \cdot 16 = \mathbf{8000 \text{ Wh/den} = 28800 \text{ kJ/den}}$$

### Teplo od ochlazovaného zboží

Podle vztahu (5.7) získám odvedené teplo při ochlazování zboží:

$$Q_{chl} = m \cdot c_p \cdot (t_v - t_i) = \mathbf{1000 \cdot 4,18 \cdot 5 = 20900 \text{ kJ/den}}$$

### Tepelný zisk odtáváním

Tepelný zisk při odtávání výparníků vypočítám:

$$Q_{od} = n_{od} \cdot P_{od} \cdot \tau = \mathbf{1 \cdot 1500 \cdot 0,4 = 600 \text{ Wh/den} = 2160 \text{ kJ/den}}$$

### Celková spotřeba chladu:

$$\begin{aligned} Q &= Q_s + Q_{vz} + Q_{chl} + Q_{ve} + Q_l + Q_{os} + Q_{od} \\ &= 30285 + 13719 + 3600 + 1735 + 28800 + 20900 + 2160 \\ &= \mathbf{101199 \text{ kJ/den} = 28110 \text{ kWh/den}} \end{aligned}$$

## Chladicí výkon

Pro výpočet potřebného chladicího výkonu jsem použil vztah:

$$Q_o = \frac{Q}{\tau_c} = \frac{28110}{16} = 1756,88 \text{ W}$$

S ohledem na velikost chladicího boxu a jeho možné využití zvolíme potřebný chladicí výkon o 15 % větší. Tato rezerva pokryje případné rozšíření sortimentu. Celkový chladicí výkon pro chladicí box bude přibližně 2020 W.

### 5.1.2 Spotřeba chladu pro vybraný restaurační provoz

Pro výběr chladicí jednotky je nutné znát i požadované výkony dalších chladicích míst v restauraci. V tomto případě se jedná dva výčepní pulty osazené chlazenými šuplíky, chlazenými vanami pro chlazení pivního skla a výměníky pro předchlazení vody pro ostřík sklenic. Dalším chladicím místem je vodní dochlazovač pro interiérové tanky s pivem. Výkresy s rozmístěním chlazených prostorů jsou uvedeny v příloze E.

Požadovaný chladicí výkon pro odběrná místa:

- Chladič vody pro dvouplášťové tanky 1000 W
- Předchlazení vody – výměník SWEP – 2x1500 W
- Chlazená vana na pivní sklo – 2x1500 W
- Chlazení prostoru pro zásuvky – 500 W
- Chlazení prostoru pro zásuvky – 350 W
- Chladicí box 25 m<sup>3</sup> – 2020 W

Celkový požadovaný chladicí výkon pro vybraný restaurační provoz je 9870 W.

## 5.2 Technické provedení chladicího zařízení

Pro návrh chladicího zařízení s chladicím výkonem 9,9 kW jsem navrhl chladicí zařízení s kompresorovým chladicím oběhem. Chladicí jednotka bude osazena dvěma kompresory. Z důvodu lepšího využití energetické účinnosti při chlazení je jeden z použitých kompresorů scroll kompresor model ZBD 21 KCE firmy Copeland s technologií Digital Scroll, která

umožňuje regulovat výkon kompresoru od 10 % do 100 %. Řízení výkonu kompresoru je pomocí cyklického spínání scroll elementů v periodě 20 s.



**Obr. 5.2** Scroll kompresor Copeland

Základní technické údaje:

Chladicí výkon:  $Q_o = 5500 \text{ W}$ ,  $t_o = -10 \text{ °C}$

Napětí: 400 V, 3f, 50 Hz

Příkon: 2190 W

Pracovní rozsah:  $t_o = -30 \text{ až } +5 \text{ °C}$

Druhým použitým kompresorem je scroll kompresor YM49E1G. Díky digitální technologii regulace výkonu kompresoru Copeland, jsem zvolil kompresor na cca 50 % požadovaného chladicího výkonu. V rozsahu 20 až 100 % jmenovitého chladicího výkonu tohoto kompresoru poskytuje chladicí výkon tento kompresor. Při potřebě většího chladicího výkonu, než je 5500 W, dojde k odpojení tohoto kompresoru a sepnutí druhého kompresoru na jeho maximální výkon. První jmenovaný kompresor dále reguluje potřebný chladicí výkon nad tuto hodnotu.



**Obr. 5.3** Scroll kompresor YM49E1G

Optimalizací chodu chladicího zařízení lze dosáhnout přesnější regulace teploty což vede ke značné energetické úspoře.

Základní technické údaje kompresoru YM49E1G:

Chladicí výkon:  $Q_o = 4840 \text{ W}$ ,  $t_o = -10 \text{ °C}$

Napětí: 400 V, 3f, 50 Hz

Příkon: 2250 W

Pracovní rozsah:  $t_o = -30 \text{ až } +10 \text{ °C}$

Pro zvolenou kombinaci kompresorů je nutné použít oddělený, vzduchem chlazený kondenzátor. S ohledem na výkon chladicího systému jsem zvolil kondenzátor firmy ROEN EST pro dva ventilátory o průměru 400 mm a jmenovitém výkonu 18,66 kW.

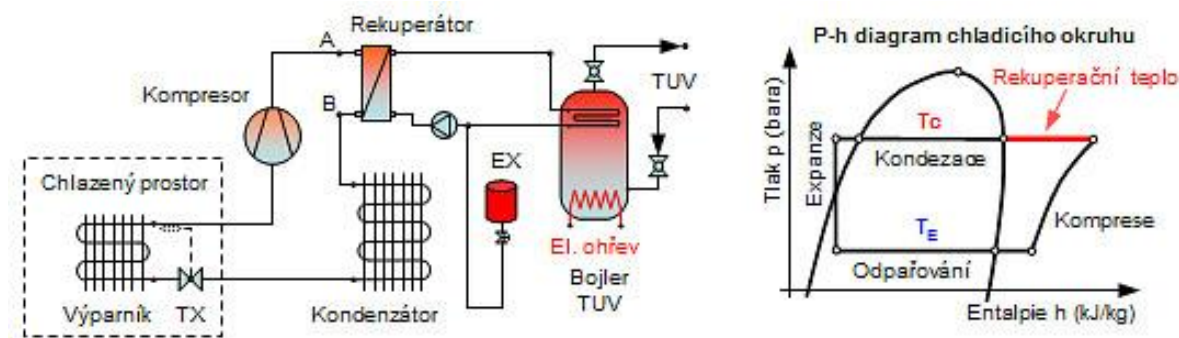
Další velmi důležitou součástí celého chladicího systému je výparník. Dle vypočteného chladicího výkonu 2020 W byl zvolen výparník Luvata EVS 521 ED s elektrickým odtáváním. Nominální chladicí výkon 3290 W a dofuk 4 m dostatečně pokryjí potřeby chlazení v chladicím boxu. Příkon pro pohon ventilátorů je 212 W a příkon pro elektrické odtávání je 1600 W.



**Obr. 5.4** Výparník EVS 521 ED

V navrhovaném chladicím systému restauračního zařízení jsem počítal i s návrhem výměníku pro ohřev TUV. Odebrané teplo z chladicího prostoru bývá ve většině případů rozptýleno do okolí bez jeho dalšího využití. Při zařazení vhodně dimenzovaného výměníku na výtláčnou stranu kompresoru, lze část tohoto tepla získat k dalšímu využití. Přehřáté páry

chladiwa procházející tímto výměníkem předávají teplo ohřívané vodě. Množství takto získaného tepla dosahuje 20 až 30 % chladicího výkonu.



Obr. 5.5 Schéma zapojení výměníku

### 5.3 Zhodnocení návrhu

Při uvažování spodní hranice získaného tepla, dojde k využití 20 %, tj. 1974 W k ohřevu TUV za hodinu provozu. Při uvažované době provozu 16 h denně je tak možné využít 31584 W tepla. Při použití stejného množství elektrické energie k ohřevu TUV a sazbě elektřiny C02d Standard od společnosti ČEZ, je cena za rok ohřevu 43 426,- Kč bez DPH. Vzhledem k pořizovacím nákladů je rekuperaci z chladicího systému je doba návratnosti investice 1–2 roky.

Využitím rekuperace a nespotřebováním elektrické energie dojde ke snížení vyprodukovaných škodlivin za rok o:

- 34,584 kg tuhých látek
- 61,099 kg SO<sub>2</sub>
- 88,766 kg NO<sub>x</sub>
- 7,493 kg CO
- 13 983,658 kg CO<sub>2</sub>

Výše uvedené škodliviny jsou vyprodukovány při výrobě stejného množství elektrické energie v hnědouhelné elektrárně při 65 % odsíření SO<sub>2</sub> a při 98 % odlučivosti filtrů tuhých látek.

## **Závěr**

Ve své diplomové práci jsem se zabýval využitím odpadního tepla z chlazení u chladicích boxů. Vysvětlil jsem základní princip funkce chladicího zařízení, rozdělení chladicích systémů podle jejich vlastností a popsal jsem konkrétní druhy chladicích boxů včetně jednotlivých komponentů chladicích zařízení.

Hlavním cílem práce byl vlastní návrh chladicího zařízení pro konkrétní provozovnu. Při návrhu jsem vycházel z vypočítané energetické bilance a výsledný chladicí výkon jsem ještě ověřil pomocí výpočtového programu. Na základě těchto získaných hodnot jsem také navrhl výměník pro využití odpadního tepla. Součástí návrhu bylo zhodnocení efektivnosti využití odpadního tepla z energetického, ekonomického a ekologického hlediska.

Výpočet úspor jsem provedl s ohledem na stávající sazbu CO<sub>2</sub>d, která je pouze jednotarifová. V případě využití mnou navrženého řešení, u zákazníka využívajícího akumulární spotřebiče, by měla být správně zvolena dvoutarifová distribuční sazba. V tomto případě, se stávající sazbou, budou úspory nižší a návratnost investice se prodlouží.

Závěrem je třeba říci, že nejvíce odpadního tepla máme k dispozici v letních a jarních měsících, kdy pro něj nemáme takové využití. Z tohoto hlediska je využití odpadního tepla pro ohřev (předehřev) teplé užitkové vody další výhodou, která vede ke zvýšení účinnosti kondenzační jednotky v letních měsících, kdy není možné zajistit dostatečnou výměnu čerstvého vzduchu a dochází tak ke snížení chladicího výkonu.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] DVOŘÁK, Zdeněk. *Základy chladicí techniky: celostátní vysokoškolská učebnice pro strojnické fakulty vysokých škol technických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
- [2] Technical Network. *Happy Birthday to Jacob Perkins* [online]. [cit. 11.3.2020]. Dostupné z: <https://twitter.com/Technical%CB%99Nwork/status/1148517385005142018>
- [3] HOCH, Václav. *Chladicí technika*. Brno: VUT, 1992. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0412-4.
- [4] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]*. Přerov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 80-239-0275-x.
- [5] LIŠKA, Michal. *Využití plynového tepelného čerpadla pro vytápění a přípravu teplé vody v objektech bydlení*. Plzeň: 2018. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická.
- [6] Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky. *Chladicí oběh* [online]. [cit. 14.3.2020]. Dostupné z: [http://uzpet.af.mendelu.cz/wcd/w-af-uzpet/soubory-ke-stazeni/chladici\\_obeh.pdf](http://uzpet.af.mendelu.cz/wcd/w-af-uzpet/soubory-ke-stazeni/chladici_obeh.pdf)
- [7] *Výměna tepla v klimatizaci automobilu* [online]. [cit. 11.3.2020]. Dostupné z: <https://www.mjauto.cz/wp-content/uploads/2013/02/vymena-tepla-v-klimatizaci-automobilu.png>
- [8] NĚMEČEK, Jiří. *Porovnání kompresorového a absorpčního chladicího stroje z hlediska účinnosti*. Plzeň: 2014. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta strojní.
- [9] Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. *Ksicht* [online]. [cit. 16.3.2020]. Dostupné z: <http://ksicht.natur.cuni.cz/pdf/ksicht-7-2.a5.pdf>
- [10] Mechanical Power Engineering Department. *Electronics Cooling Methods in Industry* [online]. [cit. 16.3.2020]. Dostupné z: <http://www.pathways.cu.edu.eg/ec/Text-PDF/Part%20C-17.pdf>
- [11] KUČEROVÁ, Eva. *Elektrotechnické materiály*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2002. ISBN 80-7082-940-0.
- [12] RAICHL, Jaroslav. *Seebeckův jev* [online]. [cit. 18.3.2020]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/910-seebeckuv-jev>



- [13] RAICHL, Jaroslav. *Peltierův jev* [online]. [cit. 18.3.2020].  
Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/911-peltieruv-jev>
- [14] RAICHL, Jaroslav. *Thomsonův jev* [online]. [cit. 18.3.2020].  
Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/912-thomsonuv-jev>
- [15] Chladírenský servis Jedlička. *Druhy chladicích boxů* [online]. [cit. 24.3.2020].  
Dostupné z: <https://www.chsjedlicka.cz/mrazici-chladici-boxy-na-miru/chladici-boxy/>
- [16] Chladírenský servis Jedlička. *Izolační PUR panely a desky* [online]. [cit. 24.3.2020].  
Dostupné z: <https://www.chsjedlicka.cz/mrazici-chladici-boxy-na-miru/polyuretanove-izolacni-panely/>
- [17] *Chladicí a klimatizační technika I*. Praha: Svaz chladicí a klimatizační techniky, 2018. Učební texty Svazu CHKT.
- [18] Tech Kostečka. *Jak to funguje* [online]. [cit. 25.4.2020].  
Dostupné z: <http://tech.kostecka.eu/jak-to-funguje/>
- [19] DANFOSS. *Termostatický expanzní ventil* [online]. [cit. 13.5.2020].  
Dostupné z: <https://store.danfoss.com/cz/cs/Chlazen%C3%AD/Ventily/Expanzn%C3%AD-ventily/Termostatick%C3%A9-expanzn%C3%AD-ventily/Termostatick%C3%BD-expanzn%C3%AD-ventil%2C-TGE/p/067N2017>
- [20] Tech Kostečka. *Chladiva* [online]. [cit. 13.5.2020].  
Dostupné z: <http://tech.kostecka.eu/jak-to-funguje/>
- [21] *Chladicí a klimatizační technika II*. Praha: Svaz chladicí a klimatizační techniky, 2015. Učební texty Svazu CHKT.
- [22] Remak a.s. *Vlastnosti vlhkého vzduchu* [online]. [cit. 5.6.2020].  
Dostupné z: <https://www.remak.eu/cs/vlastnosti-vlhkeho-vzduchu>
- [23] JDK s.r.o. *Rekuperace* [online]. [cit. 5.6.2020].  
Dostupné z: <https://www.jdk.cz/sites/default/files/jpg/heatrecoverdiagramCZ.jpg>

## **Příloha A**

Zadání vstupních hodnot do programu Bilance v.2.3

**Tepelná bilance izolovaných prostorů**

Soubor Výpočet! Pohled Strana 1,2! Strana 2,3! Strana 1,3! Nápověda

**Chladicí a mrazicí** **Lékárna.bil**

### Provedení stěn a stropu

Izolační vlastnosti stěn a stropu se stanoví ze součinitele

Tepelné vodivosti  Prostupu tepla

Vnější teplota kolem chlazeného prostoru je všude stejná

Stěny a strop mají stejnou tloušťku izolační vrstvy

Izolační vrstva stěn a stropu je ze stejného materiálu

	Izolační materiál	Tloušťka mm	Teplota °C	Tep. vod. W/mk
Stěna 1	Pěnový polyuretan	60	20	0,0225
Stěna 2	Pěnový polyuretan	60	20	0,0225
Stěna 3	Pěnový polyuretan	60	20	0,0225
Stěna 4	Pěnový polyuretan	60	20	0,0225
Strop	Pěnový polyuretan	60	20	0,0225

**Zboží v chlazeném prostoru:**

Nápoje Pivo Info

Vstupní teplota zboží: 10 °C  
 Výstupní teplota zboží: 5 °C  
 Vnitřní teplota prostoru: 5 °C  
 Vnitřní relativní vlhkost: 65 %  
 Celkové množství skladovaného zboží: 5000 kg  
 Skladování zboží 24 hodin denně: 1000 kg

Dveře izolovaného prostoru vedou mimo budovu  
 Teplota v okolí dveří: 20 °C Relativní vlhkost u dveří: 65 %

Stanovit počet výměn vzduchu v chlazeném prostoru přes dveře při manipulaci se zbožím

### Definice výparníku

Příkon odtávání výparníku: 1500 Watt  
 Příkon ventilátoru: 500 Watt  
 Příkon vyhřívání límců: Watt  
 Počet výparníků: 1

### Systém odtávání

Počet odtávání za 24 hod.: 2  
 Doba odtávání: 0,2 hod

### Ostatní

Příkon strojů v prostoru: 0 Watt  
 Příkon světel: 500 Watt 47,61 Watt/m<sup>2</sup>  
 Doba práce strojů: 0 hod  
 Doba osvětlení: 2 hod Přírůstek na nepřesnost zadání:  
 Doba práce osob: 2 hod  
 Počet osob v prostoru: 1 15 %

**Výpočet se provede na:**

vnitřní  střední  vnější straně izolace

**Tepelná bilance izolovaných prostorů**

Soubor Výpočet! Pohled Strana 1,2! Strana 2,3! Strana 1,3! Nápověda

**Chladicí a mrazicí** **Lékárna.bil**

### Akce: Lékárna - chladicí box pro pivo

Zobraz náskres Rozměry prostoru

Vnitřní šířka prostoru (stěna 1 se dveřmi a stěna 3): 3 m  
 Vnitřní délka prostoru (stěna 2 a 4): 3,5 m  
 Vnitřní výška prostoru: 2,3 m

### Umístění chlazeného prostoru

V nadzemním podlaží Smluvní vnější teplota: °C  
 V podsklepeném přízemí  
 V nepodsklepeném přízemí 10 °C

### Provedení podlahy

Podlaha z panelů včetně pochůzných vrstev  
 Stavebně řešená izolace a pochůzná vrstva  
 Podlaha bez izolační vrstvy

Tloušťka izolační vrstvy podlahy: mm  
 Celková tloušťka stavebně řešené podlahy: mm

Izolační vlastnosti podlahy se stanoví ze součinitele

Tepelné vodivosti  Prostupu tepla

Izolační materiál podlahy:   
 Druh zeminy: Skalnaté podloží

Doba chodu chladicího zařízení při skladování: 16 hod

Intenzita provozu  Dlouhodobé skladování zboží  
 Standardní manipulace se zbožím  
 Intenzivní manipulace se zbožím

### Provedení stěn a stropu

Izolační vlastnosti stěn a stropu se stanoví ze součinitele

Tepelné vodivosti  Prostupu tepla

Vnější teplota kolem chlazeného prostoru je všude stejná

Stěny a strop mají stejnou tloušťku izolační vrstvy

Izolační vrstva stěn a stropu je ze stejného materiálu

	Izolační materiál	Tloušťka mm	Teplota °C	Tep. vod. W/mk
Stěna 1	Pěnový polyuretan	60	20	0,0225
Stěna 2	Pěnový polyuretan	60	20	0,0225
Stěna 3	Pěnový polyuretan	60	20	0,0225
Stěna 4	Pěnový polyuretan	60	20	0,0225
Strop	Pěnový polyuretan	60	20	0,0225

**Zboží v chlazeném prostoru:**

Nápoje Pivo Info

Vstupní teplota zboží: 10 °C  
 Výstupní teplota zboží: 5 °C  
 Vnitřní teplota prostoru: 5 °C  
 Vnitřní relativní vlhkost: 65 %  
 Celkové množství skladovaného zboží: 5000 kg  
 Skladování zboží 24 hodin denně: 1000 kg

## **Příloha B**

Technické údaje panelů Isopan



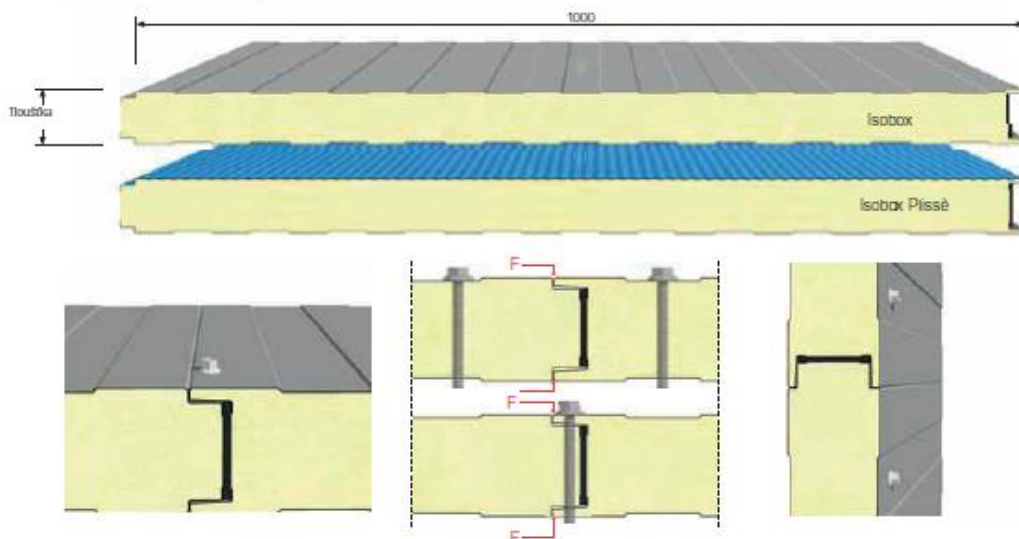
# Isobox Isobox Plissè

Vyrábí se v: Itálii, Německu, Španělsku, Rumunsko

Vyrábí se v: Německu



Stěnový panel se dvěma kovovými pláštěmi, izolovaný polyuretanem. Zámkový spoj typu pero-drážka je na pohled viditelný, s průchozím šroubem. Dostupný v různých typech profilace.



#### INSTRUKCE PRO POUŽITÍ

Jednotlivé způsoby využití panelů či případná itálieomezení jsou popsány v technickém listu dostupném na webových stránkách [www.isopan.com](http://www.isopan.com) v sekci technické listy a v "Doporučení pro montáž trapézových plechů a kovových izolačních panelů".

Isobox - Isobox Plissé



→ Legenda str. 16

**ZATÍŽENÍ ROZPĚTÍ**

OCELOVÉ PLECHY TLOUŠŤKA 0,5 / 0,5 mm - Podpěra 120 mm																
ROVNOMĚRNĚ ROZLOŽENÉ ZATÍŽENÍ	NOMINÁLNÍ TLOUŠŤKA PANELU mm								NOMINÁLNÍ TLOUŠŤKA PANELU mm							
	25	30	40	50	60	80	100	120	25	30	40	50	60	80	100	120
	ROZPĚTÍ MAX cm															
50	220	260	320	380	440	550	640	730	260	300	380	450	520	650	740	800
60	215	240	300	350	410	500	590	680	240	270	340	410	470	590	660	710
80	180	205	260	310	350	440	520	600	200	230	290	350	410	500	550	600
100	155	180	230	275	320	395	470	540	170	200	260	310	360	440	490	510
120	140	165	210	250	290	360	430	490	140	170	230	280	320	390	430	460
140	125	150	190	230	265	330	395	455	130	150	200	250	295	360	390	420
160	115	135	175	210	245	310	370	425	120	130	185	220	265	330	360	385
180	105	125	165	195	230	290	345	400	110	120	160	200	240	305	340	360
200	100	115	155	185	215	270	325	375	100	110	145	180	215	285	315	335

HLINÍKOVÉ PLECHY TLOUŠŤKA 0,5 / 0,5 mm - Podpěra 120 mm																
ROVNOMĚRNĚ ROZLOŽENÉ ZATÍŽENÍ	NOMINÁLNÍ TLOUŠŤKA PANELU mm								NOMINÁLNÍ TLOUŠŤKA PANELU mm							
	25	30	40	50	60	80	100	120	25	30	40	50	60	80	100	120
	ROZPĚTÍ MAX cm															
50	170	200	240	290	330	410	480	550	190	230	290	350	400	490	580	570
60	150	180	230	270	310	380	450	510	175	210	270	320	360	450	530	560
80	135	160	200	240	270	335	390	450	150	185	235	280	320	400	470	540
100	120	145	180	215	245	305	360	400	130	160	210	250	285	360	420	480
120	110	135	165	195	220	280	330	380	120	150	190	225	260	330	390	445
140	105	125	155	185	210	260	310	355	110	135	170	210	240	300	360	410
160	100	115	140	170	195	240	285	335	105	125	160	190	220	280	330	380
180	90	110	135	160	185	230	275	310	95	110	150	180	210	265	310	360
200	85	100	125	150	175	220	260	300	85	100	140	170	195	245	285	335

Statický výpočet pro stanovení rozměrů byl proveden na základě obsahu přílohy E k normě UNI EN 14509. Mez průhybu 1/200 ž.

**HMOTNOST PANELŮ**

TLOUŠŤKA PLECHU mm		NOMINÁLNÍ TLOUŠŤKA PANELU mm									
		25	30	35	40	50	60	80	100	120	
0,4 / 0,4	kg/m <sup>2</sup>	7,3	7,5	7,7	7,9	8,3	8,7	9,5	10,3	11,1	
0,5 / 0,5	kg/m <sup>2</sup>	9,0	9,2	9,4	9,6	10,0	10,4	11,2	12,0	12,8	
0,6 / 0,6	kg/m <sup>2</sup>	10,6	10,9	11,6	11,3	11,7	12,1	12,9	13,7	14,5	



**CHOVÁNÍ VŮČI OHNI**

Informace týkající se chování panelů vůči ohni jsou uvedeny v souhrnném listu, který se nalézá v katalogu nebo na webových stránkách [www.isopan.com](http://www.isopan.com).

**ROZMĚROVÉ TOLERANCE (Podle nové normy EN 14509)**

ODCHYLKY mm	
Délka	L ≤ 3 m + 5 mm L > 3 m + 10 mm D
Užitková šířka	+ 2 mm
Tloušťka	D ≤ 100 mm + 2 mm D > 100 mm + 2 %
Odchylka kolmosti	6 mm
Disallinamento dei paramenti metallici interni	+ 3 mm
Accoppiamento lamiera	F = 0 + 3 mm

Kde L je užitečná délka, D je tloušťka panelů a F je sesazení pišťů

**TEPELNÁ IZOLACE**

Podle nové normy EN 14509 A,10

U	NOMINÁLNÍ TLOUŠŤKA PANELU mm									
	25	30	35	40	50	60	80	100	120	
W/m <sup>2</sup> K	0,83	0,70	0,61	0,54	0,44	0,37	0,28	0,22	0,19	
kcal/m <sup>2</sup> h °C	0,71	0,60	0,52	0,46	0,38	0,32	0,24	0,19	0,16	

Podle překonané metody výpočtu EN ISO 6946

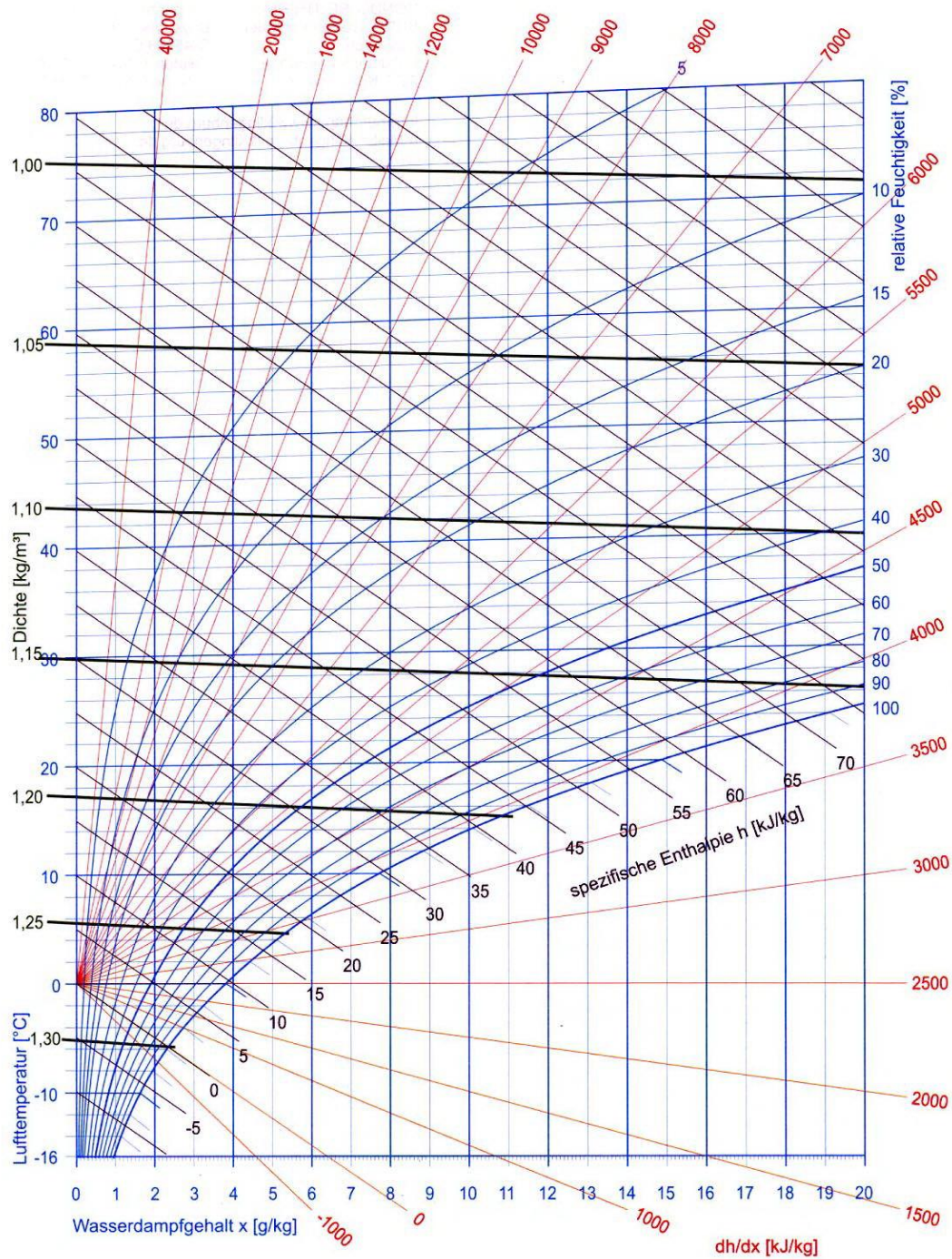
K	NOMINÁLNÍ TLOUŠŤKA PANELU mm									
	25	30	35	40	50	60	80	100	120	
W/m <sup>2</sup> K	0,75	0,64	0,56	0,50	0,40	0,34	0,26	0,21	0,18	
kcal/m <sup>2</sup> h °C	0,67	0,57	0,49	0,44	0,35	0,30	0,23	0,18	0,15	

STĚNOVÉ PANELE

## **Příloha C**

Mollierův h-x diagram závislosti vlhkosti vzduchu a teploty při izobarických dějích

Mollier-h,x-Diagramm für feuchte Luft für p = 1 bar





## **Příloha D**

Výpočet tepelné bilance z programu Bilance v.2.3

VSTUPNÍ HODNOTY :

Vnitřní délka (stěna 2 a 4)	[m]	3,50
Vnitřní šířka (stěna 1 se dveřmi a 3)	[m]	3,00
Vnitřní výška	[m]	2,30
Provedení podlahy :		
podlaha bez izolační vrstvy provedena před stavbou panelu		
Prostor je umístěn V nepodsklepeném přízemí		
Pod neizolovanou podlahou je skalnaté podloží		
Vnitřní teplota prostoru	[°C]	5,00
Vnitřní relativní vlhkost	[%]	65,00
Teplota v okolí dveří	[°C]	20,00
Relativní vlhkost vnějšího vzduchu v okolí dveří	[%]	65,00
Druh provozu zařízení : Skladování zboží 24 hodin denně		
Intenzita provozu : Standardní manipulace se zbožím		
Doba chodu chladicího zařízení	[hod]	16,00
Druh zboží : Nápoje - Pivo		
Celkové množství skladovaného zboží	[kg]	5000,00
Měrné množství zboží celkem	[kg/m <sup>3</sup> ]	207,04
Denní obrat zboží	[kg/den]	1000,00
Měrný denní obrat zboží	[kg/m <sup>3</sup> ]	41,41
Vstupní teplota zboží	[°C]	10,00
Výstupní teplota zboží	[°C]	5,00
Příkon osvětlení chlazeného prostoru	[W]	500,00
Předpokládaná doba osvětlení prostoru	[hod]	2,00
Počet osob v prostoru	[-]	1,00
Doba práce osob	[hod]	2,00
Příkon motoru jednoho ventilátoru	[W]	500,00
Počet ventilátorů chladičů vzduchu	[-]	1,00
Příkon odtávání výpamíku	[W]	1500,00
Příkon vyhřívání límců	[W]	
Předpokládaná doba odtávání	[hod]	0,40
Příkon strojů v prostoru	[W]	0,00
Předpokládaná doba práce strojů	[hod]	0,00
Součinitel bezpečnosti výpočtu	[-]	1,15

VÝSLEDNÉ HODNOTY :

Stěna	tloušťka mm	lambda W/m*K	teplota °C	k W/m <sup>2</sup> *K	q W/m <sup>2</sup>	plocha m <sup>2</sup>	prostup tepla kJ/den
1.	60,00		20,0	0,370	5,55	7,13	3418,88
2.	60,00		20,0	0,370	5,55	8,29	3977,52
3.	60,00		20,0	0,370	5,55	7,13	3418,88
4.	60,00		20,0	0,370	5,55	8,29	3977,52
Strop	60,00		20,0	0,370	5,55	10,89	5223,70
Podlaha - bez izolace -			10,0	2,182	10,91	10,89	10266,47

Užitečný objem prostoru	[m <sup>3</sup> ]	24,15
Plocha podlahy prostoru	[m <sup>2</sup> ]	10,50
1. Celkový prostup tepla izolacemi	[kJ/den]	30282,98
2. Zisky výměnou vzduchu dveřmi	[kJ/den]	17281,54
3. Tepelné zisky osvětlením prostoru	[kJ/den]	3600,00
4. Tepelné zisky prací osob v prostoru	[kJ/den]	1735,71
5. Tepelné zisky motoru ventilátoru	[kJ/den]	28800,00
6. Tepelné zisky odtáváním	[kJ/den]	2160,00
7. Tepelné zisky prací strojů v chlazeném prostoru	[kJ/den]	0,00
8. Dýchací teplo zboží celkem	[kJ/den]	0,00
9. Celkové tepelné zisky skladování	[kJ/den]	83860,23
10. VÝKON pro pokrytí ztrát skladování	[W]	1455,91
11. Druh zboží : Nápoje - Pivo Celkové teplo pro ochlazení zboží	[kJ]	19050,00
12. VÝKON pro ochlazení zboží	[W]	330,73
13. Celkový výpočtový instalovaný výkon	[W]	1786,64
14. CELKOVÝ INSTALOVANÝ VÝKON	[W]	2054,63
15. Optimální rozdíl teplot TD na výparníku	[°C]	12,0
Doporučená vypařovací teplota To	[°C]	-7,0
Měrný výkon	[W/cbm]	85,1

Výpočtová plocha prostupu tepla izolacemi :  
střední

## **Příloha E**

Výkresy výčepních pultů



