

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Chlazení s využitím obnovitelných zdrojů

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marek PENA**
Osobní číslo: **E11B0110P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Chlazení s využitím obnovitelných zdrojů**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Vypracujte návrh chladících prostor pro skladování nápojů s využitím obnovitelných zdrojů.

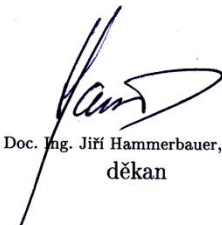
1. Porovnejte energeticky a technicky jednotlivé možnosti chlazení používané v průmyslových procesech.
2. Navrhněte chladící prostor pro malý pivovar a skladování piva před jeho načepováním s využitím obnovitelných zdrojů.
3. Porovnejte energetické nároky, finanční nároky na jednotlivé typy chlazení.
4. Proveďte měření na reálné aplikaci malého pivovaru.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


1. **Backstrom, Matts. Technika chlazení, SNTL 1959**
2. **Dvořák, Zdeněk. Chladicí technika - ČVUT, Fakulta strojní**
3. **Faltýnek Jiří - Sklepy v zahradě**

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Emil Dvorský, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na chlazení s využitím obnovitelných zdrojů. Text je rozdělen do čtyř částí. První se zabývá historií chlazení, principy a druhy chlazení, druhá část popisuje energetické a finanční nároky na jednotlivé typy chlazení. Třetí a čtvrtá část jsou části, které se zabývají praktickou stránkou. Třetí část popisuje návrh chladicích prostor pro malý pivovar a skladování piva před jeho načepováním; ve čtvrté části je popsáno měření na reálné aplikaci malého pivovaru.

Výstupem práce je zhodnocení a porovnání moderních typů chlazení s chlazením za pomoci obnovitelných zdrojů.

Klíčová slova

Chlazení v průmyslových procesech, sklep pro chlazení, chladicí prostor malého pivovaru, skladování piva, finanční a energetické nároky pro jednotlivé typy chlazení, měření na reálné aplikaci malého pivovaru.

Abstract

This work is focused on cooling with use of renewable sources. The text is divided into four parts. The first section deals with history of cooling, principles and types of cooling. The second part describes energy and financial requirements of different types of cooling. The third and fourth parts are the parts where the practical aspect is dealt with. The third part describes a concept of a walk-in refrigerator for a small brewery and beer storage before tapping; the fourth section describes the measurement of a real application in a small brewery. The outcome of this work is to evaluate and compare modern types of cooling with types using renewable sources.

Key words

Cooling in industrial processes, cooling cellar, the walk-in refrigerator for a small brewery, beer storage, financial and energy requirements for different types of cooling, measurement using a real application of a small brewery.

Prohlášení

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

.....

podpis

V Plzni dne 5.6.2015

Marek Pena

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Emilu Dvorskému, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Poděkování také patří Petru Buchsbaumovi za výpomoc při měření a poskytnuté rady.

Poděkování dále náleží i mé rodině, která mě podporovala po celou dobu studia.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 TEORETICKÁ ČÁST	11
HISTORIE CHLAZENÍ	11
VYUŽITÍ CHLADÍCÍCH PROCESŮ	12
PRINCIPY A DRUHY CHLAZENÍ (LEVOTOČIVÉ TERMODYNAMICKÉ OBĚHY)	16
1.1 KOMPRESOROVÉ CHLAZENÍ	16
1.2 ADSORPČNÍ CHLAZENÍ	18
1.3 TERMOELEKTRICKÉ CHLAZENÍ	18
<i>Termoelektrické jevy</i>	18
1.3.1 Peltierův jev	19
1.3.2 Peltierův článek	19
1.3.3 Termoelektrický článek	20
1.3.4 Thomsonův jev	21
1.3.5 Seebeckův jev	22
1.4 ABSORPČNÍ CHLAZENÍ	23
PRACOVNÍ LÁTKY POUŽÍVANÉ PRO CHLADÍCÍ TECHNIKU	26
1.5 CHLADÍCÍ SMĚSI	26
1.5.1 Fyzikální vlastnosti chladicích směsí	26
1.5.2 Chladicí směsi z vody nebo sněhu s jednou solí	26
1.5.3 Chladicí směsi z vody a dvou solí	27
1.5.4 Chladicí směsi z ledu nebo sněhu a dvou solí	28
1.6 CHLADIVA	29
1.6.1 Fyzikální vlastnosti chladiv	29
2 ENERGETICKÉ A FINANČNÍ SROVNÁNÍ CHLAZENÍ	31
2.1 ENERGETICKÉ SROVNÁNÍ ÚČINNOSTI	31
2.2 ABSORPČNÍ CHLAZENÍ	31
2.2.1 Absorpční chladicí zařízení (lednice)	32
2.2.2 Absorpční chlazení pro průmysl	32
2.3 KOMPRESOROVÉ CHLAZENÍ	33
2.3.1 Porovnání kompresorového a absorpčního chladicího systému	33
<i>Porovnání kompresorových chlazení</i>	34
2.4 TERMOELEKTRICKÉ CHLAZENÍ	35
2.5 VÝPOČET ÚČINNOSTI ABSORPČNÍHO CHLAZENÍ COP	36
2.6 VÝPOČET ÚČINNOSTI KOMPRESOROVÉHO CHLAZENÍ COP	38
3 NÁVRH CHLADÍCÍHO PROSTORU	40
4 MĚŘENÍ NA REÁLNÉ APLIKACI	42
TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	45
ZÁVĚR	47
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	49

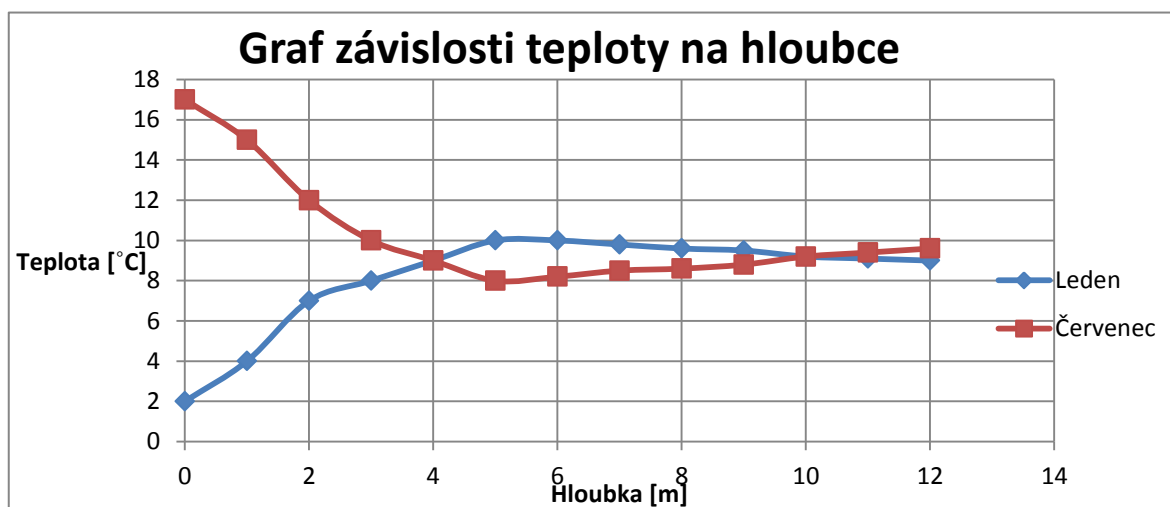
Seznam symbolů a zkratek

CO_2	Oxid uhličitý
c	Měrná tepelná kapacita [kJ /kg °C]
$C\vartheta$	Tepelná kapacita [J/K]
E	Spotřeba energie [kWh]
Q_a	Tepelný výkon z cyklu odváděný v absorberu [W]
Q_k	Tepelný výkon z cyklu odváděný [W]
Q_o	Tepelný výkon cyklem odebíraný [W]
Q_t	Topný tepelný výkon přiváděný do cyklu ve vypuzovači [W]
Q	Teplo [J]
I	Proud [A]
LTO.....	Lehký topný olej – palivo
m_A, m_B	Hmotnosti [kg]
m	Hmotnost [kg]
N	Polovodič s vodivostí elektronů
P	Polovodič s vodivostí děr
P	Výkon [W]
t_1, t_2, T	Teploty [° C]
$\tau\vartheta$	Teplotní časová konstanta
U	Napětí [V]
V	Objem chladiče [m ³]
W_e	Mechanický výkon do cyklu přiváděný [W]
W	Práce [J]
α_{12}	Seebeckův koeficient
ε_{ch}	Chladicí faktor chladicí jednotky

Úvod

V dnešní době se chlazení dělí na několik typů. Existují již moderní metody jako levotočivé kompresorové či absorpční chlazení, kde se mění teplota, tlak a tím i skupenství kapaliny. Teplo, které vznikne, buď odvedeme, nebo naopak využijeme k vytápění. Na druhé straně jsou metody známé už několik desetiletí, u kterých se využívá obnovitelných zdrojů.

Cílem této práce bude porovnat moderní typy chlazení s chlazeními, které využívají obnovitelných zdrojů. Konkrétní zaměření této práce je porovnat chlazení, které ochlazuje pivo před natočením a má určitou energetickou náročnost, se sklepním prostorem umístěným v zemi, kde není využito žádné energetické náročnosti. Sudy s pivem v dané chladicí místnosti chceme ochladit na teplotu 6 – 8 °C a poté je rovnou potrubím čepovat do pivního stojanu. Teplota ve sklepu je dána teplotou okolní hmoty v zemi. Na přiloženém grafu je vidět průběh teplot v červenci a v lednu, kdy se mění teplota v závislosti na hloubce v zemi. Ideální je proto umístit sklep do hloubky čtyř metrů, kde je minimalizován vliv teploty na povrchu.



Graf 1 Závislost teploty na hloubce v zemi [17]

Pokud sudy umístíme do dané hloubky ve sklepu, kde je teplota kolem 7 °C, sudy s pivem vydrží až 3 měsíce, pokud jsou však pasterizované a nejsou naražené. Naopak, když pivo narazíme na výčepní zařízení, musíme ho, když tlakujeme vzduchem, zkonsumovat do 3 dnů a při využití CO₂ do 2-3 týdnů. V této práci proto bude porovnána i doba, za kdy se sudy s pivem v různých podmínkách vychladí. Nejedná se tedy o zrání piva, pouze o vychlazení a spotřebu.

1 Teoretická část

Historie chlazení

Prvním důvodem pro vývoj chlazení z technického hlediska byla úschova potravin. Lidé, kteří obývali střední zeměpisná pásma učinili již v dávných dobách objev, jímž bylo prodloužení trvanlivosti potravin. Jelikož věděli, že na rozdíl od letních měsíců jim v zimě potraviny vydržely delší dobu. Postupně také začali využívat další prostředky, a to led a sníh. [1]

Používat led nebo sníh se začalo v Evropě ve starověkém Římě, kde Římané zpracovávali sníh z Alp a chladili jím potraviny v chladících místnostech. [1]

Rozvoj techniky v polovině 19. století způsobil výrobu průmyslového chladu za pomoci strojního zařízení. [1]

Jedním z prvních, kteří se zajímali o průmyslový vývoj chlazení byl americký občan Oliver Evans, který poprvé popsal parní oběh, a to v roce 1805. Právě na něho v roce 1835 navázal američan Jacob Perkins, který si nechal patentovat zařízení s etylénem, jenž fungovalo na ruční pohon. Princip byl v tom, že se použily látky, které lehce dosáhly bodu varu, a ty se aplikovaly na výrobu chladu, kde vypařovaná látka byla nucena kondenzovat a následně byla opět odpařena. Až v roce 1855 nahradil ruční pohon australan James Harrison, který jako hybnou sílu použil parní stroj. [1]

Další vývoj chlazení je už poznamenán novými chladivými látkami jako čpavek, oxid uhličitý, metylchlorid nebo látky novější jako např. freon, frigen apod. [1]

Využití chladících procesů

V době kdy ještě nebylo možné používat dnešních moderních chladících zařízení, musely pivovary, ale i hospody a hostince najít způsob, jak udržet pivo stále dobře vychlazené. V případě Plzeňského prazdroje byla jeho ideální teplota přibližně 7 °C. Pivo se proto chladilo ve sklepech za pomoci ledu vytěženého v zimních měsících z rybníků a řek. [2]



Obrázek 1 Těžení ledu z Vltavy pro pivní sklepy (převzato z [29])

V hostincích se pivo čepovalo přímo ve sklepu, kde se načepovalo do džbánů či do jiné nádoby a odneslo se vychlazené na stůl. Později se pivo rozvádělo do výčepu trubkami a pod výčepem byl umístěn truhlík s ledem, skrze který procházely trubky s pivem, a pivo se tím dochlazovalo těsně před načepováním. Tato doba však není úplně vzdálená, poslední ledová kra pro plzeňský pivovar byla vytěžena před necelými třiceti lety. [3]



Obrázek 2 Sklepy Měšťanského pivovaru v Plzni (převzato z [2])

I v dnešní době se používají pro chlazení obnovitelné zdroje. Sudy jsou umístovány do sklepů či chladících místností, kde se teplota pohybuje kolem $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, díky vlivu teploty okolí, kde v dané hloubce je nižší teplota než na povrchu. V tomto případě mluvíme o teple odvedeném. Jako příklad můžeme uvést sud piva, který je umístěn v místnosti pod povrchem Země. Teplota piva je t_1 a teplota v místnosti je t_2 . Místnost je oproti sudu s pivem nekonečně velké těleso, tak se za určitou dobu T teplota sudu piva sníží na teplotu okolí, jelikož je dané teplo z malého tělesa odvedeno do okolí a teploty se po určité době vyrovnají. [3]

Když, ale chceme teplotu měnit uměle, je nutné použít dnešní moderní zařízení, jako jsou levotočivé stroje, kde teplotu snížíme nebo zvýšíme tím, že přivedeme technickou práci. Možností chlazení je proto v dnešní době mnoho. Chlazení mohou být statická, což jsou robustnější zařízení umístěná na jednom místě nebo mobilní, která se snadno přesunou na místo potřeby. V hospodách a malých pivovarech jsou sudy například umístěny v chladicím boxu, který využívá principu konkrétního levotočivého systému chlazení. Poté jsou piva ještě dochlazována těsně před načepováním. [4]

Když mluvíme o chlazení, je nutné se zmínit o tepelné kapacitě látky. Což je schopnost látky přijmout nebo odevzdat teplo. Hodnota daného tepla se vypočte z následujícího vzorce:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (1)$$

Kde:

Q – teplo [J]

m – hmotnost [kg]

c – měrná tepelná kapacita [kJ /kg °C]

Δt - rozdíl teplot [°C]

Pokud je hodnota měrné tepelné kapacity menší, je v dané látce lepší vodivost tepla (kovy, kapaliny), naopak pokud je hodnota c větší, jedná se o horší vedení tepla v dané látce (izolanty – vakuum, vzduch, dřevo). Použití vztahu je uvedeno v příkladu níže.

Kolik tepla jsme dodali 5l vody při zahřátí z 20°C na bod varu vody?

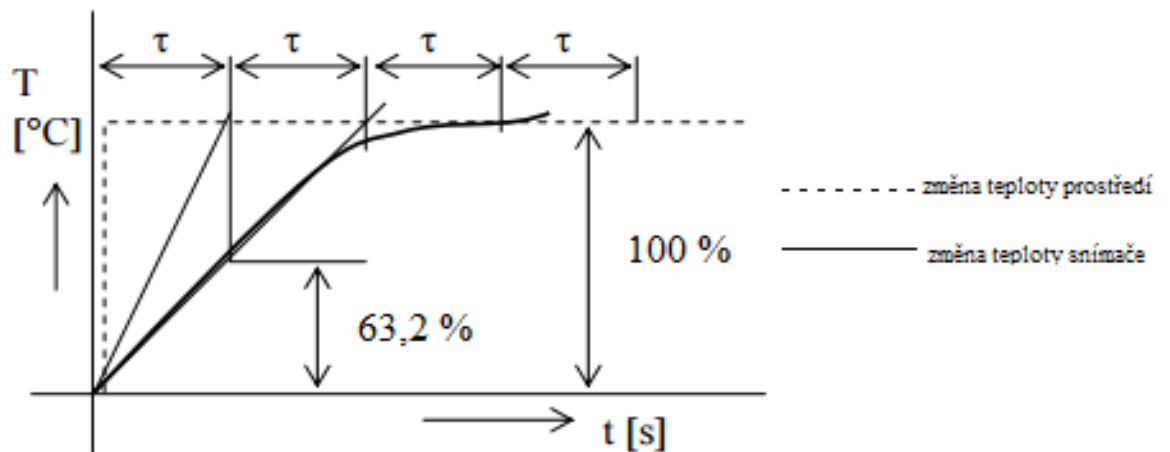
V = 5l; potom m = 5kg (hmotnost vody při hustotě 1000kg/m³); t₁ = 20°C, t₂ = 100°C (bod varu vody); c = 4,2kJ/kg°C (měrná tepelná kapacita vody)

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = 5\text{kg} \cdot 4,2\text{kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (100 - 20^\circ\text{C}) = 1680\text{kJ}$$

Teplo dodané při tepelné výměně bylo 1680kJ. [3]

Teplotní časová konstanta

Další důležitou veličinou je teplotní časová konstanta ($\tau\theta$). Časová konstanta je doba, za kterou by snímač teploty nabyl, stejné teploty jakou má teplota měřeného prostředí, kdyby rychlost změny jeho údaje byla stejná jako na počátku. [6]



Obrázek 3 Grafická vyjádření průběhu oteplovací křivky snímače teploty[6]

Příklad: Stanovte, za jakou dobu dosáhne teplota ustáleného stavu.

Podle katalogu je chladič vyroben z hliníkového plechu síly 2,5 mm, plocha je 35 cm².

Objem chladiče je $V = s \cdot t = 35 \cdot 0,25 = 8,75 \text{ cm}^3$;

Hmotnost chladiče $m = \rho \cdot V = 2,7 \cdot 8,75 \approx 24 \text{ g}$

Tepelná kapacita $C\theta = c \cdot m = 895 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 21,4 \text{ J/K}$

Časová konstanta $\tau\theta = C\theta \cdot R\theta = 21,4 \cdot 6 = 128,4 \text{ s} \approx 2 \text{ min}$

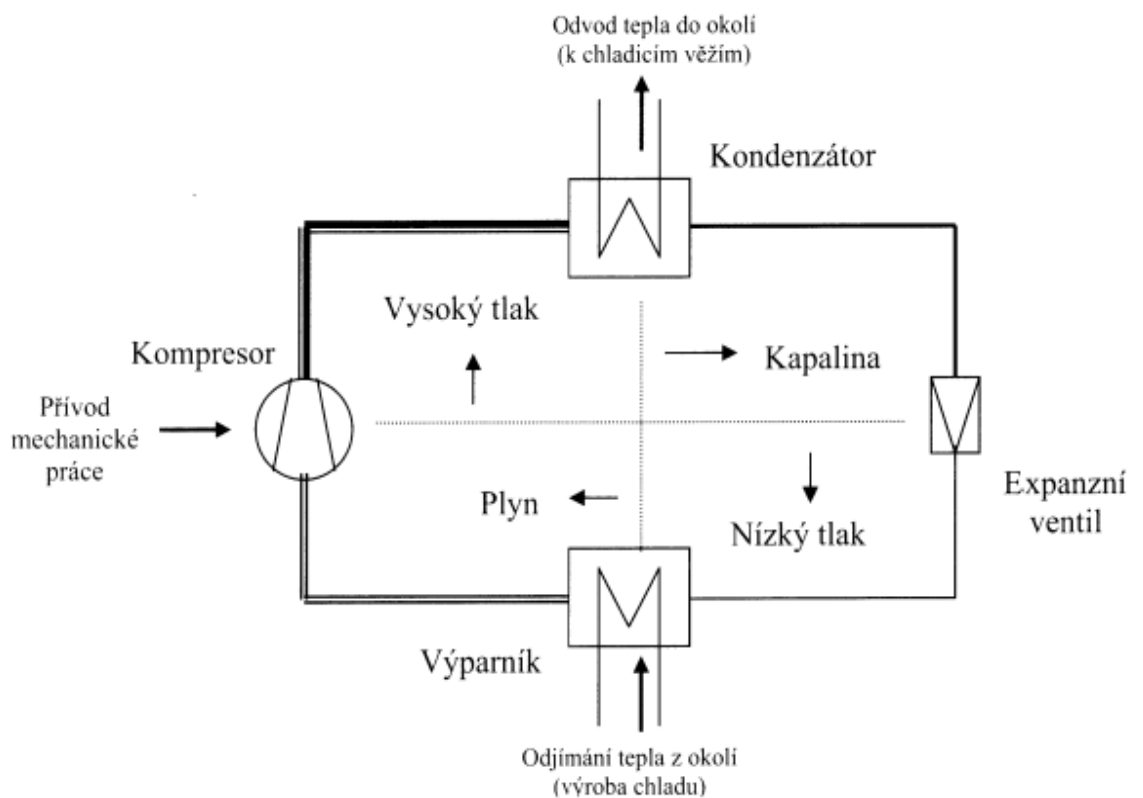
Ustálený stav je dosažen po 3 - 5 $\tau\theta$, teplotu můžeme brát jako ustálenou za 6 - 10 min [6]

Principy a druhy chlazení (levotočivé termodynamické oběhy)

Teoretický základ čerpá chladicí technika ze zjištěných poznatků technické termomechaniky. Oběhy rozdělujeme na pravotočivé a levotočivé. Chladicí oběhy jsou levotočivé termodynamické cykly. Obecně se tento cyklus definuje jako uzavřený děj, při kterém látka s kterou pracuje, prochází několika termodynamickými ději. Probíhají proti směru hodinových ručiček, a aby fungovaly, je nutné přivádět do cyklu určitou práci. [1]

1.1 Kompresorové chlazení

Princip tohoto chlazení je založen na chladicím cyklu s názvem Rankin - Clausiův cyklus. Zařízení na kompresní chlazení je složeno z kompresoru, expanzního ventilu, kondenzátoru a výparníku, což je vidět na obrázku číslo 4, kde je schematicky zobrazen kompresorový chladicí cyklus. [1]

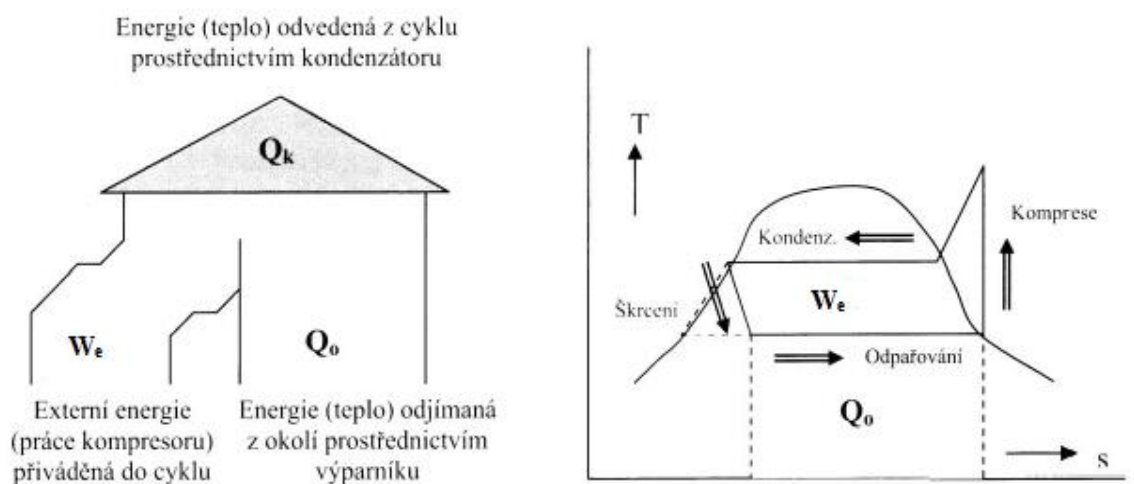


Obrázek 4 Technologické schéma kompresorového chlazení (převzato z [8])

Cyklus kompresorového chlazení probíhá ve čtyřech fázích:

- Komprese – pracovní látka je v suchém a parním stavu stlačena kompresorem na vysoký tlak, čímž se zvyšuje zároveň i její teplota.
- Kondenzace – pracovní látka se při vysokém tlaku kondenzátoru ochladí na nízkou teplotu (teplo předáno do okolí – je většinou odváděno vodními nebo vzduchovými chladiči), poté dochází k jejímu přechodu do kapalné fáze (při konstantní teplotě kondenzace cca 35 °C).
- Expanze – pracovní látka v kapalné formě o vysokém tlaku jde skrz expanzní ventil, kde se po expanzi na nízký tlak vstříkuje do výparníku.
- Odpar – pracovní látka se následkem nízkého tlaku ve výparníku odpaří, čímž dojde k odběru tepla z okolí (výroba chladu). Dále je odpařena pracovní látka při nízkém tlaku a teplotě a opakovaně nasávána kompresorem a celý cyklus se opakuje. [5]

Energetické bilance a toky jsou vidět na Sankeyově diagramu a na T-s diagramu, jak je patrné na následujícím obrázku č. 5. [5]



Obrázek 5 Sankeyův a T-s diagram cyklu kompresorového chlazení [8]

Termodynamická bilance tohoto cyklu vychází z rovnosti energie přivedené a odvedené. [5]

$$Q_k = Q_o + W_e [W] \quad (2)$$

Kde:

Q_k - Tepelný výkon z cyklu odváděný (kondenzátorem) [W]

Q_o - Tepelný výkon cyklem odebíraný (výparníkem) [W]

W_e - Mechanický výkon do cyklu přiváděný (kompresorem) [W] [5]

1.2 Adsorpční chlazení

Adsorpční chlazení je již poměrně delší dobu známá technologie. Základem této teorie je, že chladivo, většinou amoniak, je adsorbováno pevným adsorbentem. Obvykle se jedná o chlorid vápenatý, a je uvolňováno při jeho ohřátí. Amoniak v plynné formě se uvolní, změní za zvýšeného tlaku v kondenzátoru skupenství plynné na kapalné a přitéká do výparníku. V něm se odpařuje teplem, které se odebírá z okolí, a které tím ochlazuje. Vznikne pára, a ta proudí do adsorbéru, kde je adsorbentem adsorbována. Teplo, které zde vzniká, je odváděno pryč. Jedná se o opakující se oběh. Setkat se můžeme i s transportními chladničkami na principu adsorpčního chlazení, které nepotřebují zdroj energie na místě chlazení. Chladící médium se na příhodném místě oddělí zahřátím a odloučí se od adsorbentu. Transportováno je odděleně a navrátí se, až když je chlazení potřeba. Takto fungují například samochladící sudy na pivo. [25, 26]

1.3 Termoelektrické chlazení

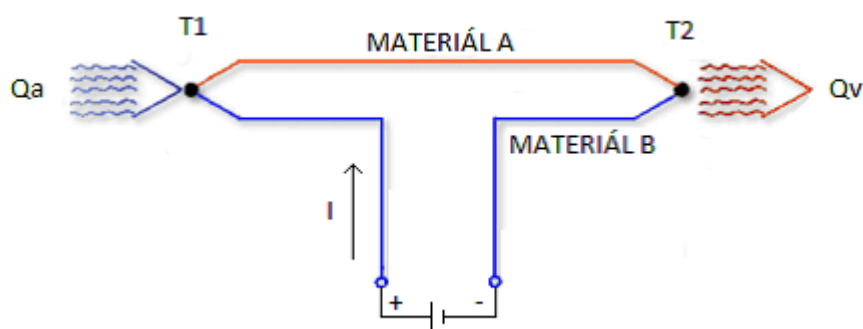
Termoelektrické chlazení se nachází ve skupině takzvaného elektronového chlazení, kde se využívá vzniku teplotního gradientu v materiálech, na které působí elektrická síla popřípadě i magnetické pole. [7]

Termoelektrické jevy

Mezi základní termoelektrické jevy se řadí: Peltierův jev, Seebeckův jev a Thomsonův jev. [7, 11]

1.3.1 Peltierův jev

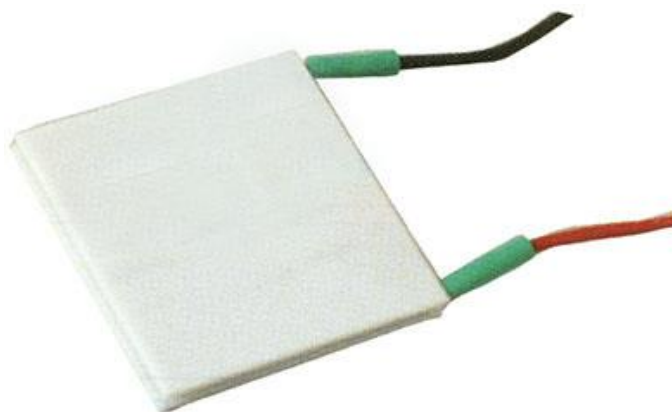
Vědec-amatér Jean Charles Athanase Peltier (1834) objevil Peltierův jev. Jedná se o působení napětí U [V] ve vodivých materiálech, které způsobuje urychlení elektronů. Pohybem elektronů vznikne potenciální a kinetická energie. Následkem je průtok proudu od kladného pólu k zápornému a teplotní rozdíl ΔT , mezi záporným a kladným pólem. Peltierův jev se dá definovat takto: Protéká-li proud vodivým nehomogenním obvodem, vzniká na jednom ze spojů ochlazení a na druhém ohřev. Jedná se o opak Seebeckova jevu. [7]



Obrázek 6 Peltierův jev (převzato z [19])

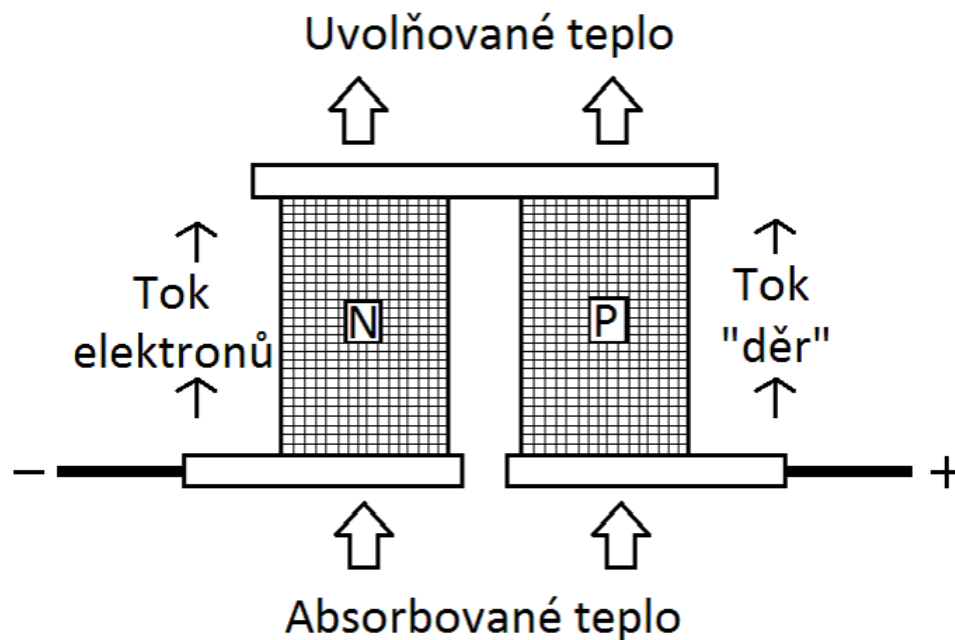
1.3.2 Peltierův článek

Peltierův článek (obrázek 7) neboli termočlánek slouží pro snímání při měření teploty. Jedná se o elektronickou součástku, která se skládá ze dvou polovodičových látek, které jsou každá jiného typu. Při dané polaritě dochází vlivem stejnosměrného proudu k ochlazení. Naopak když připojíme stejnosměrný proud opačné polaritě, tak se bude teplota zvyšovat. [10]



Obrázek 7 Peltierův článek (převzato z [13])

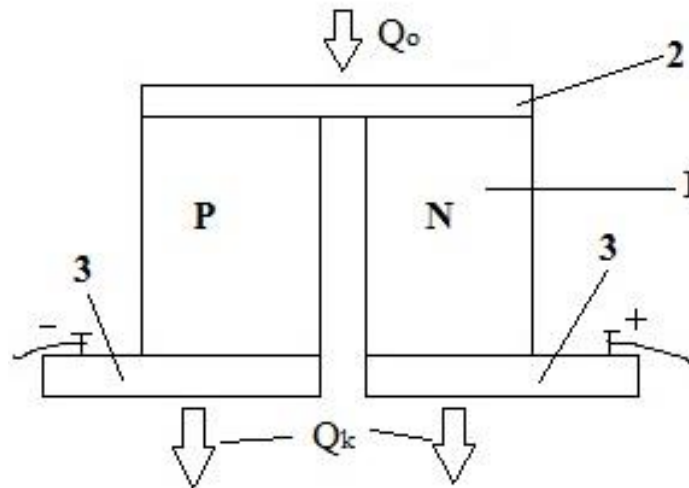
Složení a princip Peltierova článku můžeme vidět na obrázku 8. Nachází se tam dva válečky opačné vodivosti. To znamená jeden typu N a druhý typu P. Ty jsou propojeny můstkem z kovu. Při připojení zdroje napětí vykonávají elektrony při přechodu práci. Následně dojde ke zmenšení rychlosti a k odběru tepelné energie. Článek se poté ochlazuje v místě dotyku. Při opačné orientaci se zahřívá. [4]



Obrázek 8 Princip Peltierova článku (převzato z [9])

1.3.3 Termoelektrický článek

V polovodičových materiálech se přenos energie uskutečňuje dvěma způsoby. U tzv. materiálů typu P (nedostatkových, pozitivních, deficitních akceptorů) pohybem „děr“, což jsou nosiče kladného náboje. Pohybují se ve vnějších vrstvách elektronů od záporného ke kladnému pólu. V materiálu typu N (přebytkové, negativní donory) se přenos energie realizuje pohybem spousty volných elektronů základního materiálu nebo dobře zvolených přísad od kladného pólu k zápornému. Při spojení dvou materiálů N a P se dosáhne největšího efektu, když v obou materiálech nastane intenzivní odtok energie od jednoho jejich spoje. Jedná se o základní myšlenku konstrukce termoelektrických článků. Skutečné provedení článku je znázorněno na obrázku 9. [7]



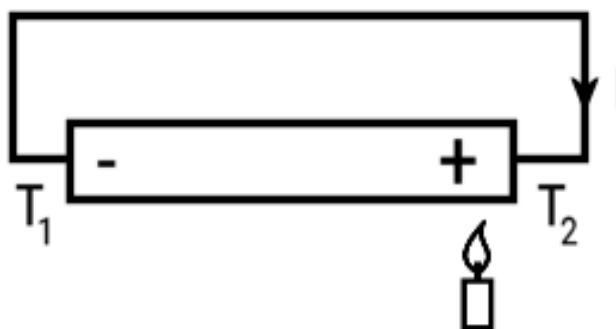
Obrázek 9 Termoelektrický článek (převzato z [7])

- 1 – sloupek z polovodičového materiálu
- 2 – měděná spojka studené strany
- 3 – měděná spojka teplé strany
- Q_o – teplo absorbované
- Q_k – teplo vyzařované
- P – polovodič s vodivostí děr
- N – polovodič s vodivostí elektronů [7]

1.3.4 Thomsonův jev

Thomsonův jev byl objeven v roce 1851 Williamem Thomsonem. Vzniká po zahřátí kovové tyče, kterou neprochází elektrický proud. Tam, kde je kovová tyč zahřívána, vzniká symetrické teplotní maximum. Poté je do tyče puštěn elektrický proud, což má za následek posunutí teplotní křivky. [11, 14]

Z pohledu vodivostní teorie je Thomsonův jev způsobený zvyšováním energie elektronů, k čemuž dochází odběrem tepla od mřížky na rostoucí straně teplotního maxima a odevzdáváním přebytku tepla na klesající straně. [14]



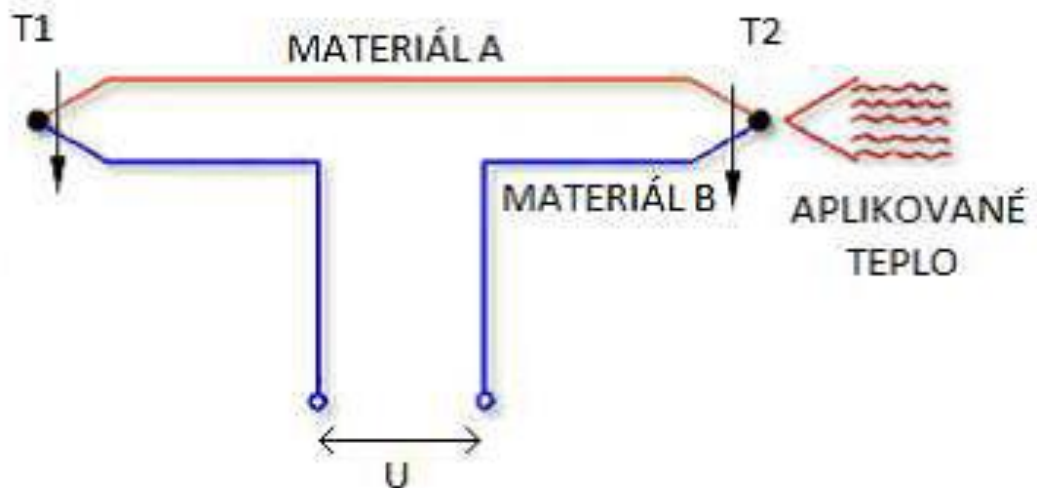
Obrázek 10 Pozitivní Thomsonův jev (převzato z [14])

1.3.5 Seebeckův jev

Seebeckův jev se vyskytuje u dvou vodičů A a B, které mají udržovanou teplotu jejich spojů na dvou různých teplotách $T_1 > T_2$. Tento jev objevil estonsko-německý fyzik Thomas Johann Seebeck v roce 1821. V obvodu, který je na obrázku 11, začne protékat proud. Seebeckův jev se projeví vznikem termoelektrického napětí, které je určeno rozdílem kontaktních napětí, která vzniknou na obou spojích jednotlivých kovů. [15] [16]

Proto platí: $\Delta U = U_{12}(T_2) - U_{12}(T_1)$. Indexy obou kontaktních napětí mají stejnou hodnotu. Jsou to dvě napětí, která vzniknou na rozhraní stejných kovů. Jedno kontaktní napětí je vyšší než druhé pouze vlivem rozdílů teplot obou spojů. [15] [16]

Když jsou teplotní rozdíly teplot T_1 a T_2 obou spojů malé, přibližně se potom rovná lineární závislost termoelektrického napětí na teplotě: $\Delta U = \alpha_{12}(T_2 - T_1) = \alpha_{12} \Delta T$, kde α_{12} je Seebeckův koeficient (také termoelektrický koeficient); $[\alpha_{12}] = \text{V} \cdot \text{K}^{-1}$. Seebeckův koeficient je vždy závislý na dané dvojici kovů. Termoelektrické napětí je pak závislé na teplotním rozdílu a na materiálech. Není závislé na způsobu vedení tepla v daném materiálu, ani na rychlosti ohřevu materiálu. [15] [16]



Obrázek 11 Seebeckův jev (převzato z [19])

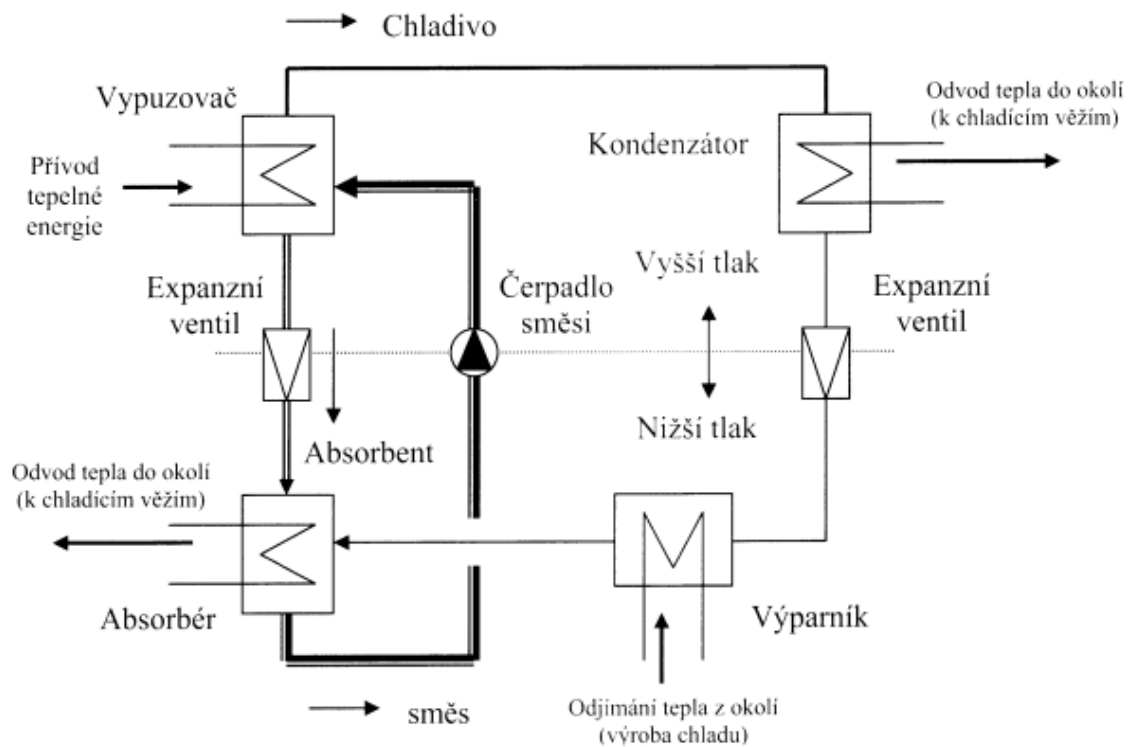
1.4 Absorpční chlazení

Na rozdíl od kompresorového chlazení, kde je pro výrobu chladu používána mechanická rotační práce, zde je využito teplo jako primární energie pro výrobu chladu. Může zde být využito teplo z horké vody nebo z páry, anebo přímo horké spaliny a to podle zvolené technologie. Lze použít i přímo vytápěné stroje pro produkci tepla, která spalují LTO, bioplyn nebo zemní plyn. Aplikace těchto strojů je výhodná tehdy, když je k dispozici dostatek tepla s nižšími parametry tzn. teplo o parametrech, které nelze použít k pohonu parních turbín. Chladicí látka není stlačena mechanicky, je pouze absorbována do absorpční látky při nízké teplotě. V tomto cyklu jsou zapotřebí dvě látky, a to chladivo (vypařuje se a kondenzuje) a absorbent (absorbující páry). [5]

Absorpční cyklus je sestaven z těchto fází:

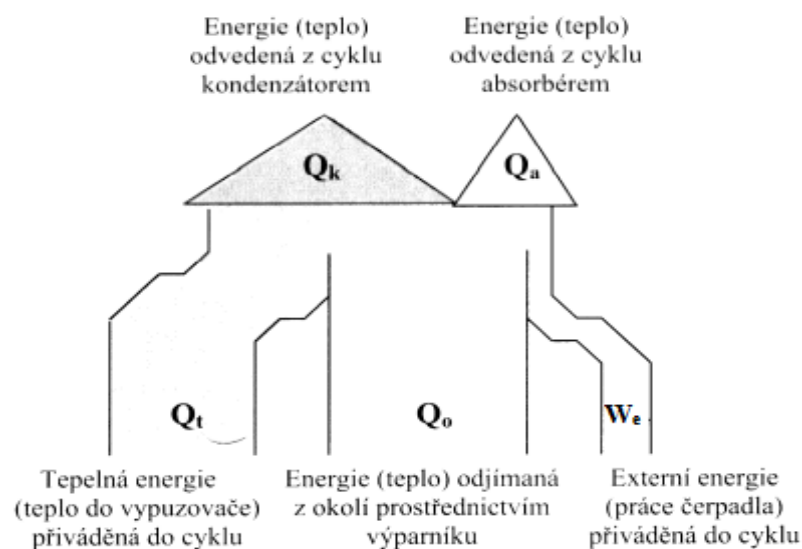
- Vypuzování – směs absorpční látky a chladiva (bohatá směs) je čerpadlem směsi v kapalně formě podávána do generátoru (vypuzovač). Přívodem tepelné energie do vypuzovače je směs ohřívána a postupně je z ní vypařeno chladivo (látka s nižší teplotou varu), ta je v plynné formě odváděna do kondenzátoru. Zbylá neodpařená absorpční látka (chudá směs) je vedena do absorbéru.
- Kondenzace – chladivo v kondenzátoru při vyšším tlaku je ochlazováno na nízkou teplotu (předává teplo okolí – je odváděno zpravidla vodním nebo vzduchovým chladičem), toto způsobuje přechod do kapalně fáze.
- Expanze – pracovní látka v kapalně formě a o vysokém tlaku prochází skrz expanzní ventil, kde expanduje na nízký tlak a je vstříkována do výparníku.
- Odpar – pracovní látka v důsledku nízkého tlaku je ve výparníku odpařována, dochází tím k odběru tepla z okolí (výroba chladu). Poté je odpařená pracovní látka při nízkém tlaku a teplotě odváděna do absorbéru.
- Absorpce – v absorbéru se setkávají páry chladiva z výparníku s kapalným absorbentem (ten má snížený tlak). V důsledku nízkého tlaku a ochlazování

(odvod tepla do okolí, které vzniká při přechodu chladiva z plynné fáze do kapalné) dochází k pohlcování par chladiva absorpční látkou. Bohatá směs absorbentu a chladiva je poté za pomoci čerpadla směsi znovu dávkována do vypuzovače. [5]



Obrázek 12 Technologické schéma absorpčního chlazení (převzato z [8])

Energetická bilance absorpčního chladicího cyklu je zřejmá ze Sankeyova diagramu znázorněného na obrázku č. 13. [5]



Obrázek 13 Sankeyův diagramu (převzato z [8])

Termodynamická bilance absorpčního chladicího cyklu vychází z rovnosti přiváděné energie s energií odváděnou [5] :

$$Q_k + Q_a = Q_t + Q_o + W_e \quad [W] \quad (3)$$

Kde:

Q_k – Tepelný výkon z cyklu odváděný v kondenzátoru [W]

Q_a – Tepelný výkon z cyklu odváděný v absorbéru [W]

Q_t – Topný tepelný výkon přiváděný do cyklu ve vypuzovači [W]

Q_o – Tepelný výkon cyklem odebíraný ve výparníku [W]

W_e - Mechanický výkon čerpadla směsi do cyklu přiváděný [W] [5]

Vhodné kombinace látek (chladicí médium a chladivo) pro absorpční chlazení jsou v praxi: roztok bromid lithný/ voda – nad 0 °C, chladivem je voda a absorbentem bromid lithný. Anebo roztok čpavek/ voda – pro teploty pod 0 °C, tam je chladivo čpavek a absorbent voda. Jedná se o kombinaci nutnou k mrazení. [18]

Pracovní látky používané pro chladicí techniku

1.5 Chladicí směsi

Chladicí směsi jsou v systémech s nepřímým chlazením využívány jako teplonosné látky, které přenáší chlad a případně slouží k jeho akumulaci. Teplonosná látka je látka, jejíž oběh je umístěn mezi oběh chladiva a chlazené látky. Tato látka nemění svoje skupenství. [1]

1.5.1 Fyzikální vlastnosti chladicích směsí

Chladicí směs, o které lze říci, že je ideální, má mít nízkou viskozitu a vysokou měrnou tepelnou kapacitu. Nesmí během pracovního cyklu měnit chemické skupenství teplonosné látky. Chladicí směs dále nesmí způsobovat vznik koroze chladicího systému. Teplonosná látka by měla mít také nízkou hustotu. [18]

Teplonosné látky lze rozdělit:

- na směsi ze solných roztoků
- na směsi s ledem a některými solemi
- na vodní roztoky organických látek [18]

1.5.2 Chladicí směsi z vody nebo sněhu s jednou solí

Směs je namíchána ze 100g vody, sněhu či ledu. Do této směsi je přidáno určité množství soli. Množství soli je závislé na účelu chlazení a také na tom o kolik stupňů chceme dané zařízení ochlazovat. Každá ze solí ochlazuje o jinou hodnotu, což lze vidět v tabulce číslo 1. [18]

Tabulka 1 Tabulka chladících směsí s vodou či sněhem a jednou solí [20]

Název látky (sůl)	Chemická značka	m_A/g	$\Delta t/^\circ C$	m_B/g	$t/^\circ C$
Chlorid vápenatý	CaCl ₂	126,9	23,2	42,2	-55
Chlorid železnatý	FeCl ₂	-	-	49,7	-55
Chlorit hořečnatý	MgCl ₂	-	-	27,5	-33,6
Chlorid sodný	NaCl	36	2,5	30,4	-21,2
Síran amonný	(NH ₄) ₂ SO ₄	75	6,4	62	-19
Dusičnan sodný	NaNO ₃	75	18,5	59	-18,5
Dusičnan amonný	NH ₄ NO ₃	60	27,2	45	-17,3
Chlorid amonný	NH ₄ Cl	30	18,4	25	-15,8
Chlorid draselný	KCl	30	12,6	30	-11,1
Thiosíran sodný	Na ₂ S ₂ O ₃	70	18,7	42,8	-11
Síran hořečnatý	MgSO ₄	41,5	8	23,4	-3,9
Dusičnan draselný	KNO ₃	16	9,8	13	-2,9
Uhličitan sodný	Na ₂ CO ₃	14,8	9,1	6,3	-2,1
Síran draselný	K ₂ SO ₄	12	3	6,5	-1,6
Octan sodný	CH ₃ COONa	51,1	15,4	-	-

Když smícháme m_A gramů soli se 100g vody o teplotě mezi 10 až 15°C, dojde ke snížení teploty směsi o $\Delta t/^\circ C$. [18]

Když smícháme m_B gramů soli se 100g sněhu nebo ledu, teplota směsi bude $t/^\circ C$. [18]

1.5.3 Chladící směsi z vody a dvou solí

Směs se skládá ze 100g vody, do které jsou vmíchány dvě soli. Záleží, jaká kombinace dvou solí se použije. Příklady jsou uvedeny v tabulce číslo 2. [18]

Tabulka 2 Tabulka chladících směsí s vodou a dvěma solemi [20]

Kombinace dvou solí	1 sůl	Množství [g]	2 sůl	Množství [g]	$\Delta t/^{\circ}\text{C}$
$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaNO}_3$	NH_4Cl	22	NaNO_3	51	9,8
$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{KNO}_3$	NH_4Cl	29	KNO_3	18	10,6
$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NaNO}_3$	NH_4NO_3	72	NaNO_3	60	17
$\text{NH}_4\text{SCN} + \text{KNO}_3$	NH_4SCN	82	KNO_3	15	20,4
$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{KNO}_3$	NH_4Cl	31,2	KNO_3	31,2	27
$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$	NH_4NO_3	100	Na_2CO_3	100	35
$\text{NH}_4\text{SCN} + \text{NaNO}_3$	NH_4SCN	84	NaNO_3	60	36
$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KSCN}$	NH_4NO_3	13	KSCN	146	39,2
$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{SCN}$	NH_4NO_3	54	NH_4SCN	83	39,6

Když smícháme určité množství směsi dvou odlišných solí, které jsou uvedeny v tabulce 2, ve 100g vody o teplotě 15°C , dojde ke snížení teploty o $\Delta t/^{\circ}\text{C}$. [18]

1.5.4 Chladící směsi z ledu nebo sněhu a dvou solí

Směs určená pro chlazení se v tomto případě skládá ze 100g sněhu nebo ledu, ve kterém jsou rozpuštěny dvě soli. Je zapotřebí, aby sůl i sníh, případně led byly v jemných zrnkách, která se v tomto stavu i míchají. Každá kombinace solí se hodí na různá stádia snížení teploty. [18]

Tabulka 3 Tabulka chladících směsí s ledem nebo sněhem a dvěma solemi [20]

Kombinace dvou solí	1 sůl	Množství (g)	2 sůl	Množství (g)	$\Delta t/^\circ\text{C}$
KCl + KNO₃	KCl	24,5	KNO ₃	4,5	11,8
KNO₃ NH₄Cl	KNO ₃	13,5	NH ₄ Cl	26	17,8
KCl + NH₄Cl	KCl	12	NH ₄ Cl	19,4	18
NaNO₃ + KNO₃	NaNO ₃	62	KNO ₃	10,7	19,4
NaNO₃ + (NH₄)₂SO₄	NaNO ₃	62	(NH ₄) ₂ SO ₄	69	20
NH₄Cl + NH₄NO₃	NH ₄ Cl	18,8	NH ₄ NO ₃	44	22,1
NH₄Cl + (NH₄)₂SO₄	NH ₄ Cl	12	(NH ₄) ₂ SO ₄	50,5	22,5
KNO₃ + NH₄N₃NO₃	KNO ₃	9	NH ₄ NO ₃	74	25
NH₄NO₃ + NaNO₃	NH ₄ NO ₃	52	NaNO ₃	55	25,8
NH₄Cl + NaCl	NH ₄ Cl	20	NaCl	40	30
NH₄Cl + NaNO₃	NH ₄ Cl	13	NaNO ₃	37,5	30,7
KNO₃ + NH₄Cl	KNO ₃	38	NH ₄ Cl	13	31
KNO₃ + KSCN	KNO ₃	2	KSCN	112	34,1
NH₄SCN + NaNO₃	NH ₄ SCN	39,5	NaNO ₃	55,4	37,4
NH₄NO₃ + NaCl	NH ₄ NO ₃	41,6	NaCl	41,6	40

Když smícháme určité množství směsi dvou různých solí uvedených v tabulce 3, ve 100g ledu nebo sněhu, teplota se sníží o $\Delta t/^\circ\text{C}$. [18]

1.6 Chladiva

Chladiva jsou chemické látky používané v tepelném cyklu, kde se mění fázově z plynu na kapalinu a zpět. Chladiva v chladicím okruhu při nízké teplotě a tlaku teplo přijímají a obráceně při vyšší teplotě a tlaku teplo odevzdávají. Při daném přijímání a odevzdávání tepla se mění skupenství chladiva. Při přijímání tepla se chladivo vypařuje a při odvádění tepla chladivo kondenzuje. Pouze u vody, která je tak výjimkou, se skupenství nemění. [18]

1.6.1 Fyzikální vlastnosti chladiv

Důležité u chladiv jsou vhodné termodynamické vlastnosti. To znamená vhodný tlak a teplota vypařování. Bod varu by se měl ideálně blížit hodnotě cílové teploty. Látka musí být

bezpečná a nesmí mít korozivní účinky. Další vlastnosti jsou vysoké výparné teplo, vysoká kritická teplota, velká tepelná kapacita, nízká hustota v kapalně formě a naopak v plynné formě poměrně vysoká hustota. Což je vidět v tabulce číslo 4. V některých případech je nutné, aby byla látka dobrým elektrickým izolantem. [18]

Tabulka 4 Druhy chladiv [20]

Chladivo	Označení	Chemický vzorec	Směs (%)	Teplota varu/normální tlak	ODP ¹	GWP ²	Poznámka
Čpavek	R717	NH ₃		-33,7	0	0	Výbušný, jedovatý
Etylen	R1150	C ₂ H ₄		-103,5	0		Hořlavý
Etan	R170	C ₂ H ₆		-88,6	0	3	Hořlavý, výbušný
Propan	R290	C ₃ H ₈		-42	0	3	Hořlavý, výbušný
Oxid uhličitý	R744	CO ₂		-78,5	0	1	
Voda		H ₂ O		99,6			
Etanová řada	R125	CHF ₂ CF ₃		-48,1	0	2800	
	R134a	CH ₂ FCF ₃		-26,2	0	1300	
	R143a	CH ₃ CF ₃		-47	0	3800	
Metanová řada	R12	CCl ₂ F ₂		-29,8	1	8500	Zakázaný
	R22	CHClF ₂		-40,8	0,06	1700	Pouze pro servis
	R32	CH ₂ F ₂		-51,7	0	650	
Směsi	R404A	R-125/143a/134a	44/52/4	-46,5 až -45,7	0	3260	
	R407C	R-32/125/134a	25/15/60	-39,4 až -32,7	0	1420	
	E410A	R-32/125	50/50	-51,6 až -51,5	0	1720	
	R502	R-22/115	48,8/51,2	-45,4	0,33	4400	
	R507A	R-125/143a	50/50	-46,7	0	3300	

¹ ODP (Ozone Depleting Potential) – Potenciál poškozovat ozónovou vrstvu

² GWP (Global Warming Potential) – Potenciál způsobovat klimatické změny [20]

2 Energetické a finanční srovnání chlazení

2.1 Energetické srovnání účinnosti

Pokud chceme zhodnotit, jak hospodárně zařízení funguje, zavádíme pojem tzv. účinnost stroje. Za chodu stroje jsou překonávány odporové síly vznikající důsledkem smykového tření, valivého odporu a odporu prostředí. To má za následek brzdění stroje. Celková energie dodaná stroji musí být proto větší než práce užitečná. Účinnost zařízení informuje o poměru dodaného výkonu, tzv. příkonu P a užitečně odevzdaného výkonu P' . Účinnost stroje η (éta) poté definujeme vztahem: [21]

$$\eta = \frac{P'}{P} [\%] \quad (4)$$

Účinnost je pokaždé menší než jedna. Pokud hodnotu účinnosti vynásobíme 100, dostaneme hodnotu účinnosti v procentech. [21]

Strojní zařízení se může skládat z několika různých částí, které mohou mít různou účinnost. Výsledná účinnost se vypočítá násobkem dílčích účinností jednotlivých částí. [21]

2.2 Absorpční chlazení

Kogenerační chladicí jednotky, kde kogenerace je způsob přeměny energie současně na dva produkty, a to na elektrickou energii a obvykle na teplo s vysokou účinností, se dají rozdělit na dva různé druhy. Adsorpční a absorpční, a to podle použitého sorpčního materiálu. Komerčně více využívaný a rozšířený je systém využívající absorpčního chlazení. Použití je rozsáhlé. Nejvíce se využívá v klimatizačních systémech budov. Jako hlavní důvod, proč použít právě tento systém, je fakt, že jsou zde nižší pořizovací náklady a dosahuje se vyšší provozní účinnosti. Jednoduše lze říci, že čím více využijeme tepelnou energii v absorpčním stroji, tím je v takovém zařízení účinnost vyšší. Účinnost absorpčního chlazení může dosáhnout až hodnoty 89%. Absorpční chlazení je podstatně výkonnější v porovnání s termoelektrickým chlazením a je jen o něco méně výkonné než systém kompresorového chlazení. [18]

2.2.1 Absorpční chladicí zařízení (lednice)

Výkon se u absorpčních chladicích zařízení pokaždé liší. Důležité je na co chceme chladicí zařízení použít. V normálním použití se u absorpčních ledniček výkon pohybuje zhruba od 75 W výš, viz tabulka 5. [18]

Tabulka 5 Seznam absorpčních ledniček [18]

Označení	Cena [Kč]	Výkon [W]	Příkon [W]	U _{max} [V]	Účinnost [%]
Dometic RM 123	13 000	75	135	230	55,55
Dometic Combi Cool RF60	9 000	110	160	230	68,75
Dometic A 803K	12 000	120	170	230	70,58
Dometic RMS 8400	27 000	125	175	230	71,42
Dometic RGE 2000	24 000	135	180	230	75
Průměr	17 000	113	164	230	68,26

2.2.2 Absorpční chlazení pro průmysl

Zde je při chlazení zapotřebí, aby byla hodnota výkonu velmi vysoká, a to kvůli větším rozměrům v průmyslu. Výkon se pohybuje od 35 kW až do 18 000 kW. V nízkých výkonech umí dnes úplně nahradit kompresorové chlazení. Pokud zmíníme velké výkony, tak tam kompresorové chlazení nemá oproti absorpčnímu chlazení z hlediska ekonomického žádný význam. [18]

Nejjednodušší absorpční systém je jednostupňový s jedním absorbérem a s jedním generátorem. Výhodou jsou nižší investiční náklady do zařízení. Použitím víceúrovňových absorbérů poté zvyšuje výkon samotného systému. Zvyšují se ale i investiční náklady. Použití je pouze pro velmi vysoké výkony. [18]

Teplou vodou poháněné absorpční chladiče:

- Od 35 kW do 6000 kW – jednostupňový s teplotou vody od 75° C až do 140° C
- Od 200 kW do 12000 kW – dvoustupňový s teplotou vody nad 140° C [18]

Párou poháněné absorpční chladiče:

- Od 350 kW do 6000 kW – jednostupňové, s tlakem pro přívod páry od 0,5 bar (g) až do 3,5 bar (g)
- Od 60000 kW do 12000 kW – dvoustupňové, s tlakem na přívod páry od 4,0 bar (g) až do 10 bar (g) [18]

Plynem poháněné absorpční chladiče:

- Ve výkonech od 160 kW do 4000 kW chladicí výkon

Spalinami nebo odpadním teplem poháněné absorpční chladiče:

- Ve výkonech od 100 kW do 12000 kW chladicí výkon [18]

2.3 Kompresorové chlazení

Jedná se o nejvíce výkonný a nejrozšířenější systém chlazení, který v současné době existuje. Je také nejpoužívanějším typem chlazení, používá se téměř všude, kde je zapotřebí chladit. Příkladem je chlazení zimních stadionů se čpavkem jako pracovní látkou. [5]

2.3.1 Porovnání kompresorového a absorpčního chladicího systému

Absorpční jednotky se oproti kompresorovým odlišují tím, že potřebují vcelku malá čerpadla pro dosažení velkých rozdílů, zatímco kompresorové cykly stlačují páry, což je energeticky i výkonově více náročné. Avšak kompresorové zařízení má daleko lepší účinnost než je tomu u absorpčních. Tento pohled na účinnost je ovšem zkreslen, jelikož bere v úvahu pouze výrobu chladu. Do celkové účinnosti je nutné ještě zahrnout účinnost na zdroji energie, tj. účinnost výroby tepelné energie a také výroby elektrické energie. Pokud bereme v úvahu jen chladicí faktor, pak ze srovnání vychází o daleko lépe kompresorový cyklus. Jistou nevýhodou absorpční varianty je její vyšší finanční nákladnost na pořízení, která by se však měla vrátit v podobě obecně udávané delší životnosti. [5]

Na zimním stadionu je z hlediska spotřeby energie absorpční chlazení přibližně 6x lepší, tzn., že při stejné ceně elektrické energie cca 4,75 Kč/kWh je v přepočtu cena 1 GJ cca 1 320 Kč. [18]

Při 6x větší spotřebě energie, by byla srovnatelná cena tepla 220 Kč/GJ. Do provozních nákladů je nutné zahrnout také náklad na zvýšenou spotřebu vody apod., to znamená, že by cena tepla musela být hluboko pod 200 Kč/GJ, aby byly roční provozní náklady srovnatelné s kompresorovým chlazením. [18]

Z hlediska spotřeby vody je spotřeba u absorpčního chlazení přibližně dvakrát větší. Co se týká prostorových nákladů, je vlastní absorpční chladicí jednotka asi o 30% náročnější. Z hlediska hmotnosti je to 80% až 100% a navíc je nutné mít na velkém prostoru umístěny chladicí věže. [18]

Porovnání kompresorových chlazení

Zde jsou porovnána dvě relativně levná a malá zařízení na chlazení, a to chladicí box a lednice, která fungují na principu kompresorového chlazení. Je u nich uvedeno na jakou teplotu je možné jejich obsah vychladit, viz tabulka 6. Další dvě zařízení jsou na rozdíl od nich mnohem mohutnější a využívají se spíše pro velké prostory. Rozdíl mezi těmito dvěma zařízeními je, že u prvního typu LEW 636 DS je využito vodou chlazeného kompresoru a chladicí věže. Typ LSE 658 CS zase používá vzduchem chlazený kompresor. Je u nich uveden chladicí faktor a cena je zde pochopitelně vyšší. [5]

Tabulka 6 Porovnání kompresorových chlazení [5] [24]

Typ	Příkon [W]	Váha [kg] / rozměry [cm]	Ochlazení / chladičí faktor	Cena [Kč]
Kompresorový chladičí box	65	31/ 79 x 55,5 x 50	10 až -18 °C	32 000
Kompresorová lednice	40	19/ 38 x 53,4 x 44,7	5 až -18 °C	19 000
Kompresorová jednotka s vodou chlazeným kompresorem + chladičí věž (LEW 636 DS)	138 400	2 100 353 x 120 x 158	Chladičí faktor 5,11	1 960 000
Kompresorová jednotka se vzduchem chlazeným kompresorem (LSE 658 CS)	227 500	4 482 507 x 225 x 265	Chladičí faktor – 2,78	1 950 000

2.4 Termoelektrické chlazení

Ačkoliv jsou chladiče využívající termoelektrické chlazení známé a využívané více jak půl století, jejich účinnost je menší než například u zařízení využívající kompresorové chlazení. Proto se termoelektrické chlazení používá hlavně tehdy, když není jiná srovnatelná alternativa. [18]

Pro tuto část srovnání byly vybrány Peltierovy články s cenou nad 500 Kč. V této kategorii bylo vybráno pět článků, kde je vypsán jejich výkon, proud a napětí. Z násobku proudu a napětí byl dopočítán příkon. A z podílu vypočteného příkonu a výkonu byla spočítána účinnost. [18]

Vybrané Peltierovy články nad 500 Kč

V této kategorii Peltierových článků nad 500 Kč, viz tabulka 7, se ukázal jako nejúčinnější článek TEC1-12730HT s účinností cca 76 %. Nejméně účinný byl článek AI-077, účinnost u něj je přibližně 50 %. Celková průměrná účinnost poté byla cca 61 %. [18]

Tabulka 7 Peltierovy články nad 500 Kč [18]

Označení	Cena (Kč)	Výkon (W)	Příkon (W)	U _{max} (V)	I _{max} (A)	Účinnost (%)
AI-077	1800	90	180	60	3	50
TEC-12730	989	267	486	16,2	30	54,94
TEC1-12715HTS	795	150	240,24	15,4	15,6	62,44
AI-198-2.0x2.0-1.0	1132	260	414	23	18	62,8
TEC1-12730HT	1174	360	472,78	15,4	30,7	76,15
Průměr	1178	225,4	358,6	26	19,46	61,23

2.5 Výpočet účinnosti absorpčního chlazení COP

U absorpčních jednotek se daná účinnost hodnotí pomocí koeficientu COP, ten se vypočítá jako poměr získaného výkonu v podobě chlazení s potřebným přivedeným výkonem ve formě tepla v topné vodě. [5]

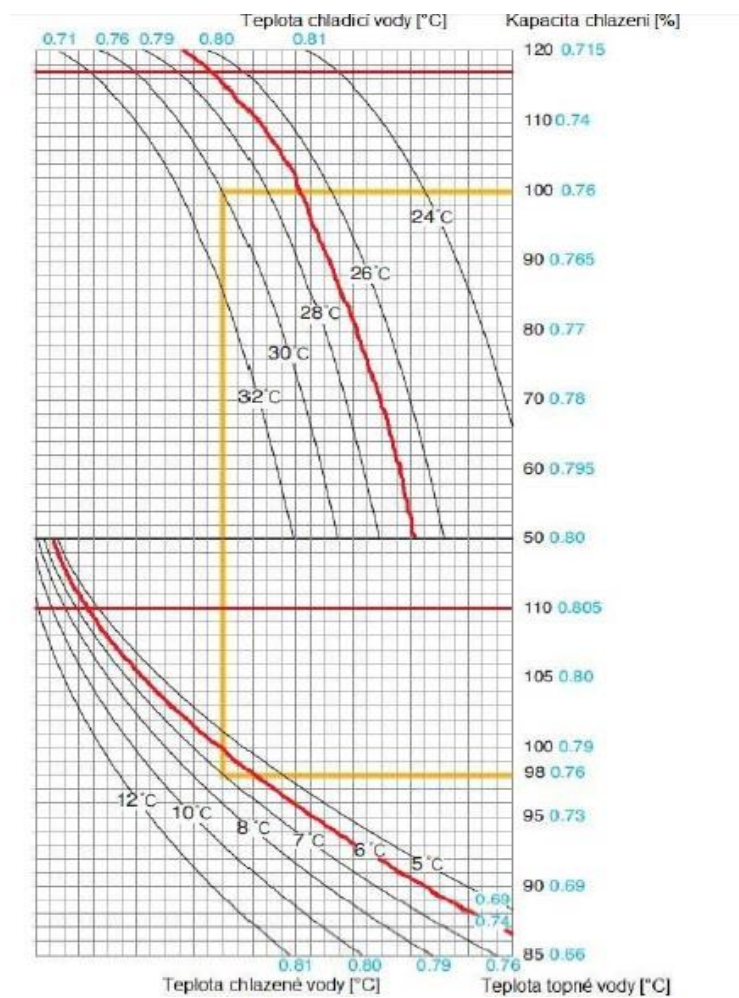
Diagram, který je na obrázku číslo 14, určuje pouze možnosti pro jednostupňové absorpční jednotky, u kterých se používá horká voda jako zdroj teplené energie. Na diagramu jsou žlutou čarou označeny referenční hodnoty. Jednotlivé popisky, které jsou zde uvedené, popisují odpovídajícím černě vyznačeným údajům. Účinnost COP je poté označena modře. Diagram popisuje závislost čtyř parametrů (teplota, kapacita chlazení, teplota chlazené vody, teplota topné vody). Z nich je potřeba zvolit tři parametry. Čtvrtý parametr se dá odvodit z příslušných křivek. Termín kapacita chlazení, je uvedena v procentech a udává výkon ve vztahu k jednotlivým výkonovým modelům konkrétního typu absorpční jednotky. V tabulce 8 uvažujeme návrhové parametry dané absorpční jednotky. Uvedená hodnota kapacity chlazení je v tomto případě 117 %. V tomto případě budou všechny čtyři provozní parametry na sobě

nezávislé, z čehož vyplývá, že nedojde ke vzájemnému protnutí křivek. Daný výpočet účinnosti bude tedy přibližný vzhledem ke vzájemnému nesouladu parametrů. [5]

Tabulka 8 Návrhové parametry pro absorpční jednotku varianty D[5]

Parametr	Hodnota
Požadovaný výkon	600 kW
Teplota chladicí vody na vstupu	27 °C
Teplota chlazené vody na výstupu	6 °C
Teplota topné vody na vstupu	110 °C

Obecně se při znalosti všech čtyř parametrů získaných z diagramu, účinnost stanoví jako aritmetický průměr čtyř hodnot COP. Tyto hodnoty jsou zobrazeny modře hned vedle hodnoty příslušného parametru. [5]



Obrázek 14 Diagram pro výpočet účinnosti [12]

Pro stanovení účinnosti byly zvoleny všechny čtyři parametry, těm přísluší dané hodnoty COP, jak je uvedeno v tabulce číslo 9. Ty byly odečteny z diagramu na obrázku 14. [5]

Tabulka 9 Hodnoty COP pro absorpční jednotku varianty D[5]

Parametr	Hodnota	COP
Kapacita chlazení	117 %	0,7225
Teplota chladicí vody na vstupu	27 °C	0,795
Teplota chlazené vody na výstupu	6 °C	0,74
Teplota topné vody na vstupu	110 °C	0,805

Výsledná přibližná hodnota COP: $COP = \frac{0,7225+0,795+0,74+0,805}{4} \cong 0,766$

2.6 Výpočet účinnosti kompresorového chlazení COP

U kompresorového chlazení je porovnávací parametr pro účinnost hodnota COP, kterou udává výrobce. Vyjadřuje účinnost při plném zatížení. Např. pokud je účinnost rovna 6, znamená to, že na 1 kW dodaného příkonu v podobě elektrické energie připadá 6 kW výkonu chlazení. [5]

Výpočet pro kompresorový oběh bude proveden na zjednodušeném modelu oběhu chladiva v cyklu. Proto se nebudeme zabývat účinností kompresoru, ani účinností přenosu tepla ve výměnících a nebudeme započítávat různé ztráty ve vedení. V souladu se zákony termodynamiky platí pro kompresorový okruh následující vztah: [5]

$$Q_k = Q_o + W_e [W] \quad (5)$$

Kde:

Q_k - Tepelný výkon z cyklu odváděný (kondenzátorem) [W]

Q_o - Tepelný výkon cyklem odebíraný (výparníkem) [W]

W_e - Mechanický výkon do cyklu přiváděný (kompresorem) [W] [5]

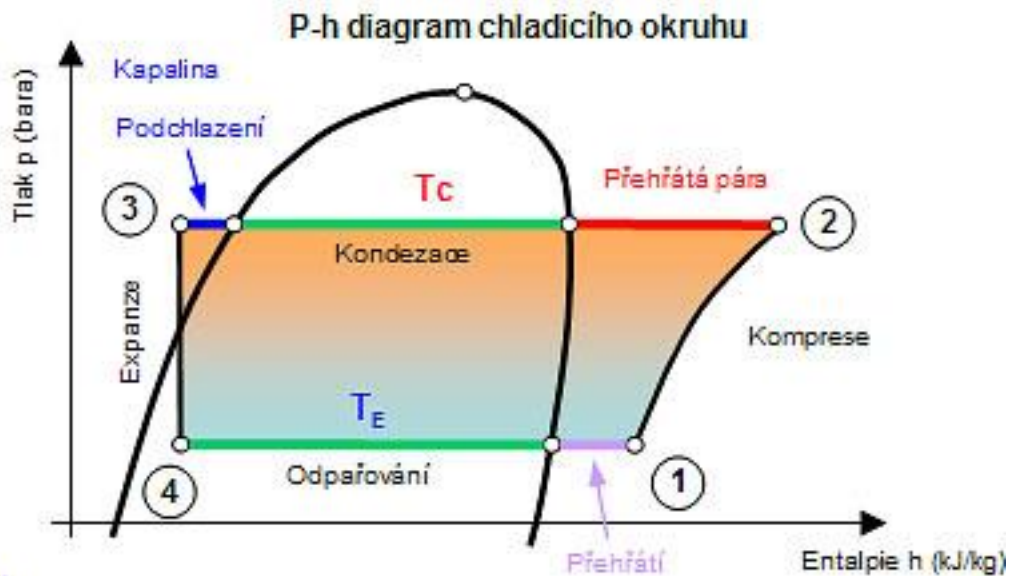
Pro daný systém chlazení je výstup brán jako tepelný výkon cyklem odebíraný, ten představuje výrobu chladu. Do tohoto cyklu, ale musíme ještě dodat výkon mechanický, který

je přiveden jako vykonaná práce kompresoru. Součtem těchto výkonů dostaneme výkon odváděný z kondenzátoru, což je tepelná energie. Účinnost je definována: [5]

$$\varepsilon_{ch} = \frac{Q_o}{Q_e} [-] \quad (6)$$

Kde: ε_{ch} – chladicí faktor chladicí jednotky [-]

Chladicí faktor chladicí jednotky se dá také vypočítat, pokud známe příslušné hodnoty z p – h diagramu chladiva. [5]



Obrázek 15 P-h diagram chladicího okruhu[5]

Výpočet chladicího faktoru chladicí jednotky z p-h diagramu: [5]

$$\varepsilon_{ch} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} [-] \quad (7)$$

3 Návrh chladícího prostoru

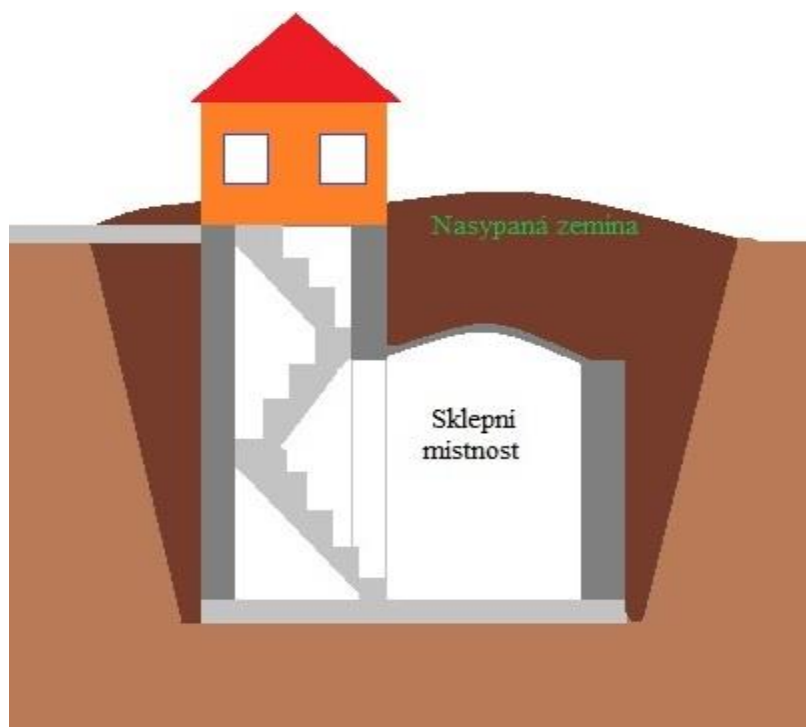
V této části bude popsán návrh chladícího prostoru. Konkrétně sklep umístěný v zemi, který bude sloužit k uložení sudů s pivem. Aby sudy byly dostatečně vychlazené, musí být sklep v takové hloubce, aby se v něm držela konstantní požadovaná teplota. Když umístíme sudy s pivem do dané chladící místnosti, za určitou dobu, která bude popsána níže, se změní teplota piva v sudech na teplotu okolí, jelikož sudy jsou oproti okolnímu prostředí velmi malý objekt. Protože se jedná o obnovitelný zdroj, který nevyžaduje žádnou energetickou náročnost, budou započítány pouze náklady na výstavbu a také energie nutná k čerpání piva přímo ze sudů do pivního výčepu. [22]

Pokud zmíníme místo stavby a geologii je určité důležité umístit dveře sklepu na vhodnou světovou stranu a to buď na východ, nebo na západ, protože obrátíme-li vchodové dveře na sever, může v zimě nastat problém, když napadne sníh, anebo když fouká severní vítr. Dveře s orientací na jih jsou pak vystaveny slunečnímu svitu a sklep se otepluje. V tomto případě, ale bude umístěn sklep pod zemí a přístup do něj bude schodištěm z objektu, kde se bude čepovat pivo. [22]

Ke stavbě sklepu je důležité mít i vhodné podloží, to znamená podloží, které je dostatečně únosné a stabilní. Nejlepší možný způsob, jak to zjistit, je využít znalosti geologa. Ten pomocí průzkumného vrtu zjistí povahu zeminy, únosnost, přítomnost spodní vody apod. V tomto případě postačí znát geologické poměry jen v takovém rozsahu, aby byla dodržena následující kritéria. Stavba nesmí být založena na navážce. Stavbu nesmíme založit ve svahu, který má tendence k pohybu. Nedoporučuje se ani stavět v blízkosti řek, potoků a i tam kde kdysi stával rybník apod. Pokud je v blízkosti vodoteč, musíme dbát na to, aby nebyla základová spára hlouběji, než průměrná výška hladiny vodoteče. Základová spára je místo v zemi, kde se stýká konstrukce objektu se zeminou. [22]

Na obrázku 16 je vidět umístění sklepu pod terénem. Vstup je v tomto případě použit přímo z domku, který byl postaven dodatečně. Sklep může být postaven v otevřené jámě, čímž využívá pevnosti a kompaktnosti okolního rostlého materiálu. Je zasypaný zemí a je z něho východ pomocí vybudovaných schodů, které vedou do domu, kde se bude točit pivo. Podobný způsob se využívá také u vinařů. Výhodou je zde úplná minimalizace působení počasí na podzemní konstrukci. Jako materiál pro obvodové zdivo je vhodné použít beton.

Základem konstrukce bude železobetonová deska vyztužená kari sítí. Na desku položíme hydroizolaci např. z materiálu penefol, která bude z obou stran opatřena ochrannou vrstvou z geotextilie. Obvodové zdivo bude z tvárnic ze ztraceného bednění, které se používá na spodní stavby. Zdivo musí být izolované novou izolací, aby dobře chránilo. Stropní konstrukce by stejně jako spodní deska byla ze železobetonu. Větrání by bylo zajištěno trubkami u podlahy a u stropu, kde by vývodem trubky ven cirkuloval vzduch, aby ve sklepu nebyla taková vlhkost a bylo tam dýchateľné prostředí. [22]



Obrázek 16 Zapuštěný sklep[22]

Rozměry sklepu budou 3 x 3 x 2 m. Jelikož jsou rozměry sudů v průměru 0,53 m vysoké a 0,41 m široké, vejde se jich tam minimálně 10. Teplota vlivem okolí bude ve sklepním prostoru v rozmezí 6-8 °C. Sklep by byl umístěn do hloubky zhruba čtyř metrů, kde je v létě i v zimě podobná teplota okolí. Okolní teplota v nižší hloubce je totiž menší než teplota na povrchu. Pokud do sklepa umístíme sudy s pivem, které budou mít teplotu 24 °C, teploty se za dobu 8 hodin vyrovnají a sudy budou připraveny k použití. Jelikož jsou zde využity obnovitelné zdroje, není zde nutný žádný zdroj elektrické energie. V důsledku toho zde není žádná energetická náročnost. [22]

4 Měření na reálné aplikaci

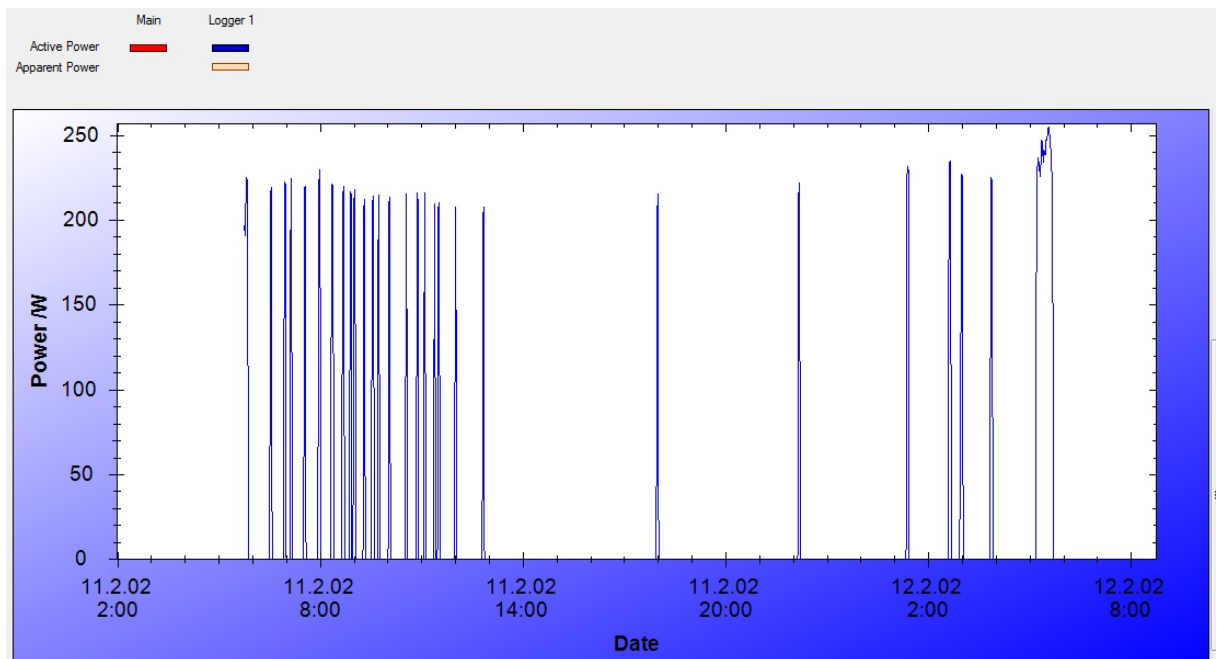
Měření bylo provedeno s výčepním zařízením Sputnik 1/6. Pomocí měřiče spotřeby Energy logger 3500 byla za dobu $t = 24$ h zaznamenána spotřeba 0,466 kWh. Měření bylo provedeno se sudem o obsahu 50 litrů. Jak je vidět na grafu číslo 2, zařízení zapínalo chlazení pouze při čepování piva a poté se jen během noci několikrát zapnulo, aby ochladilo část piva, která byla připravena k vytočení.

Tabulka 10 Chladicí zařízení Sputnik 1/6 [28]

Max. průtok	30L/H
Napájecí napětí/ frekvence	240V/ 50Hz
Spotřeba	200 W
Proud při chlazení	1,67 A
Doba potřebná k nachlazení při 24 °C	0,25h
Minimální výstupní teplota	3-5°C
Váha	28kg
Cena	8 500 Kč



Obrázek 17 Výčepní zařízení SPUTNIK 1/6 [28]



Graf 2 Graf spotřeby výčepního zařízení za dobu $t = 24$ h

Výpočet spotřeby energie pro chladicí zařízení Sputnik 1/6

$$P = 200 \text{ W}, t = 24 \text{ h}$$

$$W = P \cdot t = 200 \cdot 86400 = 17\,280\,000 \text{ J}; 1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

$$17\,280\,000 \text{ J} = 17\,280\,000 \text{ Ws}$$

$$1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J}$$

$$E = 17\,280\,000 \text{ Ws} = 4,8 \text{ kWh}$$

Tato hodnota se od hodnoty naměřené výrazně liší, ale to je způsobeno tím, že výčepní zařízení chladí pouze, když se točí pivo, což je vidět z přiloženého grafu číslo 2.

Pro další srovnání bylo vybráno restaurační zařízení, který má svůj chladicí box, kde se dá chladit až 10 sudů. Zde je na stropě umístěn podstropní výparník, který chladí daný box tím, že odvádí teplo, které vzniká při chlazení. Zajímavé využití je, že se odvedené teplo dá v zimních měsících využít pro vytápění okolních místností. V létě je potom teplý vzduch odveden větracím systémem ven z budovy. Chladicí zařízení vychladí za dobu 6 hodin sudy

piva z teploty okolní 23 °C na teplotu požadovanou tedy 6 °C. Pivo je ještě poté dochlazováno pivním chlazením se 2 šneky, které dochlazují pivo přímo před natočením piva a ochlazují trasu vedení piva, kde pivo ztrácí svoji teplotu. [28]

Tabulka 11 Chlazení EVS 180 + chladicí box [28]

Název zařízení	EVS 180 + chladicí box (2 x 2 x 3 m)
Napájecí napětí / frekvence	230 V/ 50 Hz
Spotřeba	Chladicí zařízení – 1,28 kW Chlazení pod pultem – 0,9 kW
Doba potřebná k nachlazení při 24 °C (Měřeno)	6 hodin
Minimální výstupní teplota	6 – 8 °C
Cena	120 000 (chladicí box) + 50 000 (Chlazení pod pultem + zařízení na čepování piva)

Výpočet pro spotřebu energie na vychlazení sudů s pivem během jednoho dne.

$$P = 1280 + 900; t = 24 \text{ h}$$

$$W = P \cdot t = (1280 + 900) \cdot 86400 = 188\,352\,000 \text{ J}$$

$$E = 52,32 \text{ kWh}$$

Technicko-ekonomické zhodnocení

V této části budou porovnány jednotlivé typy chlazení z technicko-ekonomického hlediska. Konkrétně se budeme zabývat tím, které chlazení se jeví v dnešní době jako nejvýhodnější. Tabulka 12 znázorňuje, že pokud porovnáme pořizovací cenu a celkové náklady pro jednotlivé možnosti chlazení, je patrné, že nejlepší variantou je chladicí zařízení Sputnik, tj., malé výčepní zařízení o malých rozměrech, které má vestavěný vzduchový kompresor a zvládne vychladit 30 litrů za hodinu. Nevýhodou této metody je, že toto zařízení dokáže ochladit pouze malé množství piva, tzn., že se dá využít pouze v případě malých restauračních zařízení pro max. počet 10 lidí. Z tohoto důvodu se ve větších restauračních zařízeních využívá chladicí box, kde jsou piva několik hodin ochlazována a poté je pivo ještě chlazeno zařízením se dvěma šneky, kde pivo obíhá trubkami umístěnými v ledové vodě. V tabulce 12 jsou uvedeny celkové náklady na jednotlivá zařízení. [27, 28]

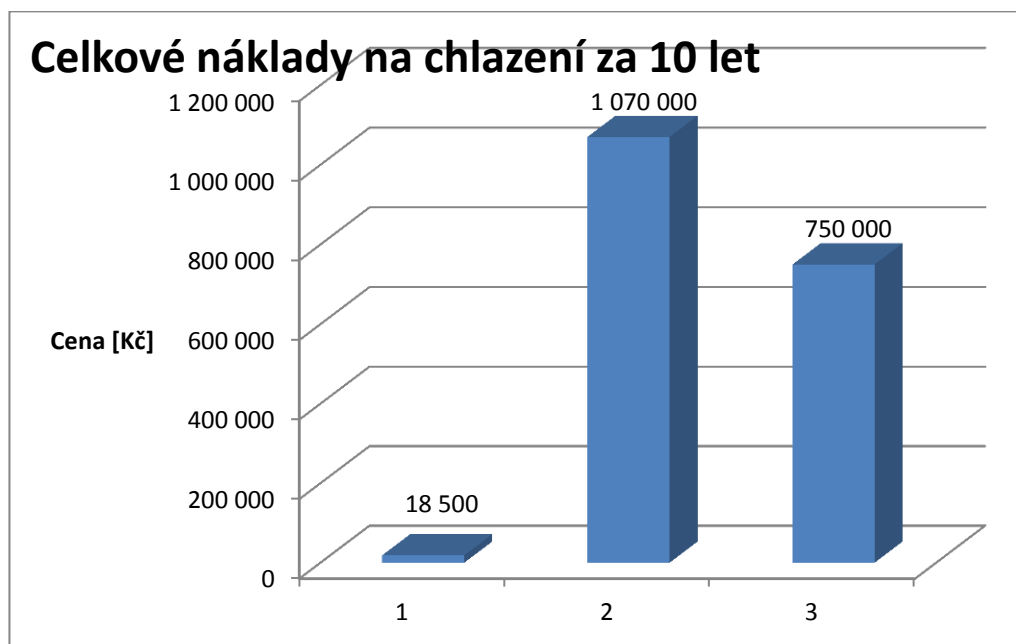
Tabulka 12 Porovnání jednotlivých možností chlazení [28]

	Chladicí zařízení Sputnik	Chlazení EVS 180 + chladicí box	Sklep v zemi (obnovitelné zdroje)
Rozměry [m]	0,3 x 0,4 x 0,45	2 x 2 x 3	3 x 3 x 2
Doba potřebná k vychlazení [h]	0,25	6	8
Spotřeba [kWh]	0,466	52,32	-
Cena energií za jeden rok [Kč]	1 000	90 000	-
Pořizovací cena [Kč]	8 500	170 000	750 000
Celkové náklady po 1 roce [Kč]	9 500	260 000	-
Celkové náklady po 10 letech [Kč]	18 500	1 070 000	750 000

Tabulka 12 současně vyjadřuje, že v případě porovnání jednotlivých zařízení v horizontu deseti let jsou celkové náklady u varianty stavby sklepu nižší, než v případě varianty chladicího boxu. Pořizovací cena chladicího boxu je 170 000 Kč, když k tomu započítáme roční energetické nároky (90 000 Kč), tak nám v období deseti let stoupnou celkové náklady na 1 070 000 Kč. V další variantě, což je stavba sklepu, je technická proveditelnost oceněna na 10 000 Kč. Projektová dokumentace poté na 45 000 Kč. Celkové náklady jsou tedy za

dobu deseti let 750 000 Kč. Z toho je patrné, pokud bychom sklep využívali i pro jiné účely, že se pro větší množství sudů vyplatí postavit sklep, který je bez energetické náročnosti. [22, 28]

Na grafu číslo 3 můžeme vidět srovnání celkových nákladů všech tří typů chlazení. Náklady jsou vypočítány za období deseti let. První je stolní výčepní zařízení Sputnik, druhý je chladicí box s pivním výčepem a třetí je sklep v zemi, který nemá žádnou energetickou náročnost.



Graf 3 Náklady na chlazení za 10 let

Závěr

Hlavním cílem této práce bylo srovnat, zda se vyplatí v pivovaru, restauracích ale i menších hospodách chladit pomocí nových moderních metod, nebo zda se finančně vyplatí inspirovat se u našich předků, kteří pro chlazení využívali pouze přírodní zdroje. V tomto případě šlo o obnovitelné zdroje, tj. led vytěžený v zimě z řeky a hlavně sklep postavený v zemi, který nemá žádnou energetickou náročnost a je ochlazován pouze okolní nižší teplotou v dané hloubce.

Při ceně 4,83 za 1 kWh energie vyplývá, že pokud budeme chtít chladit moderními způsoby a budeme mít velkou spotřebu vytočených piv, zaplatíme za chladicí a výčepní zařízení zhruba 170 000 Kč, jak je patrné z tabulky číslo 11. Toto chlazení spotřebovává 52,32 kWh za den, pokud by chladilo neustále. Jelikož ale chladicí box chladí, jen když se v něm teplota zvýší o dva stupně a pouze krátkou dobu, dá se spekulovat jaká částka spotřeby elektrické energie je reálná, zde ale uvedu, že je to $52,32 \text{ kWh} * 4,83 \text{ Kč}$, tj. přibližně 250 Kč na den. Za rok se dostaneme na částku 90 000 Kč. Pokud bychom nevytočili tak velké množství piv, je zde alternativa s pivním chlazením Sputnik, které má vypočtenou spotřebu energie 4,8 kWh za den, což ročně vychází na 8 000 Kč, k tomu je nutné započítat koupi zařízení, což je přibližně 8 500 Kč. Změřená hodnota pak odpovídala 0,466 kWh. Ročně tedy spotřebuje energii v hodnotě 1 000 Kč.

Požizovací náklady na sklep se liší podle způsobu, jakým chceme sklep postavit. Možností je více. Jedna možnost je sklep postavit jen jako buňku z plastu či kovu, která by byla zavezena zemí a vedla by do ní pouze šachta, kudy by se dopravovaly sudy. To by byla levná varianta, která by se nákladově vešla do 100 000 Kč. V této práci byla použita varianta sklepu, který je umístěn pod restauračním zařízením, do kterého se bude chodit po schodech a bude umístěn čtyři metry pod zemí a zasypan. Nutno dodat, že nás poté již nezajímá energetická náročnost. Postavíme sklep, zakoupíme výčepní stojan (5 000 – 10 000 Kč), zavedeme potrubím cestu ze sklepa do stojanu a pivo čerpáme čerpadlem (3 000 Kč), kde by byla určitá energetická náročnost, ale nebyla by nijak vysoká. Alternativa by byla tlakovat pivo plynem, což by bylo bez energetické náročnosti, náklady by se ale zvýšily zhruba o 0,15 Kč na jedno pivo. Poslední možnost je tlakovat pivo vzduchem, jak tomu bylo v dřívějších dobách, tj., bez energetické náročnosti.

Z měření bylo dále zjištěno, že při umístění sudu s pivem do sklepního prostoru o velikosti 2 x 1 x 2 m, se sud vychladí z teploty 22 °C na teplotu okolí 9 °C za 8 hodin. Při měření v chladicím boxu, kde je stropním ventilátorem odebíráno teplo a více tam akumuluje studený vzduch, byl při měření sud s pivem vychlazen za přibližně 6 hodin při stejných teplotách. Z toho vyplývá, že pokud chceme chladit sudy s pivem ve větším množství, trvá to několik hodin, než se pivo v sudech vychladí a je možné ho konzumovat. Tato varianta s chlazením ve sklepě by byla výhodnější jedině v případě většího pivovaru, kde by sklep měl i další využití (např. dozrávání, výroba piva) anebo v horizontu několika let, kdy se vyplatí nízká nebo i žádná energetická náročnost.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MACHALA, Jiří. Používané principy chlazení v průmyslu. Brno, 2010. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29971. Bakalářská práce. VUT v Brně. Vedoucí práce prof. Ing. František Kavička, CSc
- [2] *Sklepy Měšťanského pivovaru v Plzni* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.pivovary.info/view.php?cislocclanku=2009050004>
- [3] *Teplo a teplota* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://fyzika711.cz/vyuka/zapisyzhodin/8.r/teplo.pdf>
- [4] *Historie chlazení piva* [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.pivnichlazení.cz/historie-chlazení-piva.html>
- [5] *Porovnání kompresorového a absorpčního chladicího stroje z hlediska účinnosti* [online]. Plzeň, 2014 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/12660/BP_Jiri_Nemecek_2014.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. ZČU.
- [6] *Snímače teploty* [online]. [cit. 2015-06-04]. Dostupné z: <http://automatizace-issnp.wz.cz/Soubory/Snimace%20teploty.pdf>
- [7] DVOŘÁK, Zdeněk. Chladicí technika. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1971.
- [8] KARAFIÁT, J. *Centralizované zásobování chladem*. Pardubice: Teplárenské sdružení ČR, 2005.
- [9] DALY, Steven. *Automotive Air-conditioning and Climate Control Systems*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006. ISBN 0-7506-6955-1.
- [10] FRISCH, Herbert. *Základy elektroniky a elektronických obvodů: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987. ISBN 621.3.011.7.
- [11] VLACHOVÁ, Magda. *Techmania.cz: Termoelektrické jevy*. [online]. [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74f8696e612061206d61676e657469736d7573h&key=401
- [12] BROAD. *Firemní katalog*. [online]. Dostupné z: <http://broad.com>.
- [13] Čidla, vf moduly: Peltierovy články. GES ELECTRONICS. GES Electronics [online]. Praha, 1991 [cit. 2015-02-11]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/cz/peltieruv-clanek-tec1-12730-GES05600294.html>
- [14] BUREŠ, Jiří. *Converter.cz: William Thomson lord Kelvin*. [online]. [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/fyzici/kelvin.htm>
- [15] BUREŠ, Jiří. *Converter.cz: Seebeckův jev*. [online]. [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/seebeck.htm>

- [16] Encyklopedie fyziky: Seebeckův jev. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. [online]. 2006 - 2015. [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/910-seebeckuv-jev>
- [17] ŠKORPÍK, Jiří. Využití tepla Země, *Transformační technologie*, 2006-11, [last updated 2014-06]. Brno: Jiří Škorpík, [online] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/vyuziti-tepla-zeme.html>.
- [18] BAROŇ, Roman. Principy chlazení, chladicí zařízení v průmyslu komerční bezpečnosti. Zlín, 2012. Dostupné z: http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/21991/baron_2012_bp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Lubomír Macků, Ph.D.
- [19] ČIČMANEC. Elektřina a magnetismus: všeobecná fyzika 2. 1. vyd. Bratislava: alfa, 1980. ISBN 63-560-80.
- [20] RABINOVIČ, Veniamin Abramovič a Zacharij Jakovlevič CHAVIN. Stručná chemická příručka. 1 vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985. ISBN 04-629-85.
- [21] VLACHOVÁ, Magda. Účinnost. Techmania [online]. 2008 [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d656368616e696b61h&key=215
- [22] FALTÝNEK, Jiří. *Sklepy v zahradě*. Praha: Grada Publisgng, a.s., 2012.
- [23] FOIT, Julius. Základy elektroniky. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN 978-80-01-04236-6.
- [24] *Chlazení do karavanu* [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: http://www.karavan.cz/_33382-kompresorovy-chladici-box-waeco-cf-110--106-litru--12-24-v-240v.htm
- [25] Adsorpční chlazení: Akademon. [online]. 2011 [cit. 2015-02-18]. Dostupné z: <http://www.akademon.cz/clanekDetail.asp?name=Lepsi%20adsorpcni%20chlazeni&source=0111>
- [26] GUTKOWSKI, Kazimierz. Chladicí technika: Vybrané řešené problémy. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1982.
- [27] *Pivní zařízení* [online]. [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.pivni-zarizeni.cz/sputnik-16-30lh-p270>
- [28] *Chladicí zařízení* [online]. [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.varia-plus.cz>
- [29] *Led pro pivo* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://reportermagazin.cz/led-pro-pivo/>

