

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ TECHNIKY

# **ABSORPČNÍ TEPELNÁ ČERPADLA A JEJICH VYUŽITÍ V PRŮMYSLU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2015

MAREK DANIEL

Vysoká škola:  
Ústav:

ČVUT v Praze  
12118

Fakulta:  
Akademický rok:

strojní  
2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

*pro*

**Marek Daniel**

*program*

B2342 Teoretický základ strojního inženýrství

*obor*

bez oboru

*název česky:*

**Absorpční tepelná čerpadla a jejich využití v průmyslu**

*název anglicky:*

**Absorption heat pumps and their application in industry**

*Zásady pro vypracování*

### **Zadání:**

Vypracujte literární rešerši na problematiku absorpčních tepelných čerpadel a jejich využití v průmyslu. Při zpracování rešerše se zaměřte zejména na:

- Princip absorpčních tepelných čerpadel (ATČ), používaná pracovní média.
- Typy ATČ, možnosti provozu a zapojení ATČ.
- Příklady využití absorpčních tepelných čerpadel v průmyslu.

- Rozsah grafických prací:* dle doporučení vedoucího práce.
- Rozsah průvodní zprávy:* maximálně 15 až 20 stran odborného textu, maximálně 5 až 10 stran příloh obsahujících provedené výpočty nebo doplňující grafy, obsah dle bodů v zadání práce.
- Seznam odborné literatury:* dle doporučení vedoucího práce a vlastní rešerše.
- Vedoucí bakalářské práce:* doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D.
- Konzultant bakalářské práce:*
- Datum zadání bakalářské práce:* 22. dubna 2015
- Termín odevzdání bakalářské práce:* 26. června 2015



.....  
prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.  
vedoucí ústavu



.....  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
děkan fakulty

V Praze dne 22. dubna 2015

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé

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

Zadání bakalářské práce převzal dne: 29.4.2015



.....  
Marek Daniel

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne .....

.....

Jméno a příjmení

## **Poděkování**

Chtěl bych na tomto místě poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Radku Šulcovi, Ph.D. za připomínky a čas, který věnoval mé práci. Rovněž bych chtěl poděkovat za podporu své rodině.

# Anotační list

**Jméno autora:** Marek

**Příjmení autora:** Daniel

**Název práce česky:** Absorpční tepelná čerpadla a jejich využití v průmyslu

**Název práce anglicky:** Absorption heat pumps and their application in industry

**Rozsah práce:** počet stran: 43

počet obrázků: 28

počet tabulek: 3

počet příloh: 0

**Akademický rok:** 2014/ 2015

**Jazyk práce:** český

**Ústav:** Procesní a zpracovatelské techniky

**Studijní program:** B2342 Teoretický základ strojního inženýrství

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

**Oponent:** Ing. Martin Dostál, Ph.D.

**Konzultant práce:**

**Zadavatel:** Ing. Radek Šulc, Ph.D.

**Anotace česky:**

Tato bakalářská práce je zaměřena na užití absorpčních tepelných čerpadel v průmyslu. Cílem této práce je popsat základní principy absorpčních tepelných čerpadel a informovat o nejvíce frekventovaných aplikacích.

Tato práce je dělena do dvou hlavních částí. V úvodní části je pojednáno o funkci těchto tepelných čerpadel, jsou zde vysvětleny základní principy a typy absorpčních tepelných čerpadel. Následně je uvedeno i srovnání mezi absorpčními a kompresorovými tepelnými čerpadly. V druhé části jsou

prezentovány konkrétní aplikace absorpčních tepelných čerpadel v různých průmyslových oblastech.

**Anotace anglicky:**

This bachelor work is focused on application of absorption heat pumps in industry. The aim of this work is to describe the basic principles of absorption heat pumps and inform about the most frequent applications.

This work is divided into two main parts. In the opening part there is description of function of these heat pumps, there are explained basic principles of these mechanisms and types of absorption heat pumps. Then you will also find the comparison between absorption heat pumps and compression heat pumps. In the second part, there are applications of absorption heat pump in various industrial sectors.

**Klíčová slova:** Tepelné čerpadlo; absorpční tepelné čerpadlo; Carnotův oběh; absorbér; odpadní teplo.

**Využití:**

## Obsah

Seznam obrázků .....	10
Seznam tabulek .....	11
Seznam symbolů .....	12
Seznam zkratk .....	12
1 Úvod .....	14
2 Historie .....	14
3 Základní principy.....	14
4 Sorpční oběhy.....	16
5 Princip ATČ.....	17
6 Druhy ATČ.....	19
7 Trigenerace.....	20
8 Typy provozu a zapojení tepelných čerpadel .....	22
9 Charakteristiky absorpčních tepelných čerpadel .....	22
10 Uplatnění ATČ v průmyslu .....	24
10.1 Příklad rozložení potřeby tepla v průmyslu .....	27
10.2 Potenciál pro tepelná čerpadla v průmyslových procesech .....	28
10.3 Integrace tepelných čerpadel v průmyslových procesech.....	29
10.4 Hlavní výhody ATČ oproti klasickým kompresorovým .....	30
11 Průmyslové aplikace.....	32
11.1 Potravinářský průmysl, zemědělství .....	33
11.1.1 Mlékárenský průmysl.....	33
11.1.2 Pivovarnictví.....	34
11.1.3 Výroba čokolády.....	35
11.1.4 Lihovar.....	37
11.2 Živočišná a rostlinná výroba.....	38
11.2.1 Rostlinná výroba .....	39
11.2.2 Využití odpadního tepla z kompostárny .....	39
11.3 Dřevařský, papírenský průmysl .....	41



11.3.1	Průmyslový tisk .....	41
11.3.2	Sušení dřeva .....	42
11.4	Chemický průmysl .....	44
11.4.1	Destilace .....	44
11.5	Průmyslové objekty s klimatizací .....	46
11.6	Gumárenský průmysl .....	46
11.7	Energetický průmysl .....	47
11.7.1	Kogenerace .....	47
11.7.2	Obnovitelné zdroje energie .....	48
11.8	Slévárenský průmysl .....	50
11.9	Využití tepelného čerpadla pro čističky a na úpravu vody .....	51
11.10	Odsolování mořské vody .....	53
12	Závěr .....	56
	Použité zdroje .....	57

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Carnotův porovnávací oběh .....	15
Obrázek 2: Schéma funkce absorpčního tepelného čerpadla [5] .....	18
Obrázek 3: Toky energií v procesu trigenerace [6] .....	20
Obrázek 4: Trigenerační jednotka [7].....	21
Obrázek 5: Možné zapojení v trigeneraci [8].....	21
Obrázek 6: Závislost COP na provozních parametrech tepelného čerpadla [10] .....	24
Obrázek 7: Schéma rozložení energetických ztrát v podniku [11].....	25
Obrázek 8: Tepelné pochody v různém odvětví průmyslu [13].....	27
Obrázek 9: Srovnání výroby bez a s TČ [13] .....	28
Obrázek 10: Teplotní potenciál pro teplo dodávané TČ v německém průmyslu [14].....	29
Obrázek 11: Absorpční tepelné čerpadlo [16] .....	32
Obrázek 12: Absorpční tepelná čerpadla v areálu Plzeňského Prazdroje [18] .....	35
Obrázek 13: Schematické zapojení ATČ v pivovaru [19] .....	35
Obrázek 14: Schéma provozu linky na výrobu čokolády [20] .....	36
Obrázek 15: Schéma zapojení ATČ v čokoládovně [20].....	36
Obrázek 16: Schéma instalace ATČ v lihovaru [21] .....	38
Obrázek 17: Schéma provozu kompostárny s integrací ATČ [22].....	40
Obrázek 18: Vlevo: Kompostárna zajišťující zdroj tepla pro ATČ, Vpravo: ATČ v provozu kompostárny [22].....	41
Obrázek 19: Schéma tiskařské linky s implementací ATČ [19] .....	42
Obrázek 20: Schéma sušící linky se systémem ATČ [23].....	43
Obrázek 21: Separace směsi látek otevřeným oběhem TČ [3] .....	45
Obrázek 22: Fotografie ATČ v závodě na výrobu syntetické gumy [24].....	47
Obrázek 23: Schéma zapojení ATČ v kogeneraci ve výrobním podniku [21].....	47
Obrázek 24: Schematický diagram zapojení solárních panelů v okruhu tepelných čerpadel [27]50	
Obrázek 25: Vícestupňová destilace [30] .....	53
Obrázek 26: Diagram ATČ v systému odsolovací stanice [31] .....	54
Obrázek 27: Schéma trubkového absorberu se stékajícím filmem chudého roztoku [31] .....	55
Obrázek 28: Schéma procesu absorpce na stěně a prostupu tepla do mořské vody [31].....	55

## Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Charakteristiky absorpčních a adsorpčních TČ [4].....</i>	<i>17</i>
<i>Tabulka 2: Možnost uplatnění TČ v průmyslu dle typu průmyslového odvětví .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabulka 3: Parametry ATČ v čokoládovně [20] .....</i>	<i>37</i>

## Seznam symbolů

$\varepsilon_{ch,C}$	[-]	chladičí výkon Carnotova cyklu
$\varepsilon_{t,C}$	[-]	topný faktor Carnotova cyklu
$\varepsilon_{t,TČ}$	[-]	skutečný topný faktor
$\eta_{TČ}$	[-]	srovnávací účinnost
$E_{HP,drive}$ čerpadel a řízení	[J]	elektrická energie spotřebovaná pro příkon oběhových čerpadel
$G_{HP,drive}$ v hořáku	[J]	spalné teplo zkonsumovaného množství zemního plynu
$Q_{HP}$	[J]	teplo dodané absorpčním tepelným čerpadlem
$T_{min}$	[°C]	minimální teplota Carnotova cyklu - teplota okolí
$T_{max}$	[°C]	maximální teplota Carnotova cyklu
$a$	[J/kg]	měrná pohonná energie
$q_A$	[J/kg]	měrné dodané teplo
$q_B$	[J/kg]	měrné odevzdané teplo

## Seznam zkratk

ATČ		absorpční tepelné čerpadlo
COP	[-]	coefficient of performance- topný faktor
ČOV		čistička odpadních vod
GAHP čerpadlo		(gas absorption heat pump-) plynové absorpční tepelné čerpadlo
GHP		(gas heat pump-) plynové tepelné čerpadlo
GUE TČ	[-]	(gas utilisation efficiency-) energetická účinnost plynových TČ
HTST pasterizace při vysoké teplotě		(high temperature, short time pasteurization-) krátkodobá pasterizace při vysoké teplotě
CHZ		chladičí zařízení
LTO		lehký topný olej
MED		multiple effect distillation- vícenásobná destilace
OZE		obnovitelné zdroje energie
PER	[-]	primary energy ratio, poměr primárních energií

PTČ	průmyslová tepelná čerpadla
TČ	tepelné čerpadlo
TUV	teplá užitková voda
TV	teplá voda

# 1 Úvod

Tepelná čerpadla obecně jsou zařízení, která cíleně převádějí tepelnou energii z nízké a většinou nevyužitelné teplotní hladiny na vyšší teplotní hladinu. Lze to přirovnat k vodnímu čerpadlu, které přečerpává vodu z nižší hladiny na vyšší. Jako zdroj „přečerpávané“ tepelné energie slouží tzv. nízkopotenciální teplo, které na základě jeho podstaty můžeme dále dělit do dvou skupin:

- obnovitelné- energie prostředí (nejčastěji tedy voda, vzduch, země, geotermální energie, sluneční záření)
- neobnovitelné- zde řadíme druhotné energie, často vzniklé transformací z jiné formy energie. Do této skupiny patří odpadní nebo ztrátové teplo, které vzniká v průmyslových procesech, a tedy v souvislosti s touto prací nás bude nejvíce zajímat.

Vysvětlit pojem nízkopotenciální teplo lze na následujícím příkladě. Pokud si vezmeme řeku, která má v zimě teplotu 3 °C a průtok okolo 200 m<sup>3</sup>/s, můžeme jen konstatovat, že je jako přímý zdroj tepla nezajímavá a nevyužitelná. Avšak potenciál zde existuje, ač to není na první pohled zřejmé. Vůči teplotě 0°C má 200 m<sup>3</sup>/s podobný energetický potenciál, jako by řekou teklo 20m<sup>3</sup>/s vody o teplotě 60°C za sekundu. A právě tento převod na teplotní hladinu, na které lze teplo využít, je hlavní funkcí tepelného čerpadla.

## 2 Historie

Historie absorpčního stroje je spojena především s chlazením. Výroba chladicí energie pomocí absorpčního cyklu je známa již od roku 1777 a je to nejstarší průmyslový způsob výroby chladu. První zařízení pracující tímto principem bylo zkonstruováno v roce 1859. Jako chladicí médium se používala amoniaková směs, absorpčním činidlem byla voda. První zařízení s vodou jako chladicím médiem a bromidem lithným jako absorpčním médiem zkonstruovala společnost Carrier v roce 1945.

## 3 Základní principy

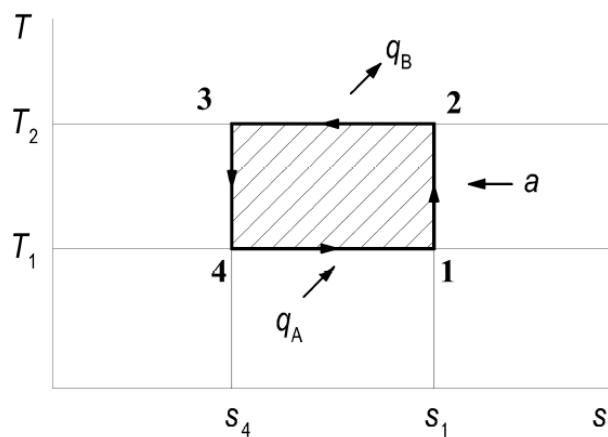
Princip tepelného čerpadla je znám už od roku 1852, kdy jej objasnil britský vědec William Thomson. Dokázal, že tepelné čerpadlo spotřebuje k vytápění méně primární energie, než vytápění přímé.

Druhý zákon termodynamiky praví, že nelze samovolně uskutečnit převod tepelné energie z prostředí o nižší teplotě do prostředí o vyšší teplotě. Nicméně pokud však dodáme energii, je možné tento převod uskutečnit. Dodaná energie může být buďto elektrická, mechanická nebo tepelná, která je důležitá pro fungování ATČ. Tepelná čerpadla pracují nejčastěji na principu

tepelného oběhu, kde pracovní látka prochází postupně změnami stavu do okamžiku, kdy se navrátí do stavu původního. V pracovních diagramech tak oběh tvoří uzavřenou křivku. Tepelné čerpadlo je tedy cyklicky pracující tepelný stroj. Vznikne obrácením pravotočivého oběhu tepelného motoru.

### Carnotův oběh

K vysvětlení principu může posloužit Carnotův porovnávací oběh s levotočivým smyslem obíhání. Carnotův oběh je pouze teoretický, avšak názorně demonstruje princip tepelného čerpadla obecně. Dosahuje nejvyšší možné účinnosti zařízení. Jeho diagram v souřadnicích T-s je uveden níže.



Obrázek 1: Carnotův porovnávací oběh

Je tvořen dvěma izoentropickými (komprese a expanze) a dvěma izotermickými (odvod a přívod tepla) změnami. Na konci izoentropické komprese 1 - 2, dosáhne medium své maximální teploty  $T_{\max}=T_2$ . Následuje izotermická změna 2 - 3, při níž se teplo  $q_B$  odvádí do topného systému. Poté se uskutečňuje izoentropická expanze 3 - 4. Oběh uzavírá izotermická změna 4-1, při níž právě odebíráme teplo  $q_A$  o teplotě  $T_1$  z okolí. Přivedené teplo se převádí z nižší teploty  $T_{\min}$  na vyšší teplotu  $T_{\max}$ . Toho tepla lze využít dvojím způsobem. Ke strojnímu chlazení nebo vytápění.

Měrné teplo získané ochlazením látky A při teplotě  $T_1$  je dáno jako

$$q_A = q_{41} = T_1 \cdot (s_1 - s_4)$$

Využitelné měrné teplo dodané do ohřívání látky B při teplotě  $T_2$  se stanoví jako

$$q_B = q_{23} = T_2 \cdot (s_1 - s_4)$$

Měrná pohonná energie potřebná k převodu je dána vztahem

$$a = q_B - q_A = (T_2 - T_1) \cdot (s_1 - s_4)$$

Topný faktor Carnotova cyklu je maximální dosažitelná hodnota účinnosti a je definována jako podíl získaného tepla a dodané mechanické energie:

$$\varepsilon_{t,C} = \frac{q_B}{a} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

Chladicí faktor Carnotova cyklu je definován jako podíl odebraného tepla a dodané mechanické energie:

$$\varepsilon_{ch,C} = \frac{q_A}{a} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} = \varepsilon_{t,C} - 1$$

Snahou je dosáhnout co nejvyšší hodnoty faktorů. S růstem rozdílu teplotních hladin topný i chladicí faktor klesá. Energetická náročnost roste. U reálných oběhů dosahujeme nižších hodnot těchto ukazatelů ve srovnání s teoretickými oběhy, protože u teoretických oběhů nezohledňujeme některé vlivy. Například konečnou velikost teplosměnných ploch, účinnost zdroje, tepelné ztráty apod. Tuto skutečnost ošetříme zavedením tzv. skutečného topného faktoru, který korigujeme pomocí srovnávací účinnosti. Lze jej vyjádřit následovně

$$\varepsilon_{t,T\check{c}} = \eta_{T\check{c}} \cdot \frac{T_2}{T_2 - T_1} = \eta_{T\check{c}} \cdot \varepsilon_{t,C}$$

Srovnávací účinnost  $\eta_{T\check{c}}$  dosahuje hodnot od 0,4 do 0,6 v závislosti na výkonové velikosti zařízení.

## 4 Sorpční oběhy

Nejčastěji používaná zařízení pro „přečerpávání“ tepla využívají principu změny skupenství pracovní látky a to pomocí:

- kompresorového oběhu
- sorpčního oběhu
- proudového oběhu

Vzhledem k zaměření této práce se nadále budeme věnovat pouze oběhům sorpčním.

Základním rozdílem sorpčních oběhů od oběhů kompresorových je nahrazení klasického kompresoru procesem, v němž se chladivo za nízkého tlaku pohlcuje absorbentem a následně je vzniklý roztok čerpadlem dopraven do varníku, kde se za současného přívodu tepla chladivo opět vypuzuje. Výsledkem je pára chladiva o vyšším tlaku. Hodnota tlaku musí odpovídat podmínkám kondenzace. Takže kompresorové TČ a ATČ se liší významně jen ve způsobu dopravy na vyšší



tlakovou hladinu. Sorpční oběhy dělíme do tří skupin: absorpční, adsorpční a resorpční. O absorpčním oběhu bude pojednáno později, nyní bych se zmínil o zbylých dvou.

Adsorpční oběh, jak název napovídá, pracuje s tuhými látkami, které na svůj povrch za nízkého tlaku adsorbují chladivo. Následovně ho přívodem tepla již za vyššího tlaku uvolňují. Celý princip adsorpčního chlazení je založen na schopnosti molekul vody snadno vytvářet vazby s určitou hygroskopickou solí. Zařízení se skládá ze dvou oddělených nádob – z reaktoru obsahující hygroskopickou sůl a výparníku obsahující vodu jako chladivo. Pokud je v soustavě nízký tlak nebo dokonce vakuum, voda vře a vypařuje se. Při tomto procesu je z chlazené vody přiváděné k výparníku odebíráno teplo. Vodní páry chladiva jsou vázány na sůl až do jejího plného nasycení. Následně je nádoba reaktoru ohřívána vnějším zdrojem tepla a v důsledku zahřátí dojde k vypuzení vodních par ze soli. Zařízení pracuje periodicky. To je příčinou nízkého chladicího faktoru a velkých ztrát. Adsorpční tepelné čerpadlo se používá jen omezeně, většinou jako adsorpční chladič. Pro svou jednoduchost se objevuje u řešení, které používají jako zdroj tepla sluneční záření zachycované slunečními kolektory. Pracovním médiem je dvojice silikagel- voda, aktivní uhlí- voda nebo zeolit- voda. Adsorpční tepelná čerpadla jsou ve stádiu vývoje a výzkumu. Pokud toto zařízení srovnáme s absorpčním tepelným čerpadlem, tak je méně náchylné ke korozi a je vhodnější pro nízkoteplotní zdroj tepla. Charakteristiky adsorpčních a absorpčních TČ uvádí následující tabulka.

Proces	Adsorpce		Absorpce		
	Voda silikagel	Voda zeolit	Voda/LiBr jednostupňový	Voda/LiBr dvoustupňový	Amoniak voda
Zdroj tepla [°C]	60-90	45-95	75-110	135-200	65-180
Výkon [kW]	7,5-500	9-430	10,5-20000	174-6000	14-700
COP vytápění	1,4-1,6	1,3-1,5	1,4-1,6	1,8-2,2	1,4-1,6
COP chlazení	0,5-0,7	0,5-0,6	0,6-0,7	0,9-1,3	0,5-0,7

Tabulka 1: Charakteristiky absorpčních a adsorpčních TČ [4]

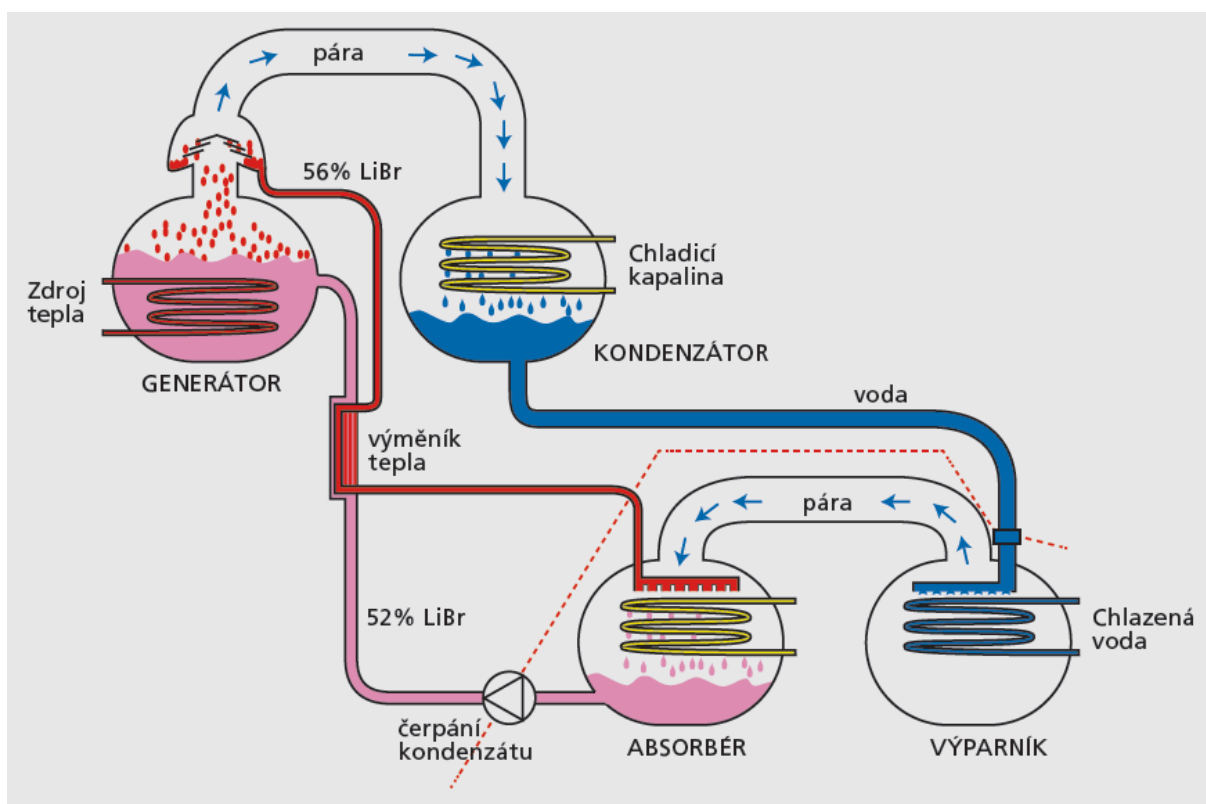
Resorpční oběh nahrazuje kondenzaci a vypařování opětnou absorpcí a desorpcí (vypuzováním). To se děje za opačných tlakových poměrů než vlastní vypuzování a absorpce. Díky složitosti tohoto oběhu se v praxi využívá jen ojediněle, ačkoliv poskytuje řadu nových možností.

## 5 Princip ATČ

Absorpční tepelné čerpadlo (ATČ) je někdy v cizojazyčné literatuře označováno jako „thermally driven heat pump,“ nebo „absorption heat transformer,“ nebo „absorption heat amplifier.“ Má to své opodstatnění, neboť klasický kompresor je zde nahrazen tepelným procesem. Nesmíme si však mezi sebou plést v mnohých zdrojích uváděné zkratky GHP a GAHP. První jmenovaná

znamená gas heat pump a označuje, že plynovým motorem poháníme kompresor klasického tepelného čerpadla. Kdežto GAHP znamená gas absorption heat pump. Zde, plyn spalujeme pouze za účelem vypuzení absorbentu v generátoru. Ale nyní již k samotné funkci ATČ.

Na straně výparníku přivádíme nízkopotenciální teplo, čili odnímáme zde teplo vnějšímu prostředí. Vzniklá pára chladiva přechází o nízkém tlaku a teplotě do části, která sestává z několika dílčích segmentů. Nejprve je vedena do absorbéru, kde se plynné chladivo rozpustí ve slabém roztoku absorpčního činidla. Absorbací se uvolňuje teplo, které je odváděno. Následně je tzv. bohatý nasycený roztok přečerpán na vyšší tlakovou úroveň oběhovým čerpadlem a je veden do varníku neboli vypuzovače (desorbéru.) Ten bývá někdy rovněž označován jako generátor. Na základě rozdílné rozpustnosti v kapalině vlivem teploty je zde chladivo odseparováno (vypuzeno) teplem dodaným z vnějšího zdroje. Nejčastěji je zdrojem tepla plynový hořák. Takto je chladivo dopravováno na vyšší tlakovou hladinu bez nutnosti velké spotřeby mechanické práce jako u parních kompresorových cyklů. Páry chladiva následně přicházejí do kondenzátoru a kondenzují za vysokého tlaku a teploty. Tím předávají teplo otopnému systému. Poté je kapalná fáze vedena škrticím ventilem, kde dochází k expanzi na nízký tlak. Opět se vypařuje ve výparníku a celý cyklus se opakuje. Mezi absorbérem a desorbérem může být pro lepší účinnost zařazen tepelný výměník. Schéma je naznačeno na obrázku č. 2.



Obrázek 2: Schéma funkce absorpčního tepelného čerpadla [5]

Takto lze tedy krýt naše potřeby po vytápění i chlazení. Záleží jen na způsobu zapojení. To znamená, že principiální rozdíl mezi tepelným čerpadlem a chladicím zařízením v zásadě neexistuje, záleží pouze na charakteru jejich využití. Nicméně v konstrukci ATČ a absorpčního chladiče jsou jemné odlišnosti.

Dvojice pracovních látek- chladivo a absorbent musí splňovat následující požadavky:

- Rozdílná rozpustnost v kapalině vlivem teploty, chceme co nejmenší podíl vypařeného absorbentu
- vzájemnou neomezenou mísitelnost v celém rozsahu provozních podmínek

Ačkoliv byla otestována široká škála různých dvojic, v praxi se osvědčily pouze dvě kombinace. Amoniak jako chladivo a voda jako absorbent ( $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ ) nebo voda jako chladivo a bromid lithný jako absorbent ( $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ .)

Tyto kombinace jsou používány v průmyslově vyráběných zařízeních.

## 6 Druhy ATČ

Následující text uvádí klasifikaci ATČ zejména z hlediska zdroje tepla pro desorpci.

### **Přímo vytápěné jednotky**

Tyto typy ATČ jsou standardně vybaveny hořáky a tepelnou energii pro desorpci získávají spalováním. Palivem zde může být plyn, bioplyn, nafta, LTO případně koksárenský plyn. Často se jedná o jednotky dvoustupňové, takže je dosahováno vyšší hodnoty COP. Jednotky se dnes konstruují převážně v kompaktním provedení. Dodávána je i čerpadlová sada, která obsahuje čerpadla chlazené, chladicí a teplé vody. Dále jsou součástí filtry, úpravna chladicí vody, vypouštěcí a směšovací ventily. Výkony absorpčních chladičů bývají v intervalu od 233 do 11 630 kW. Je možné všestranné využití. Produkce chlazené vody pro klimatizaci, teplé vody pro sanitární účely nebo pro vytápění je nejběžnější využití.

### **Nepřímo vytápěné jednotky**

Tyto ATČ charakterizuje využití tepelné energie, která byla vyrobena v jiném zdroji tepla než v ATČ. Pro desorpci tyto jednotky využívají teplou vodu, páru či horké spaliny z jiného zdroje mimo vlastní absorpční jednotku. Množství dodané tepelné energie se reguluje elektronicky ventilem či klapkou u spalin. Nepřímo vytápěné jednotky mohou být jak jednostupňové, tak dvoustupňové.

### **Kombinované absorpční jednotky**

Jak už název napovídá, tyto zařízení kombinují vlastnosti nepřímo i přímo vytápěných jednotek. Jsou schopny tedy využívat více zdrojů energie. Toto řešení je zejména výhodné, pokud se potýkáme s momentálním nedostatkem jednoho zdroje tepla. ATČ automaticky přejde na druhý zdroj a výroba tepla/chladu tak není přerušena. V tomto ohledu je tedy vhodné uplatnění u

aplikací, kde dodávky tepla nejsou stabilní nebo kolísají, ale my stále potřebujeme například chladit. Kolísavý přívod tepla se objevuje díky některým technologickým procesům.

Možné kombinace zdrojů tepla pro absorpční jednotku:

- Plyn / Spaliny
- Teplá voda / Spaliny
- Plyn/Spaliny / Teplá voda
- Teplá voda / Plyn

Jednotka je také schopná, díky zapojení více zdrojů tepla, je navzájem kombinovat tak, aby byla dosažená potřebná teplota pro vypuzení  $H_2O$  z roztoku  $LiBr-H_2O$ . Například si vezmeme jednotku, která využívá jako primární zdroj pro desorpci teplou vodu a jako sekundární zdroj tepla plynu spáleného hořákem. V případě, že teplota voda nepostačuje, automaticky startuje hořák, který spálením plynu ve spalovací komoře získá potřebnou teplotu pro desorpční cyklus.

## 7 Trigenerace

Tento pojem označuje kombinovanou výrobu elektřiny, tepla a chladu. Technicky vzato se tedy v podstatě jedná o zapojení kogenerační jednotky a absorpční chladicí jednotky.



Obrázek 3: Toky energií v procesu trigenerace [6]

Toto řešení je velmi výhodné, protože nám umožní využít provozní teplo i v létě, čili mimo topnou sezónu a tím zvýšit využití na celoroční periodu. V letních měsících vyrábíme chlad pro účely klimatizace nebo pro účely technologické. Například v průmyslu. Propojení kogenerační jednotky a absorpčního chladiče je však nezávislé a je fyzicky realizováno v místech tepelných výměníků propojením proudů médií z kogenerace a absorpční jednotky. Častá je tedy výroba tepla v zimním období a výroba chladu v letním období, ale můžeme současně vyrábět všechny tři druhy energie zároveň. To je extrémně výhodné v průmyslu, například potravinářském, kde existují simultánní požadavky na chlazení a ohřev technologických operací na výrobních linkách. Bez instalace absorpční chladicí jednotky by tedy bylo teplo z kogenerace v letních měsících, kdy není poptávka

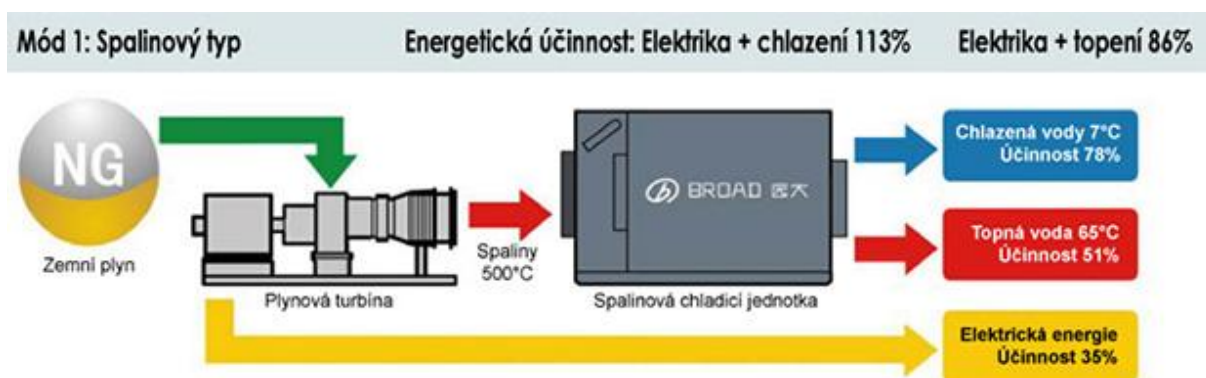
po vytápění, vypouštěno bez využití. Kombinovaná výroba elektrické energie, tepla a chladu má následující výhody:

- Dochází až k 40% úspoře paliva oproti samostatné výrobě elektřiny, tepla a chladu.
- Všechny produkty trigenerační jednotky vznikají v místě spotřeby, čímž se omezí ztráty rozvodem.
- Menší zatížení životního prostředí emisemi.
- Může sloužit jako nouzový zdroj energie v důsledku výpadku el. sítě v objektech, kde je nutná nepřetržitá dodávka proudu (např. nemocnice.)



Obrázek 4: Trigenerační jednotka [7]

Existuje celá řada variant zapojení. Pro ilustraci uvedu jen typ tzv. spalínového typu.



Obrázek 5: Možné zapojení v trigeneraci [8]

Dnes se dokonce setkáváme i s pojmem quadragenerace, což je vlastně trigenerace obohacena o proces separace CO<sub>2</sub> z výfukových plynů. Tento oxid uhličitý může být dále využit v průmyslovém podniku.

## 8 Typy provozu a zapojení tepelných čerpadel

Při provozu ATČ je někdy nutné z důvodů energetických nebo ekonomických přepnout systém i na druhý energetický zdroj. V tu chvíli je řeč o tzv. bivalenci, která je reprezentována bodem bivalence. Od teploty bivalence bývá odvozen výkon přiřazeného zdroje. Teplota bivalence je závislá na teplotě topné vody a na výkonu TČ.

### **Monovalentní provoz**

V této situaci TČ samo kryje veškerou poptávku po teple/chladu po celý rok. V tomto režimu vyžadujeme pro ATČ stabilní zdroj tepla o konstantní teplotě, čili je vhodné využít průmyslové odpadní teplo nebo i zemní teplo a spodní vody. Tento způsob provozu je vhodný v kombinaci s nízkoteplotním systémem vytápění. Nevýhodu tohoto zapojení lze nalézt v tom, že TČ musí být nadimenzováno na nejvyšší potřebný výkon, což může znamenat vyšší investici.

### **Bivalentní provoz**

Při tomto provozu kombinujeme činnost TČ s činností jiného konvenčního zdroje tepla, nejčastěji elektrokotle. Bivalentní zapojení lze dále dělit na alternativní, paralelní, částečně paralelní nebo semiparalelní. Při bivalentním alternativním provozu pracují oba zdroje nezávisle na sobě. Při bivalentně paralelním zapojení pracují oba zdroje současně. Nejdřív tepelné čerpadlo pracuje samostatně, a při teplotách bivalence začínají pracovat společně. TČ přehřívá vodu v topném systému a kotel upravuje definitivně její teplotu na požadovanou hodnotu. Ve srovnání s bivalentně alternativním provozem je podíl tepelného čerpadla větší. Částečně paralelně bivalentní neboli semiparalelní provoz znamená, že tepelné čerpadlo pracuje do bodu bivalence samostatně a poklesne-li teplota pod tuto hodnotu, připojí se k němu další tepelný zdroj. Provoz TČ je řízen podle teploty produkované topné vody. Neohřívá-li topnou vodu na odpovídající teplotu, TČ se vypne. Tento provozní způsob je vhodný pro všechny vytápěcí systémy pracující s vysokými požadavky na teplotu topné vody.

## 9 Charakteristiky absorpčních tepelných čerpadel

Základními charakteristickými parametry tepelných čerpadel jsou tepelný (topný) výkon, elektrický příkon tepelného čerpadla, případně topný faktor. O topném faktoru Carnotova cyklu již bylo pojednáno dříve.

Energetická účinnost (COP) se hodí pro popis spíše kompresorových TČ, hnaných elektrickou energií. Je to dáno tím, že se do výpočetního vztahu pro COP dosazuje příkon kompresoru jako dodávané množství energie. COP je podíl mezi teplem a užitnou energií. Proto někdy bývá

označován jako skutečný topný faktor. Do energie přivedené tedy řadíme v případě ATČ i energie pro oběhová čerpadla, regulaci a řízení atd. Do celkové bilance je dále nutné zahrnout rovněž tepelné ztráty jednotky, případně akumulčního zásobníku do okolí.

V případě ATČ se můžeme ve světě setkat velmi často s energetickou účinností „plynových“ tepelných čerpadel. Značí se GUE (gas utilisation efficiency) a znamená podíl užité energie dodané tepelným čerpadlem a množství spotřebovaného plynu (převedené na spalné teplo). Toto hodnotící kritérium však nebere v potaz elektrickou energii pro oběhová čerpadla a řízení. Jak COP tak GUE se definují na základě určitého časového intervalu. Faktory COP a GUE nelze mezi sebou přímo porovnávat. Abychom mohli porovnávat účinnosti kompresorových TČ a absorpčních TČ, bylo zavedeno kritérium PER (primary energy ratio). To pracuje pouze s dodanými spotřebovanými primárními formami energie, tudíž můžeme na jeho základě srovnat v našem případě energii elektrickou a tepelnou při spalování zemního plynu. Elektřina není primárním zdrojem energie, tudíž se převádí na spotřebu zemního plynu. Při tom se uvažuje i průměrná účinnost při výrobě a distribuci. Vztahy pro zmíněné hodnotící ukazatele jsou níže.

$$GUE = \frac{Q_{HP}}{G_{HP,drive}}$$

$$PER = \frac{Q_{HP}}{G_{HP,drive} + \frac{E_{HP,drive}}{\eta}}$$

$Q_{HP}$ - teplo dodané absorpčním tepelným čerpadlem

$G_{HP,drive}$ - spalné teplo spotřebovaného množství zemního plynu v hořáku

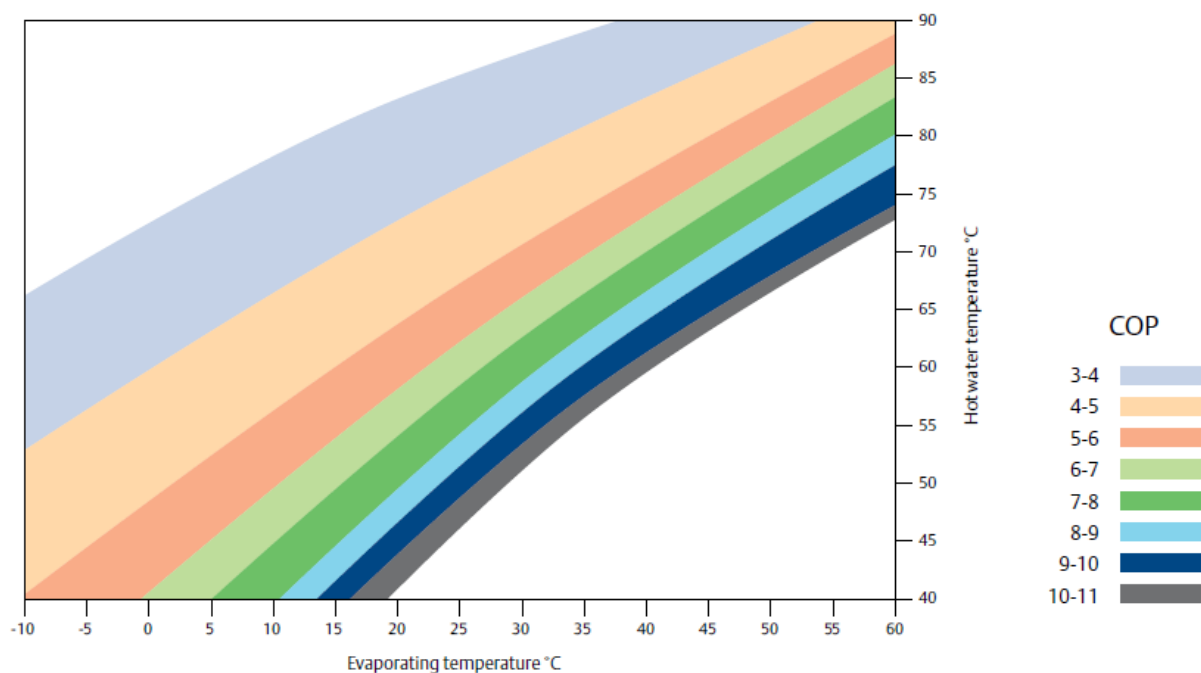
$E_{HP,drive}$ - elektrická energie spotřebovaná pro pohon oběhových čerpadel a řízení

$\eta$ - účinnost výroby a distribuce elektrické energie (cca 42%)

Podmínka energetické hospodárnosti tepelného čerpadla obecně říká, že spotřeba primární energie pro pohon tepelného čerpadla musí být nižší než spotřeba primární energie zdroje tepla, který je tepelným čerpadlem nahrazován. Zdvojnásobení topného faktoru z běžné hodnoty 3 na hodnotu 6 přináší „pouze“ 26 % úspory. Se zvyšujícím se topným faktorem úspora narůstá pomalu. Jde o situaci obdobnou se snižováním tepelné ztráty budovy zvyšováním tloušťky tepelné izolace její obálky. Pokud je izolační standard budovy, resp. topný faktor tepelného čerpadla, velmi nízký, lze zateplením, resp. zvýšením topného faktoru, dosáhnout vysoké úspory. Pokud je však budova relativně dobře tepelně izolována, resp. tepelné čerpadlo bude mít vysoký topný faktor, pak další zateplování, resp. zvyšování topného faktoru, již výraznou úsporu nepřinese.

Stejná situace nastává i při paralelní kombinaci dvou úsporných opatření, např. zateplení budovy a instalace tepelného čerpadla, které navzájem „soupeří“ o úsporu. [9]

Ještě bych rád uvedl spojitost mezi COP a velikostí teplotního spádu na TČ. Tu demonstruje následující graf sestavený pro komerčně vyráběné TČ. Na vodorovné ose je znázorněna výparná teplota a na svislé ose je teplota topné vody.



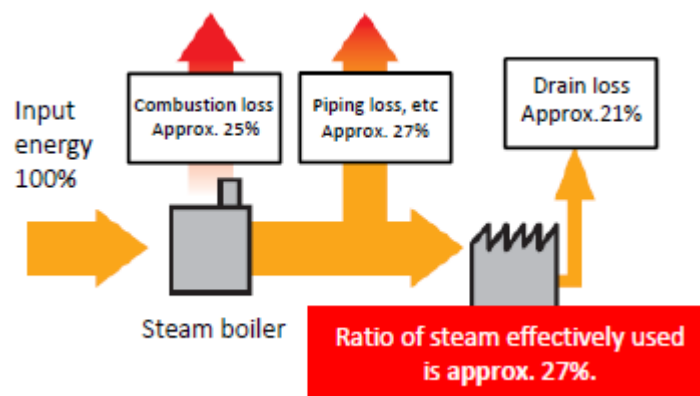
Obrázek 6: Závislost COP na provozních parametrech tepelného čerpadla [10]

Topný faktor je tedy funkcí teplot při vypařování a kondenzaci. Čím menší je teplotní rozdíl vstup/výstup tím větší je topný faktor.

## 10 Uplatnění ATČ v průmyslu

V průmyslových procesech je často využívána pára jakožto nosič energie. Proto se asi 30% primární energie v továrnách spotřebuje k výrobě páry. Podle výsledků měření skutečně efektivní poměr využití takové páry je pouze asi 27% díky součtu různých ztrát. Příklad rozložení ztrát v podniku je níže na schématu. Na těch se přibližně stejnou měrou podílí ztráty při spalování, rozvodu a vypouštění (např. komínová ztráta.)





Obrázek 7: Schéma rozložení energetických ztrát v podniku [11]

Topení je téměř pro každý objekt jednou z nejvyšších nákladových položek. Tudíž stále více majitelů a provozovatelů hledají jiný způsob vytápění, než jakým je standardně plynové, elektřina nebo centrální zásobování teplem. Kde je vysoká spotřeba tepla, tam se dá také hodně ušetřit. A právě tato myšlenka nás vede k možnosti uplatnění absorpčních tepelných čerpadel v průmyslu.

V dnešní době nemá například zemědělský průmysl zrovna snadnou situaci. Farmáři v zahraničí rychle pochopili, že významnou cestou jak konkurovat, je zefektivnit své hospodaření a snížit fixní provozní náklady. Zajímavé aplikace, které se realizují, jsou vytápění vepřínů a drůbežáren. Zde je díky celoročnímu provozu a permanentnímu větrání úspora proti vytápění plynem cca 75 procent. [12]

V provozu je i vytápění žampionáren tepelnými čerpadly, které vykazuje podobné parametry. Dalším samostatným tématem je masný průmysl, který má rovněž vysokou spotřebu teplé vody, ale zároveň je zapotřebí dodávat chlad do skladů. Tyto dvě potřeby lze vhodně kombinovat a teplo odebrané z chlazení skladů lze použít (vlastně rekuperovat) pro potřebu ohřevu vody. Je zřejmé, že takové řešení je jistě chytřejší než na jedné straně pálit plyn a z druhé strany budovy vyfukovat jen tak do vzduchu teplo z obyčejných klimatizačních jednotek.

Nově stavěné objekty mají vysoké nároky na kvalitu vnitřního prostředí budov a na odvod tepelné zátěže. V tom případě je volba absorpčního chlazení klíčová investice pro budoucí úspory provozních nákladů. Úspora provozních nákladů například na výrobu chladu v průmyslových aplikacích je velmi výrazná díky možnosti využívání již zmiňovaného „odpadního“ tepla z technologických procesů.

A kde vlastně lze tepelná čerpadla vhodně aplikovat? Tabulka níže obsahuje pouze reprezentativní přehled uplatnění tepelných čerpadel v průmyslových procesech. Přehled není vyčerpávající, ale upozorňuje na nejčastější průmyslové aplikace. Během průmyslových procesů vzniká mnoho tepla, zvláště v prostředí sléváren, strojírenské a plastikářské výroby, ale i v mnoha jiných provozovnách zpracovatelského průmyslu. Teplo v místě vzniku je nepotřebné, dokonce může

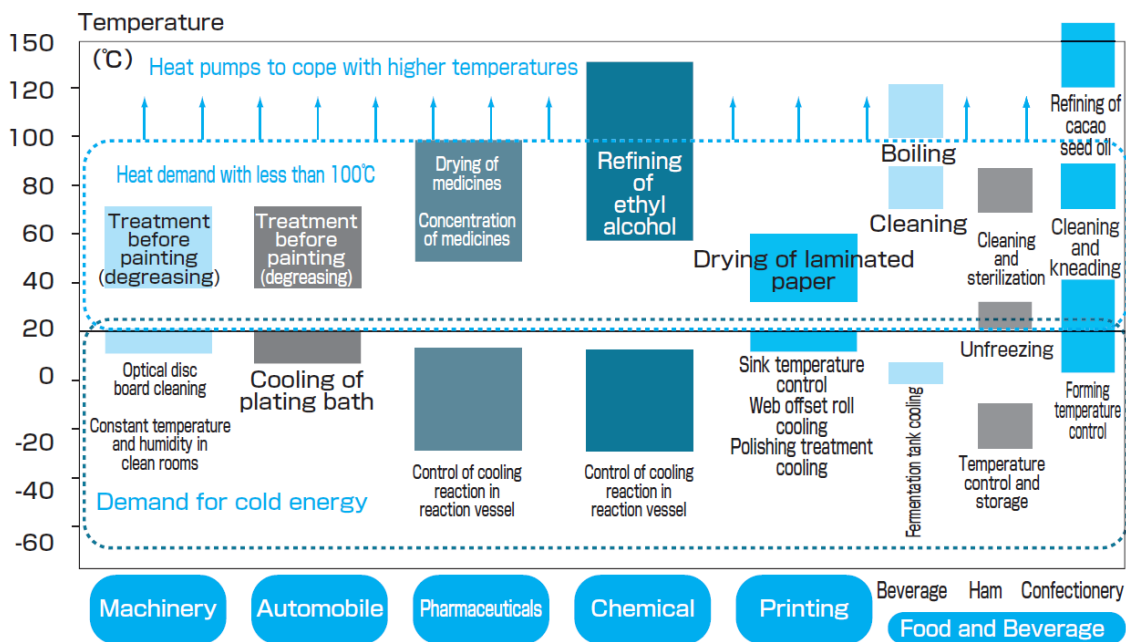
vadit přesnosti výrobního procesu - některé společnosti teplo pouze vypouštějí, jiné je umí zpětně využívat. Energetická náročnost výroby stále více ovlivňuje ekonomickou efektivnost podniků. Z důvodu vyšší efektivity bývá zvoleno do takovýchto objektů právě tepelné čerpadlo.

<b>Segment</b>	<b>Proces</b>	
<b>Rafinace ropy, petrochemie</b>	Destilace ropy	Separace propanu/propylenu, butanu/butylenu ethanu/ethylenu
<b>Chemický</b>	Výroba anorganických solí, síran sodný, uhličitan sodný, kyselina boritá	
	Zpracování odpadů z výrob	Soustředění toků odpadů snížení hydraulického zatížení zařízení pro nakládání s odpady
	Rekuperace tepla	Komprese nízkotlaké odpadní páry nebo páry pro použití jako topné médium
	Farmacie	Ohřev vody
<b>Dřevovýroba</b>	Výroba celulózy (dřevné buničiny)	Průmyslové odpadní louhy (černý louh)
	Výroba papíru	Ohřev vody
	Dřevovýroba	Sušení
<b>Potravinářský průmysl</b>	Výroba alkoholických nápojů	Odpadní tekutiny
	Pivovarnictví	chlazení
	Výroba sirupů	
	Cukrovarnictví	
	Mlékárenský	
	Nealko provozy	
	Masokombináty a jiné provozy	Ořev vody na čištění
<b>Energetika</b>	Jaderná energetika	Radioaktivní odpad
	Elektrárny, spalovny	ztrátová tepla (komínové,..)
<b>Ostatní</b>	Výroba pitné vody	Odsolování mořské vody
	Povrchové úpravy (zinkování)	Procesní ohřevy

Tabulka 2: Možnost uplatnění TČ v průmyslu dle typu průmyslového odvětví

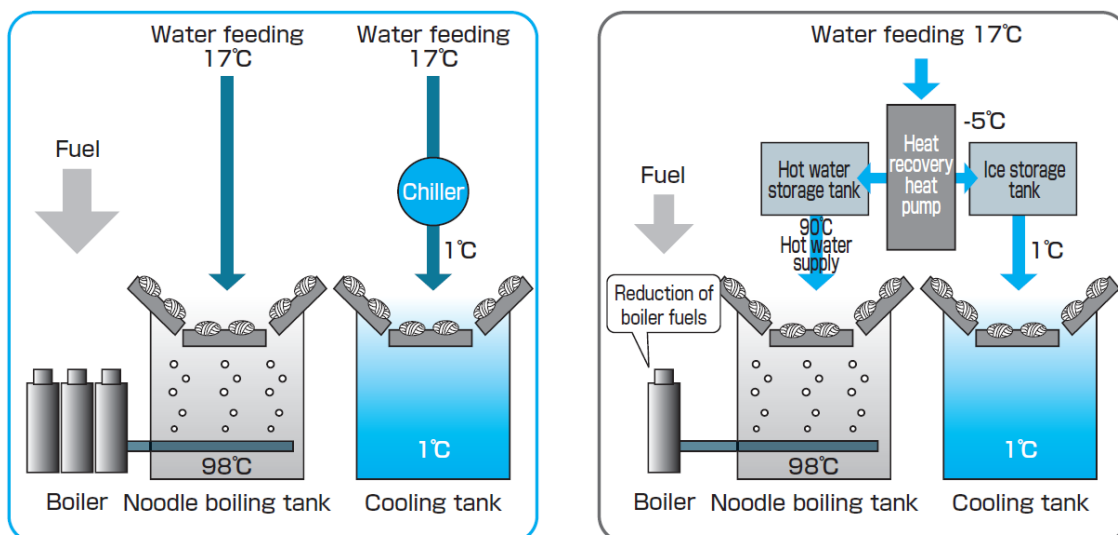
### 10.1 Příklad rozložení potřeby tepla v průmyslu

Pro pochopení procesu implementace TČ do jakékoliv výroby je nezbytné nejprve provést analýzu prostředí, ve kterém tyto procesy probíhají. Jako demonstrace může posloužit následující graf.



Obrázek 8: Tepelné pochody v různém odvětví průmyslu [13]

Z grafu je patrné že, výrobní procesy v továrnách spotřebovávají zejména teplo o méně než 100 °C, které lze přivést pomocí tepelných čerpadel. Téměř každá průmyslová výroba má poptávku jak po ohřevech, tak po chlazeních – využití TČ je zde velmi efektivní. Příklad právě takového provozu je uveden na obrázku č. 9.



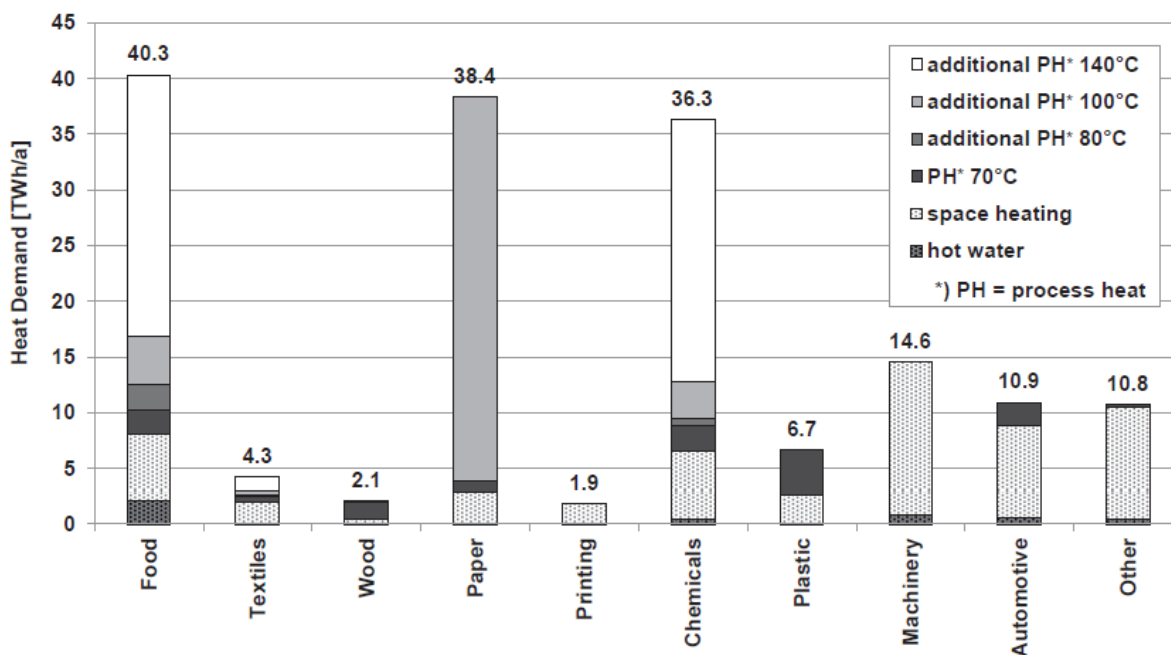
Obrázek 9: Srovnání výroby bez a s TČ [13]

Na obrázku č. 9 je schematicky vyobrazeno využití TČ v provozu na výrobu těstovin. Vlevo je konvenční systém a vpravo zapojení s TČ. Tato ilustrace nám umožní povšimnout si základních principů nasazení ATČ. Na obrázku vlevo, je spalován plyn a teplo se zužitkuje na zpracování těstovin. Následně je však nutné i chlazení. Vpravo je pak tentýž provoz obohacen o činnost ATČ. Činnost kotle se nemusí vždy povést zcela eliminovat, ale zmenšíme alespoň spotřebu paliv. Právě toto je příklad procesu, kdy vyrábíme teplo i chlad zároveň. O takových bude řeč ještě v navazujících kapitolách. S TČ lze v tomto provozu rovněž redukovat emise CO<sub>2</sub>.

## 10.2 Potenciál pro tepelná čerpadla v průmyslových procesech

Technický potenciál pro využití tepelných čerpadel v průmyslových procesech lze odhadnout ze spotřeby energie průmyslových oborů a teplotní úrovně daného procesu. Potřeba energie pro procesní teplo a ohřev teplé vody byla například v německém průmyslu v roce 2010 524 TWh. Výsledky hodnocení potenciálu, které jsou znázorněny na obrázku č. 10, ukazují, že 75 TWh tepla by mohlo být zajištěno dnešními standardně nabízenými technologiemi TČ. To odpovídá 14% poptávky po průmyslovém teple. Se zavedením ATČ, které mohou pracovat i s teplotami do 140 °C, by mohla být generována další úspora v podobě 91 TWh tepla. Celkem mohou tedy TČ ušetřit 166 TWh nebo 32% produkce tepla v německém průmyslu. Zejména v oblasti potravinářského a chemického průmyslu je velká možnost uplatnění. Jmenovitě v potravinářském průmyslu se jedná o procesy pasterizace, sterilizace, sušení a odpařování. V chemickém průmyslu se jedná o procesy tavení plastů a výrobu syntetického kaučuku. Tento obrovský technický potenciál byl sotva doposud využit. Na jedné straně TČ, které mohou dodávat teploty vyšší než 80°C nejsou na německém trhu příliš k dispozici. Na straně druhé musí soutěžit s relativně levným plynem nebo kotli na topné oleje. Vzhledem k jejich komplexnímu provedení, TČ vyžadují vyšší vstupní investiční náklady. V mnoha vedených případových studiích použití TČ v průmyslu bylo ukázáno,

že TČ může snížit provozní náklady až o 30%. Návratnost investice se pohybuje v rozhraní 1,5- 6,7 let. Výše uvedené číselné hodnoty byly získány z [14].



Obrázek 10: Teplotní potenciál pro teplo dodávané TČ v německém průmyslu [14]

### 10.3 Integrace tepelných čerpadel v průmyslových procesech

Ve srovnání s tepelnými čerpadly používanými pro vytápění domácností, průmyslová tepelná čerpadla (PTČ) mají, v mnoha případech, následující výhody:

- vysoký COP (koeficient výkonu-topný faktor), vyplývající z malých teplotních rozdílů a /nebo vysokých úrovní teploty,
- dlouhé roční provozní doby,
- relativně nízké investiční náklady, založené na krátkých intervalech mezi zdrojem tepla a vytápěným/chlazeným místem,
- produkce tepla a potřeba chlazení prostor se kryje.

Navzdory těmto výhodám, relativně málo tepelných čerpadel je nyní používáno v průmyslu po celém světě v porovnání s počtem technicky a ekonomicky dostupných možností. K dnešnímu dni byla PTČ použita ve velkém měřítku pouze v některých zvláštních případech (např. sušení řeziva, petrochemická destilace, odpařování), a to i přesto, že jejich ekonomická návratnost v mnoha jiných průmyslových procesech byla shledána velmi atraktivní. Faktory vysvětlující tuto situaci:

- nedostatek experimentálních a demonstračních instalací v různých typech průmyslových odvětví

S tímto faktorem souvisí znepokojení zákazníka, který raději využije konvenční zaběhlé systémy než TČ. Například u technologie absorpčních TČ stále chybí publikace, kde by bylo průmyslové využití dokumentováno.

- nedostatek kombinované mezioborové znalosti technologických procesů a technologií tepelných čerpadel v průmyslu, poradenských firem a veřejných služeb
- někdy dlouhá doba návratnosti investic

V porovnání například s vytápění plynem, TČ vyžadují vysokou investici. Chcete-li být ekonomicky efektivní, případné nízké provozní náklady musí vést k požadované době návratnosti kratší než 2 roky. Toho lze docílit mnoha způsoby, například nízkým teplotním rozdílem na TČ, simultánní obměnou vytápěného prostoru s prostorem chlazeným a dlouhými provozními časy. Další sériovost ve výrobě těchto zařízení může rovněž dopomoci ke snížení nákladů.

- malá pozornost věnována spotřebě tepla

Tento faktor však výrazně klesá. Například v Německu od roku 2013 jsou firmy s velkou spotřebou energií povinny zajistit energetický audit, pokud chtějí čerpat daňové výhody. Toto může dopomoci k začlenění TČ.

Dalším důležitým důvodem je nedostatek znalostí v průmyslu o tom, jak správně identifikovat nebo najít dobré, ekonomické aplikace PTČ pomocí zásad integračního procesu. Většina TČ instalovaných v průmyslu se užívá v jednotkových operacích, jako je sušení a odpařování, nejsou tedy zapracovány integrovaně. Systematické snahy nalézt vhodný zdroj vytápění/chlazení napříč průmyslovými podniky často odhalilo, že potenciál nasazení TČ je podstatně vyšší, než se původně očekávalo.

#### **10.4 Hlavní výhody ATČ oproti klasickým kompresorovým**

V současné době je stále převaha kompresorových TČ a proto se nyní pokusím o sumarizaci argumentů, které podporují použití ATČ.

Absorpční chladiče používají jako hlavní zdroj energie – teplou vodu, páru, spaliny výfukových plynů, odpadní plyn, nebo odpadní teplo jako takové. Absorpční jednotky jsou schopny využívat téměř jakoukoliv tepelnou energii o teplotě 75°C a vyšší, aby byly efektivní. Absorpční jednotky mohou být napájeny také spaliny, což zvyšuje účinnost celého soustrojí až na hodnotu 97%.

Neelektrické chladicí jednotky umožňují výrobu chladu, tepla a teplé užitkové vody, bez dalších dodatečných nákladů.

Další výhodou je jen minimální používání točivých strojů. Tím se významně omezují hluk a vibrace a prakticky na dvojnásobek se prodlužuje životnost zařízení, tj. minimálně na 30 let. Provoz absorpčních chladičů je také systémem konstrukce velmi spolehlivý a bezúdržbový.

Obecné podvědomí o tom, že samotná kompresorová chladicí jednotka nebo TČ má nižší cenu oproti absorpční jednotce, je případ od případu pravdivé, avšak opomíjí další nezbytné komponenty jako např. jednoúčelovost, životnost zařízení, provozní a servisní náklady. Kompresorové jednotky potřebují zařízení na vytvoření nízko a vysokonapěťového rozvodu včetně trafostanice, kotel a zásobník pro ohřev TUV. Kotel, zásobník a trafostanice vč. jejich příslušenství zabírají další prostor.

Plynem napájené jednotky umožňují odběr plynu v letních měsících, kdy je tato komodita méně využívána a cenově výhodná.

Absorpční chladiče využívají pro svůj chod pouze 5 % elektrické energie ve srovnání s klasickými – kompresorovými chladiči, protože elektřinou jsou poháněná pouze oběhová čerpadla. Nekompresorový chladicí stroj nezatěžuje elektrickou distribuční síť ve špičkách odběru a zužitkovává přebytečnou a „odpadní“ energii.

Finančně nákladné investice do elektráren budou efektivně využívány pro elektrické klimatizační zařízení jen v letních měsících a tím klesá jejich účinnost. Proto v rozvojových i vyspělých zemích největší podporu nekompresorovým chladicím jednotkám poskytují energetické společnosti, vlády a environmentální hnutí a skupiny.

Investiční náklady na vybudování systému absorpčního chlazení jsou v dnešní době nepatrně vyšší než systémy s kompresním cyklem.

Vývoj systémů absorpčního chlazení prošel ve světě za posledních 5 let významnou technickou inovací a expanzí prodeje ve světě a instalace absorpčních chladičů snížily pořizovací cenu investice na srovnatelnou úroveň s kompresorovými chladiči, které jsou poháněné výhradně elektrickou energií.

Zařízení jsou velmi ekologická – eliminuje nepříznivé vlivy pro životní prostředí (pracuje s jiným druhem ekologického plniva) a má zanedbatelnou spotřebu elektřiny. Zařízení disponuje vysokou účinností pro rekuperaci tepla k dalšímu vytápění. Počáteční náklady za pořízení mají rychlou návratnost díky významné úspoře elektrické energie.

Studie ekonomiky jednotlivých budov a výrobních provozů ukazují, že vzhledem k vzrůstajícím cenám elektrické energie již dnes převládá výhoda investic do instalací nových absorpčních chladicích systémů.

Absorpční chladiče lze použít i pro účely vytápění a chlazení současně použitím chladicí vody procesu z absorberu a kondenzátoru.

Nejjednodušší absorpční systém je jednostupňový systém s jedním absorberem a jedním generátorem. Výhody zahrnují nižší investiční náklady. Použití vícestupňových absorberů nebo generátorů zvyšuje výkon samotného systému, ale také investiční náklady. Proto se používají pouze pro velmi velké výkony.

Dnes se standardně vyrábí absorpční chladiče od výkonu 35 kW až do 17 500 kW a v nízkých výkonech dnes umí plně nahradit kompresorový systém chlazení. Ve velkých chladících výkonech nemá v současnosti kompresorové chlazení z ekonomického hlediska význam oproti absorpčnímu chlazení.

Nevýhodou absorpčních chladičů je především nepatrně větší rozměr a větší váha zařízení. [15] [8]

Pro názornost je níže fotografie průmyslově vyráběného ATČ. Zástavbové prostory jsou větší než u kompresorových jednotek.



Obrázek 11: Absorpční tepelné čerpadlo [16]

## 11 Průmyslové aplikace

V této kapitole se zaměříme na finální způsob využití absorpčních tepelných čerpadel v průmyslu. Aplikace jsou uváděny podle průmyslových sektorů, s tím, že v některých jsou uvedeny i konkrétní stojící a provozované absorpční jednotky.



## 11.1 Potravinářský průmysl, zemědělství

V tomto odvětví je značná potřeba po strojním chlazení, během celého roku po TUV a sezónně po vytápění. Na toto odvětví se v rámci této práce více zaměříme, protože umožňuje širší uplatnění ATČ. Zejména je řeč o pivovarech, závodech mléčného, masného a jiného zpracovatelského průmyslu. Vyzdvihl bych i cukrovary, kde je produkce odpadních tepel značná. Situace je taková, že se jich stále málo využívá.

Dodržení optimálních podmínek při skladování potravin je nutné zajistit chladicím zařízením. Kondenzační teplo se v tomto případě často odvádí do okolí prostřednictvím chladicí věže nebo vodního chlazení. Výhodné je využít kondenzační stranu chladicího zařízení pro funkci tepelného čerpadla. Pokud se požadavky na vytápění a chlazení vyskytují současně, bude zásobování teplem z chladicího zařízení velmi ekonomické. Pro realizaci výše uvedeného je však nezbytné dodržení následujících podmínek. Objekt, kde teplo bude spotřebováno, musí ležet v blízkosti chladicího zařízení a uživatel musí mít nízkoteplotní vytápěcí systém. Teplo lze tedy následně zužitkovat pro vytápění pracovních prostorů a sociálních zařízení nebo na přípravu TUV. Pokud provozovatel nespotřebuje vyrobené teplo, je účelné v blízkosti předem vhodného odběratele zajistit.

### 11.1.1 Mlékárenský průmysl

Průmyslové zpracování mléka umožňuje spoustu variací jak účelně realizovat současné procesy chlazení a pasterizace. Rovněž chceme zajistit vhodné podmínky ve zracích komorách pro sýry, skladech mléčných výrobků, při zmrazování, ztužování a podobně. Vzhledem k tomu, že je poptávka jak po teple i chladu, nabízí se možnost uplatnění ATČ v tomto oboru.

Při zpracování mléka je typický požadavek na přenos tepla a chladicí operace. Aplikace mohou být následující:

#### 1. Proces pasterizace

Dnes se velmi často setkáme s procesem tzv. HTST (high temperature & short time pasteurization) pasterizací. Potraviny jsou vystaveny vyšší teplotě (70°C), avšak na kratší dobu (max 30 vteřin.) Využívá se pára nebo horká voda pro topný okruh a studená voda pro okruh chladicí. ATČ by se mohlo podílet na snížení energetických nákladů právě při této operaci.

#### 2. Odparka

Nejčastěji se využívá vícestupňová odparka za účelem zahuštění mléka. Na konci tohoto procesu jsou páry odvedeny a kondenzovány. Chladicí voda užívaná pro kondenzaci se přivádí z chladicí

věže. Obsah tepla v páře třetího stupně odparky je okolo 7% tepla, které jsme přivedli na první stupeň odparky. [17]

Právě tato energie může být „upgradeována“ užitím TČ na vyšší energetickou hladinu. Aplikace ATČ v tomto případě tedy eliminuje použití kondenzátoru a chladicí věže a tedy sníží počáteční náklady. ATČ takto začleněné nazýváme přímo zapojené TČ.

### 3. Rozprašovací sušárna

Sušené mléko je vzhledem k nízkému obsahu vody stabilnější, nemůže v něm probíhat nebo se velmi zpomalí mikrobiologická degradace. Sušárny, kde tento proces probíhá, nejsou příliš energeticky efektivní. Vzduch, který vstupuje má teplotu 210°C a je vypouštěn ze sušárny o teplotě 90°C. Tedy okolo 50% vypouštěného tepla lze chápat jako odpadní. Můžeme ho povýšit, neboli přečerpat na vyšší teplotní úroveň a znovu zužítkovat.

### 4. Chlazení

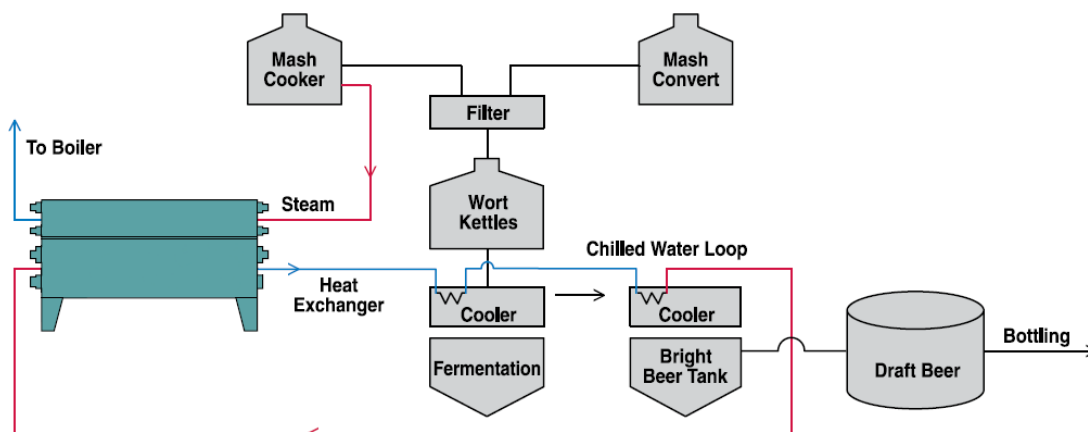
Všechny mlékárny mají zařízení na skladování mléčných výrobků. Technologie chlazení se však přímo uplatňuje i ve výrobě některých mléčných produktů. Zde nám jde opět o teplo z kondenzátorů chladicích jednotek, které se jinak vypouští do ovzduší. Zde se otevírá cesta pro ATČ, které odpadní teplo zužitkuje a teplá voda jako produkt může být zpět v procesu.

#### 11.1.2 Pivovarnictví

Stejně jako v jiném zpracovatelském průmyslu, tak i zde nasazení ATČ umožňuje zlepšení energetické účinnosti a snížení provozních nákladů. Instalace TČ v tomto odvětví, ať už se jedná o tradiční pivovar nebo minipivovar, se mimo jiné projeví také na ochraně životního prostředí a tím pádem i na kladném hodnocení image dané značky mezi veřejností. Teplo se může z procesu odvádět v různých fázích jako je rmutovací nebo mladinová pánev. Výstup chladicí vody může být použit po uvaření piva, kdy se výsledná kapalina známá jako mladina musí rychle ochladit pod 32°C aby se zabránilo růstu bakterií. Výroba piva tradičně vyžaduje také chlazení při hlavním kvašení i při dokvašování. Kromě chlazení mladiny musíme uchladit i pivní tanky při dozrávání piva. To probíhá při teplotě do 4-5°C. Výčepní piva leží přibližně 20 dnů, ležáky až 60 dnů. Technologii využití ATČ v pivovarech lze nalézt i v tuzemsku při chlazení Plzeňského Prazdroje. Jedná se o instalaci dvou absorpčních jednotek o výkonu 2 x 1500 kW. Schéma provozu s ATČ a fotografie reálné provozovaného ATČ jsou níže.



Obrázek 12: Absorpční tepelná čerpadla v areálu Plzeňského Prazdroje [18]



Obrázek 13: Schematické zapojení ATČ v pivovaru [19]

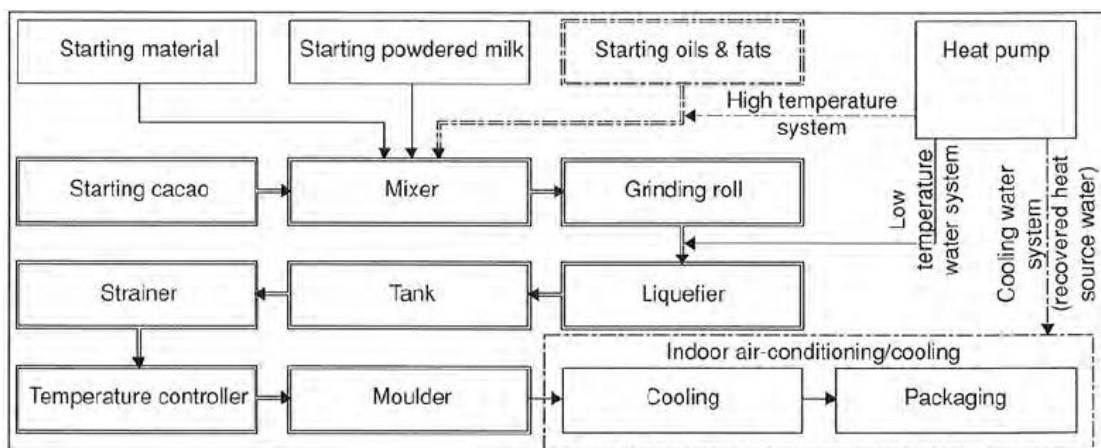
### 11.1.3 Výroba čokolády

Společnost Tokai Works, Meiji Seiko Ltd. se nachází v Fujieda City, prefektuře Shizuoka v Japonsku, na pobřeží Tichého oceánu a vyrábí širokou škálu cukrovinek, jako jsou čokolády a jiné v hodnotě přibližně 30 000 milionů jenů ročně. Diverzita výrobků je značná. Rozdílné jsou tedy i tepelné požadavky v procesech. To má za následek obtíže při hledání vhodných opatření na úspory energie. Nicméně, v důsledku hloubkové expertízy bylo zjištěno, že tepelné zatížení uvnitř provozu je stabilní po celý rok. Na výrobní lince existují procesy s nárokem na chlazení i ohřev. Proto zavedení absorpčního tepelného čerpadla do čokoládové linky bylo logickým krokem.

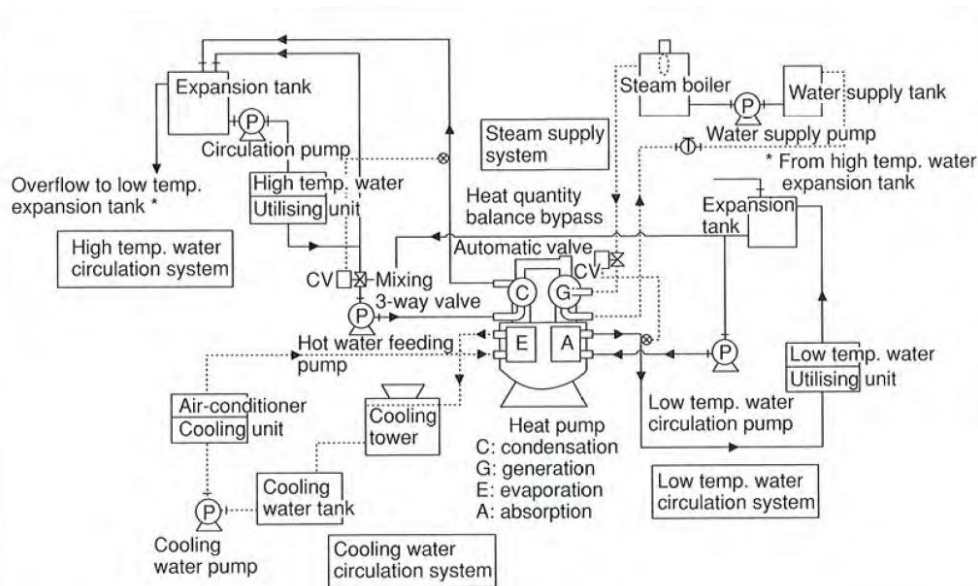
Tokai Works zavedla systém absorpčního tepelného čerpadla do své výroby čokolády v lednu 1985. Systém zároveň produkuje ochlazenou vodu pro klimatizaci, horkou vodu pro ohřev olejů a tuků jako výchozí materiál, a také temperační vodu, aby se zabránilo tvrdnutí čokolády během procesu.

Jak je znázorněno na obrázku č. 14, výrobní linka na čokoládu se skládá z řady po sobě jdoucích procesů, tj. směšování základních složek (kakao, cukr, sušené mléko, oleje, tuky), mletí,

zkapařování, lití, chlazení a balení. Vysoká teplota vody (58°C) je nutná pro ohřev oleje a tuku a následné udržování na této teplotní hladině, zatímco voda o teplotě 43°C je nezbytná aby se předešlo tuhnutí směsi během míchání a lití. Chladná voda (21°C) se používá pro chlazení balírny. ATČ tedy v tomto provozu uspokojuje hned tři požadavky na teplo současně. Na obrázku č. 15 je zřetelný provozní oběh. Technická data jsou zaznamenána v tabulce č. 3. Od spuštění provozu, je ATČ využíváno v tomto podniku 24 hodin denně a okolo 8 750 hodin ročně. Topný faktor je 1,67 a počet let potřebných k navrácení investice je 2,5. [20]



Obrázek 14: Schéma provozu linky na výrobu čokolády [20]



Obrázek 15: Schéma zapojení ATČ v čokoládovně [20]

Parametry ATČ	
Výrobce/typ:	Sanyo Electric Co., Ltd./AH-50XVS
Provozní systém:	H <sub>2</sub> O/LiBr
Topná kapacita:	237 kW (absorbér), 181 kW (kondenzátor)
Dodávané teplo:	167 kW (strana výparníku)
Vnější rozměry:	3,4 m (délka) x 1,9 m (šířka) x 2,6 m (výška)
Provozní hmotnost:	6,2 tun

Tabulka 3: Parametry ATČ v čokoládovně [20]

### Údržba a kontrola

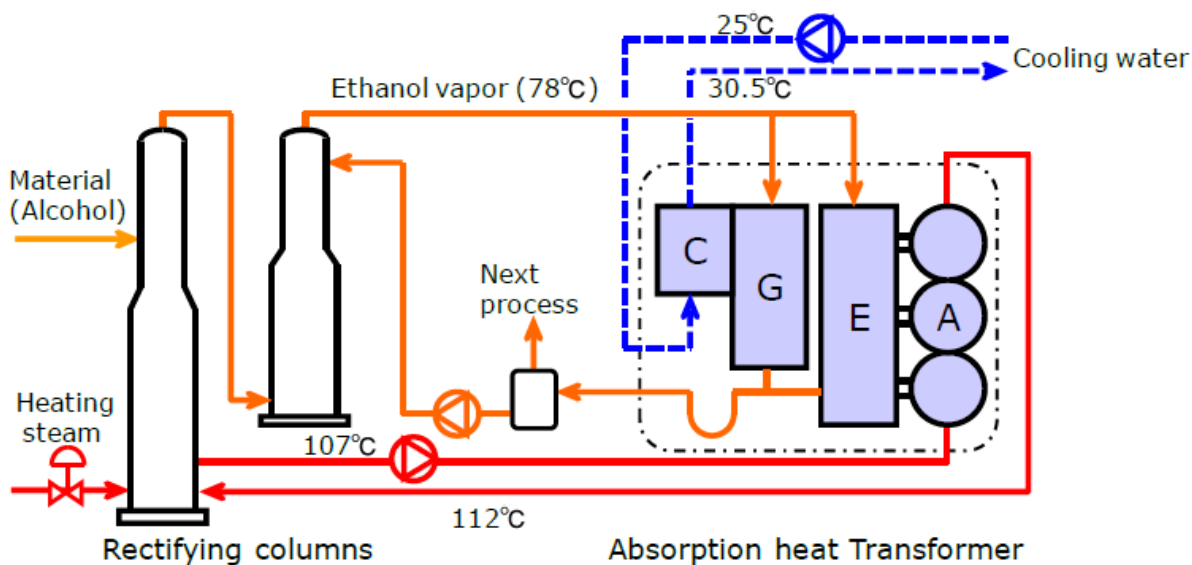
Aby byl zachován správný chod ATČ, je nezbytné odvodušňovat systém dvakrát týdně vždy po 15 minutách. Také je třeba jednou ročně zajistit revizi systému. Při této příležitosti je vhodné vyčistit potrubí tepelného výměníku.

### Efekt a ekonomika

Požadované množství páry bylo 3100 tun/rok. Se zavedením ATČ bylo možno odstavit dva kotle na topné oleje, což odhadem vedlo k úspoře 500 litrů topného oleje denně. Vzhledem k tomu že byly také odstraněny skladovací olejové nádrže a další pomocná zařízení, tak klesly náklady na údržbu. Nahrazení kotle na topné oleje kotlem plynovým mělo příznivý vliv na čistotu výfukových plynů. Díky využití odpadního tepla bylo ušetřeno 167 kW elektrické energie v zimě a 158 kW v létě. [20]

#### 11.1.4 Lihovar

Dalším příkladem instalace ATČ je použití v zařízení na destilaci, čili v palírně nebo lihovaru. O uplatnění při destilaci bude ještě pojednáno později. Dále budou prezentována data z jednoho lihovaru v Japonsku. Potřebné teplo pro desorpci lze zajistit parami z rektifikační kolony. Ty v našem případě jsou odváděny, zkondenzovány a je k dispozici horká voda o teplotě 78° C. Ta je vedena jako zdroj tepla pro ATČ jednak do varníku (vypuzovače) a také do výparníku. Výstupní teplota horké vody je 112° C, navýšená z původních 107° C na vstupu. ATČ dodává teplo o 2 475 kW a spotřeba elektrické energie je 24 kW, tedy méně než jedno procento výstupu. Schéma provozu je naznačeno na obrázku č. 16. Topný faktor COP má hodnotu 0,47.



Obrázek 16: Schéma instalace ATČ v lihovaru [21]

C znamená kondenzátor, G varník (generátor), E výparník a A absorbér.

Na příkladu této instalace se odhaduje, že emise CO<sub>2</sub> by mohly být ročně zredukovány o 12 787 tun. [21]

## 11.2 Živočišná a rostlinná výroba

Chov zvířat vyžaduje udržovat klimatické podmínky vhodné pro jejich zdraví a růst. Zejména pak teplota hraje roli při chovu mladých kusů, v porodnách apod.

Specifickým zdrojem tepla při intenzivním chovu je biologické teplo zvířat (odváděné konvekcí z povrchů těl a vydýchané) a jejich produktů (exkrementů, mléka.) Biologické teplo představuje pro den a kus 36 MJ u dojnic, 28 MJ u býků na výkrm a 14 MJ u vepřů hmotnosti 100 kg. [2]

Větrací vzduch, kterým je toto teplo unášeno má velký podíl vlhkosti, prachu. Dokonce obsahuje i malé množství čpavku, což může mít za následek problémy při volbě materiálu a konstrukcí výměníků (nežebrované trubky, pravidelné ostřikování apod.) Proplachování lamel výměníků je potřeba z důvodu jejich zanášení.

Větrací vzduch se většinou vyfukuje do okolí a čerstvý se ohřívá. Nejjednodušší je tedy systém zpětného získávání tepla, kterým čerstvý vzduch predehřejeme jen s malým dohříváním. Pro zaměření této práce je však odpovídající řešení s použitím TČ v kooperaci se zpětným získáváním tepla. Druhým významným zdrojem jsou exkrementy zvířat. Ty obsahují velký podíl vložené energie v krmivu. Při skladování tekutých výkalů v otevřených jímkách se aerobním procesem hnůj zahřívá a vzniklé teplo se ztrácí. Toto teplo můžeme odvádět. Pokud dodržíme optimální teplotu kolem 25°C lze denně získat 2 až 4 MJ od 1 vepře a 15 až 30 MJ od jednoho kusu skotu. [1] [2]

Teplu můžeme získat ze vzduchu, kterým se hnůj provzdušňuje pro urychlení zrání, nebo výměníkem. Ten může být například vyroben z PVC a umístěn přímo ve hnoji.

Z předešlého textu je zřejmé, že uplatnění ATČ je možné především ve velkých provozech s nároky na ohřev, chlazení nebo oboje. Mezi tyto provozy můžeme zařadit velkokapacitní odchovny a výkrmny prasat, kravíny, teletníky, drůbežárny apod. Další perspektivní oblastí pro aplikaci TČ v živočišné výrobě je chov ryb, kde jsou rovněž požadavky na teplo i chlad. Pokud ve skladovací nádrži před započítím skladovací periody snížíme pomocí chladicího zařízení (CHZ) teplotu na 1 až 3°C, můžeme snížit případnou úmrtnost ryb. Ryby také nebudou pravděpodobně napadeny parazity a hustota ryb v nádrži může být vyšší. Na rozdíl od předešlého se při dlouhých mrazech tvoří na povrchu nádrže hrubší vrstva ledu. To zhoršuje odlov ryb. Změnou z chladicího režimu TČ na režim vytápěcí lze tomuto předejít a umožnit následný odlov. Pokud již jsou nádrže TČ vybaveny, ulehčí nám to časové období při chovu ryb. Pro to je nutná konstantní teplota vody v nádrži. Ta tedy musí být chlazená nebo vytápěná v závislosti na venkovní teplotě.

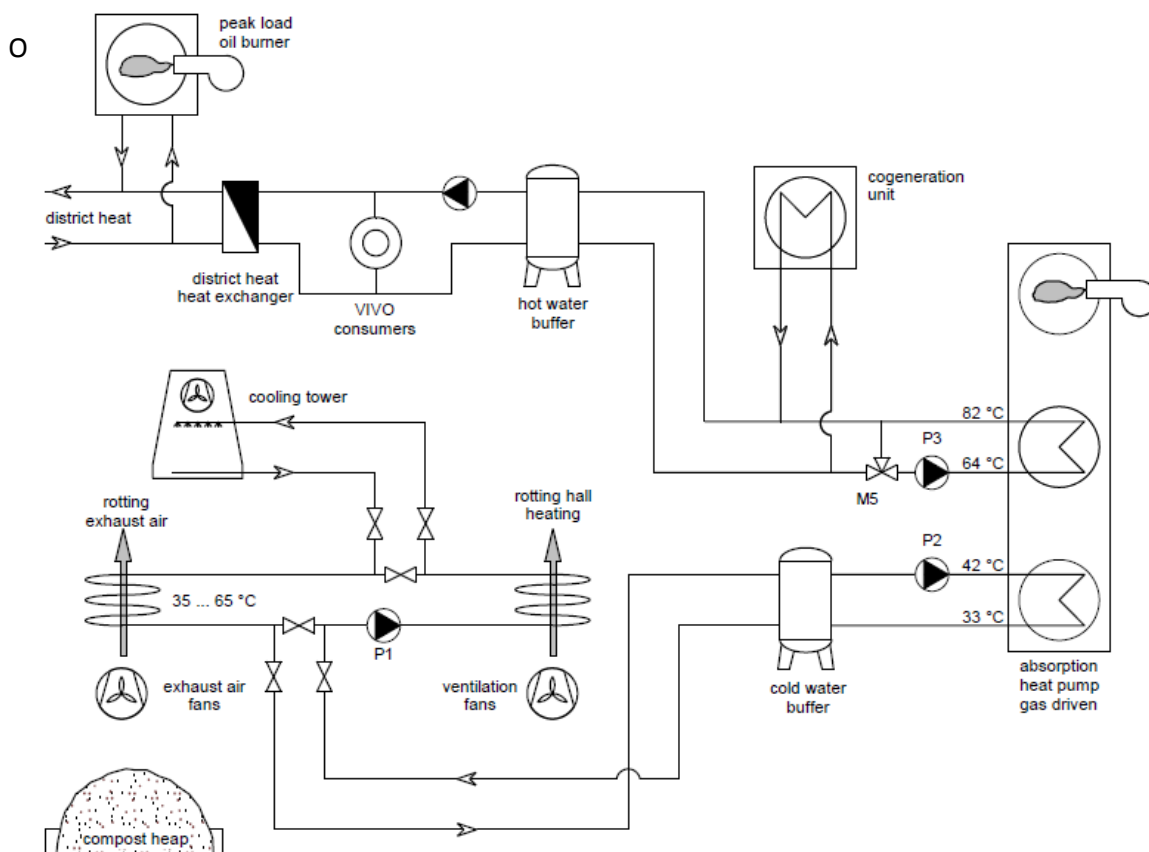
### **11.2.1 Rostlinná výroba**

TČ můžeme použít i ve sklenících a fóliovnících. To je však výhodné jen při současné potřebě vytápění a nároku po chlazení. Skleníky je třeba vytápět a vysušovat od vlhkosti vypařené ze země. K dispozici by měl být také vhodný zdroj tepla, který tentokrát nebude odpadního charakteru. Lze využít spodní vodu. Ve sklenících se snažíme udržovat konstantní teplotu kolem 20- 30°C nutnou pro vyklíčení rostlin. Vlhkost vzduchu se rovněž mění mezi zalévacími cykly mezi 50- 80%. Zdrojem tepla pro TČ jsou zásobníky teplé vody, které akumulují kondenzační teplo ze zabudovaných CHZ. Je také vhodné zvážit možnost situování skleníků do blízkosti zdrojů nízkopotenciálních a odpadních tepel. Tyto zdroje mohou být např. plynovodní kompresní stanice nebo tepelné centrály. Další oblastí v rostlinné výrobě, kde je možné uplatnit ATČ, jsou sušárny zemědělských rostlinných produktů, jako je obilí, chmel, tabák, píce a další. Píce se má vysušit na zbytkovou vlhkost 16% doporučenou pro skladování. Snížení relativní vlhkosti lze docílit zvýšením teploty a to buď konvenčním ohřevem nebo pomocí TČ. Výrazně lze sušení dále zvýhodnit použitím solárních kolektorů pro přímý ohřev vzduchu.

### **11.2.2 Využití odpadního tepla z kompostárny**

Kompostárna je technologické zařízení, ve kterém za aerobních podmínek dochází ke zpracování organických surovin, jejichž finálním produktem je kompost. Jednostupňové ATČ bylo instalováno na komunální skládce odpadu ve Wargnau (Německo), za účelem využití tepla produkovaného aerobním tlejícím procesem organického odpadu. Během procesu můžeme v některých místech kompostu naměřit teploty až 75°C. Po zhruba čtyřiceti dnech rozkladný

proces končí na teplotě okolo 30°C. Kompost opouští zařízení a je použit na zemědělské účely. Během tlejícího procesu jsou hromady kompostu nuceně větrány, aby byl zachován patřičný přísun kyslíku. Teplý vlhký vzduch z první části kompostárny je následně využit jako zdroj tepla pro speciálně navržené TČ.



Obrázek 17: Schéma provozu kompostárny s integrací ATČ [22]

Schéma na obr. 17 ukazuje integraci GAHP do systému zásobování energií v zařízení na zpracování odpadu. Vzhledem k přerušovaným procesům nucené ventilace vzduchu a pohybujícím se hromadám kompostu vykazuje teplota odváděného vzduchu významné odchylky v čase. Proto byl ve smyčce s chladnou vodou zařazen vyrovnávací zásobník o objemu 4500 litrů, který udržuje konstantní teplotní úroveň přívodu (33°C) a vratné vody (42°C), která slouží k přívodu tepla do výparníku tepelného čerpadla.

Tepelné čerpadlo zajišťuje v okruhu topné vody konstantní teplotu 82°C bez ohledu na aktuální provozní stav. Plynový hořák se reguluje od 325 do 600 kW v závislosti na provozním stavu TČ. Tepelné čerpadlo je navrženo na pro COP okolo 1,6 při 50 % částečném zatížení. Při plném zatížení je COP 1,65. Pokud přihlídneme k účinnosti hořáku, která je 88%, pak při částečném zatížení je



PER roven 1,45. TČ pracuje spolehlivě od roku 2005. Nyní jsou požadovány další modifikace v instalaci systému za účelem zvýšení tepelného výkonu při vytápění zajišťující kontinuální využití TČ i při vysokém zatížení. [22]

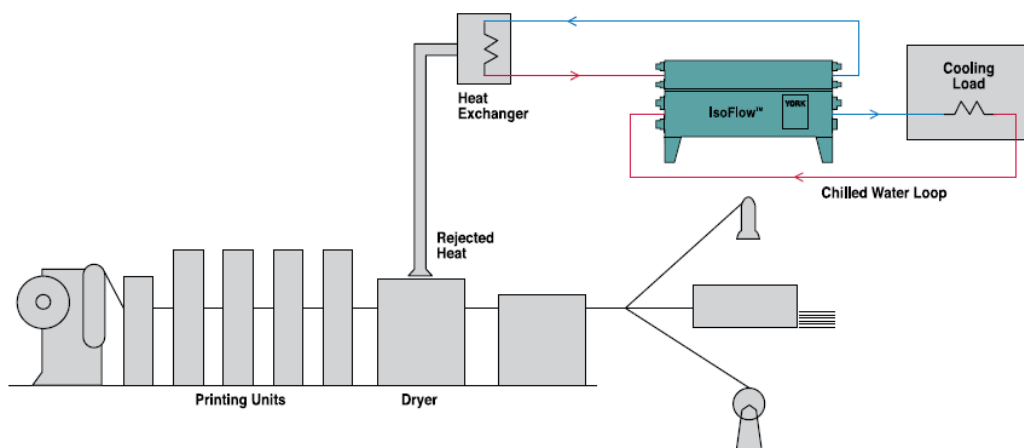


Obrázek 18: Vlevo: Kompostárna zajišťující zdroj tepla pro ATČ, Vpravo: ATČ v provozu kompostárny [22]

### 11.3 Dřevařský, papírenský průmysl

#### 11.3.1 Průmyslový tisk

Tiskařský provoz je tvořen mnoha tiskovými jednotkami, které nanášejí inkoust na kontinuálně proudící papír. ATČ může částečně využívat vzduch určený pro vysoušení nanesených vrstev inkoustu na papír. To se realizuje ve velkých sušičkách. Zde se vypařují rozpouštědla z inkoustu při teplotách kolem 150°C. Za účelem kontroly emisí těkavých látek jsou často přidávány také oxidační činidla, což ještě více ohřeje vzduch, který následně využijeme jako odpadní teplo. Po opuštění sušárny, materiál proudí do sekce chlazení sestávající z řady válců, které obsahují studenou vodu. Z toho je patrná simultánní potřeba tepla i chladu, příznačná pro ATČ. Následující schéma na obr. 19 ukazuje možnou integraci ATČ do provozu tisku. Zařízení je zapojeno do centrálního rozvodu chlazené vody.



Obrázek 19: Schéma tiskařské linky s implementací ATČ [19]

Známa je i realizace v tiskárně Svoboda Press v ČR, kdy je absorpční stroj použit jako doplňkový zdroj pro turbokompresorové chlazení, které v současné době již výkonově nestačí uchladiť centrální klimatizaci a rotační stroje. Zařízení pracuje v automatickém režimu.

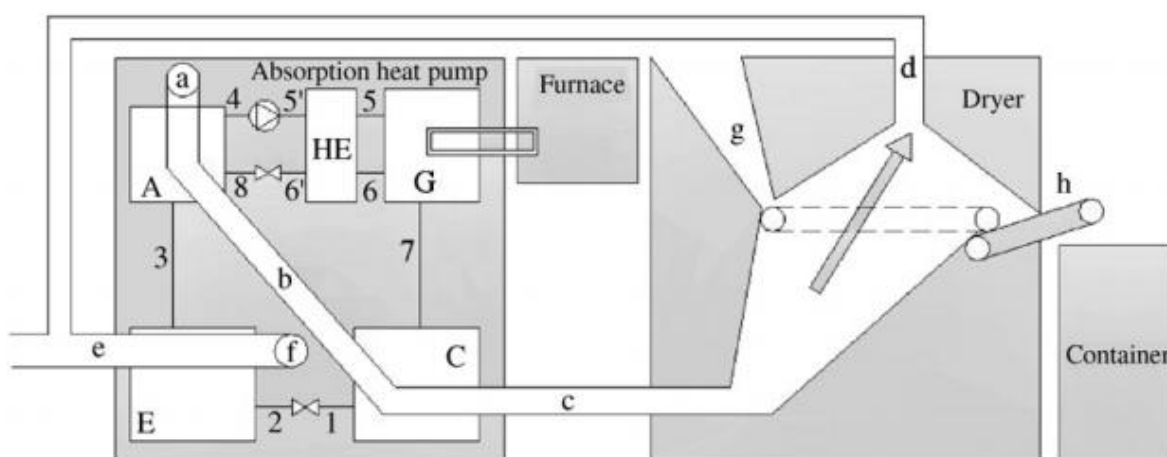
### 11.3.2 Sušení dřeva

Sušení jako proces by mohl zaujímat klidně celou kapitolu, nyní se ale podíváme na sušení dřeva. Sušení dřeva urychlíme nuceně proudícím vzduchem vyšší teploty a nižší vlhkosti oproti vzduchu atmosférickému. Cílem je také zabránit hnití a plesnivění, vyloučit tvarové změny a snížit ztráty poškozením. Kromě konvenčního ohřevu se uplatňují i TČ. Dřevo lze sušit buďto jednoetapově nebo dvouetapově. V prvním případě se tedy vysuší v jedné operaci na konečnou vlhkost zhruba 10 %, v druhém jmenovaném se v poměrně krátké době v předsušárně odejme dřevu rozhodující podíl vlhkosti (70%), zbytek se odebere ve druhé etapě. Teplota sušícího vzduchu je okolo 40°C. Tím získáme výhodnou jakost dřeva. Jsou známy sušárny s tepelným čerpadlem, které jsou ekonomicky vyhodnoceny se závěrem, že proti konvenčnímu ohřevu vzduchu párou přináší roční úsporu provozních nákladů od 12 % [2]. To závisí na pořizovací ceně.

Vhodné je situovat tyto sušárny do průmyslových zón, kde se naskýtají příležitosti pro využití odpadního tepla z jiných provozů.

Energetická spotřeba při sušení dřeva tvoří nemalý podíl nákladů při obecném zpracování dřeva, proto je vhodné se zabývat její minimalizací. Například dřevní štěpka se suší v konvekční sušárně způsobem, který je zobrazen na obrázku č. 20 níže. Sušením dřevní štěpky lze relativně dobře ovlivnit její výhřevnost. Dřevní materiál je dopravován od vstupu sušárny (g) k výstupu (h) pásovým dopravníkem. Ohřátý vzduch je přiváděn do sušárny (c), cirkuluje přes dopravní pás a vrstvu dřevní štěpky a poté odchází ven (d). V sušárně dochází k přenosu tepla a hmoty mezi sušícím vzduchem a dřevní štěpkou. Pro proces sušení je nutné ohřát sušící vzduch z teploty okolí

(a) na teplotu požadovanou pro vstup do sušárny (c). Toto zajišťuje absorpční tepelné čerpadlo. Jeho integrace do procesu sušení je demonstrována na obrázku č. 20. V absorbéru (A), chudý roztok (8) absorbuje nízkotlaké páry z výparníku (E). Absorpční proces je exotermická reakce. Čili uvolněná energie ohřívá sušící vzduch z místa (a) do místa (b). Pro správnou funkci ATČ musí být do generátoru (G) dodáváno teplo na vyšší teplotní hladinu. Tato fáze se může realizovat spalováním dřeva v peci. Ta je na schématu paralelně připojena k varníku a označena jako furnace. Popis chodu ATČ již byl vysvětlen v předchozí kapitole. Vysokotlaká pára z generátoru (7) jde dále do kondenzátoru (C), kde kondenzuje a předává energii sušícímu vzduchu z (b) do (c). Zkapalněné chladivo je přivedeno do škrťacího ventilu (1-2), kde expanduje na nízký tlak. Následně je vypařeno ve výparníku (E). Energie potřebná pro odpaření může být dodána z okolí, nebo přivedena z výstupu sušičky (d). [23]



Obrázek 20: Schéma sušící linky se systémem ATČ [23]

Teplota sušícího vzduchu bývá okolo 40- 60° C, což je pro vysoušení dřeva ideální a šetrné. Rychlost vzduchu se doporučuje 1,5 až 2 m.s<sup>-1</sup>. Tento proces je výhodný také v tom, že proces vysušování je kontrolovatelný sledováním množství odsušené vody. Podobné zařízení nemusí být nutně využito jen na sušení dřeva, ale i na sušení potravinářských produktů (např. čaj) a hospodářských produktů. Takto lze sušit např. stavební dílce ze sádry (7- 60 cm tlusté), keramické dílce, křídou apod. Zároveň můžeme tímto způsobem odvlhčovat ovzduší velkých průmyslových objektů, v krytých plovárnách a v jiných objektech s výskytem velké vlhkosti.

Do kategorie těchto objektů můžeme zařadit i vodárenské objekty a strojovny nebo rozvodny na úpravu pitné vody. Rozvodné potrubí se kvůli zabránění korozivního napadení vlivem vysrážené vlhkosti izoluje. Tato izolace je však zbytečná ve chvíli, kdy je v místnosti vzduch s teplotou rosného bodu vyšší, než je povrchová teplota rozvodných vedení. Zde se tedy otvírá další možný úkol pro ATČ. Navíc by bylo možné jej využít i na vytápění sociálních místností a pracovních prostor. [3]

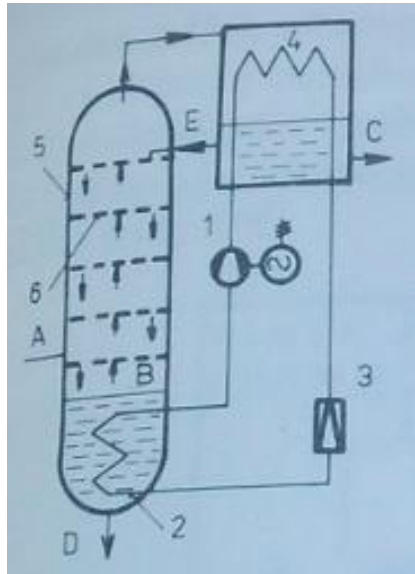
## 11.4 Chemický průmysl

Chemický průmysl je celosvětově velmi dynamicky rozvíjející se sektor. Pro nás je zajímavý tím, že je v něm spousta energeticky náročných procesů např. při výrobě hnojiv, léčiv, při zpracování ropy a následných produktů atp.

### 11.4.1 Destilace

Na uskutečnění procesů separace směsi látek pomocí destilace s tepelnými čerpadly jsou nejvýhodnější tzv. otevřené oběhy tepelných čerpadel. V těchto případech je totiž pracovní látkou oběhu TČ samotná látka zúčastňující se technologického procesu. Při otevřeném systému TČ je výparník tepelného čerpadla a kondenzátor kolony totožný, protože kondenzující pára odevzdává z procesu při vyšším tlaku svoje výparné teplo přímo v procesu vypařující se látce (viz. obr. č. 21.) Další pracovní látka již je pro oběh TČ nepotřebná. Rozdíl mezi kondenzační a výparnou teplotou, kterou musí TČ překlenout, je nevyhnutelný jen z důvodu nevratnosti procesu přestupu a pro náhradu separační práce. Proto můžeme v těchto případech dosáhnout velkých výkonových čísel.

Využití uzavřeného okruhu TČ v daných případech je odůvodnitelné jen tehdy, když jsou kladeny velké nároky na čistotu separovaných látek. Ve funkci kompresorů se v cyklech TČ kromě mechanických kompresorů uplatňuje samozřejmě i pro nás zajímavý absorpční a desorpční proces. Ale v praxi se využívají i jiné typy např. ejektorové kompresory, scroll kompresory a turbokompresory. Ve výměnících tepla TČ jsou z důvodu zvýšení výkonového čísla nižší rozdíly teplot jako při přímém vytápění parou anebo při vodním chlazení v běžných technologických procesech. Proto budou teplosměnné plochy větší, což bývá příčinou vyšších investičních nákladů. V důsledku vyšších ročních provozních hodin velkých zařízení nejsou energetické náklady vůbec zanedbatelné. Proto se instalace úsporných TČ stává stále více výhodnou. [3]



Obrázek 21: Separace směsi látek otevřeným oběhem TČ [3]

Vysvětlivky:

- 1- Mechanický kompresor, který zde může být nahrazen jiným typem
- 2- Kondenzátor TČ/ vařák kolony
- 3- Škrťací ventil
- 4- Výparník TČ/ kondenzátor kolony
- 5- Rektifikační kolona
- 6- Patra kolony
- A- Surovina
- B- Páry produktu
- C- Kondenzátor
- D- Odběr
- E- Reflux kondenzátu

## 11.5 Průmyslové objekty s klimatizací

Moderní objekty, jako jsou výpočetní centra, průmyslové superpočítače, obecně technologické procesy v elektronice, v optice a v přesné mechanice vyžadují regulaci ovzduší. Nové objekty se dnes budují výlučně jen s klimatizací, jelikož jsou kladeny požadavky na parametry ovzduší pramenící z pracovní hygieny. Tyto požadavky na klimatizační zařízení jsou striktnější než-li je tomu v komunální sféře. Z toho plyne, že je užitečné opět uskutečnit kombinované vytápění a chlazení. TČ tyto úkony může plnit současně anebo střídavě. Záleží na okamžitých požadavcích.

V době nástupu cloudových řešení přichází nutnost tvorby prostorů, které jsou určené pro uchování hardwaru. Servery, které zajišťují síťové aplikace, nejsou levná záležitost, proto je nutné splnit podmínky hladkého chodu těchto strojů. Základní podmínkou je správná pracovní teplota. Server je velmi výkonné zařízení, které je často náchylné k přehřívání. Běží 24/7/365 a vyžaduje udržení teploty na stanovené úrovni. Tím nastává problém v celoročním chlazení těchto zařízení. Datacentrum využívá k chlazení systém teplé a studené uličky. Princip je jednoduchý. Studený vzduch je přiveden studenou uličkou na vstup do počítačů, které ho nasají, ohřejí a vyfouknou do teplé uličky. Tento teplý vzduch je následně ochlazen a předán zpět do studené uličky. Tato neustálá výměna jednoho objemu vzduchu má za výhodu neprašnost prostředí, konstantní vlhkost a konstantní tlak. Teplo vytvořené servery, datovými sklady a dalšími síťovými prvky je ze vzduchu předáno do vody (má vyšší měrnou kapacitu). Takto ohřátá voda je odvedena ze serverovny pryč a nastává úkol ochladit kapalinu zpět na požadovanou teplotu. Zde se otevírá prostor pro absorpční tepelná čerpadla. Ty mohou ohřátou vodu ze serverovny zhodnotit a dále například vytápět přilehlé prostory serverovny. Nebo mohou být zapojeny jako absorpční chladiče a chladit prostor serverovny. Odpadní teplo v tomto případě napomáhá separaci složek v desorbéru.

## 11.6 Gumárenský průmysl

ATČ má své aplikace v průmyslovém měřítku i v Číně. Následující aplikace využívá odpadní teplo par o teplotě 98° C. Ty unikají v závodu na výrobu syntetické gumy společnosti Yanshan Petrochemical Corporation v Pekingu. ATČ zde ohřívá vodu z 95 na 105° C a vede ji zpět do procesu. Pracovními médii je kombinace voda/ LiBr. Pro absorbér, výparník a generátor jsou zde použity vertikální tepelné výměníky využívající stékání tenkého filmu po stěně. To má následující výhody. Ve stékajícím filmu není tlaková ztráta, takže skořepinová strana tepelného výměníku může být provozována za vyššího tlaku než ostatní typy. Další výhodou je větší přenos tepla a skutečnost, že jednoduchá konstrukce tohoto výměníku napomáhá nepropustnosti systému ATČ.

[24]

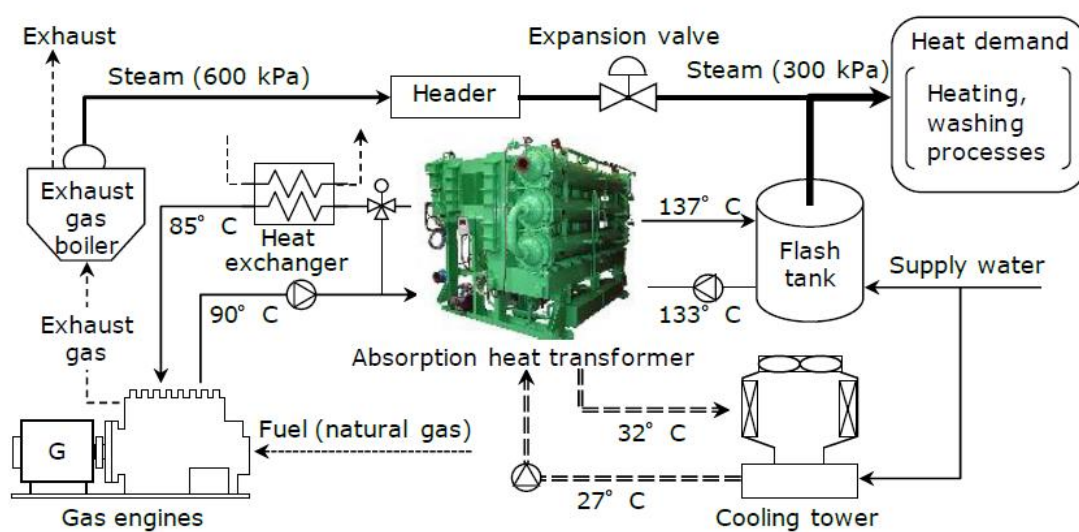


Obrázek 22: Fotografie ATČ v závodu na výrobu syntetické gumy [24]

## 11.7 Energetický průmysl

### 11.7.1 Kogenerace

O propojení technologie kogenerace a absorpčního chlazení již bylo pojednáno v kapitole Trigenerace. Jedno takové zařízení je začleněno do struktury jednoho japonského závodu na výrobu komponent pro motocykly. Původní, přímo otápěný kotel na výrobu páry pro potřeby provozu byl nahrazen systémem trigenerace. Schéma zapojení je níže na obrázku č. 23.



Obrázek 23: Schéma zapojení ATČ v kogeneraci ve výrobním podniku [21]

Jako zdroj tepla slouží voda o teplotě 90° C z plynového motoru. ATČ produkuje v absorbéru horkou vodu o teplotě 137° C, která se následně vypařuje při tlaku 300 kPa. Pára je dále použita pro potřeby vytápění, mytí, vysoušení po barvení atd. Maximální produkce této páry je 250 kg/hod. Tento systém zde slouží od roku 2007. Celková účinnost systému bez ATČ se předpokládala okolo 74 %. Po instalaci ATČ stoupla účinnost o 13,7%. Pokud předpokládáme roční provoz 8000 hodin, pak odhadem omezíme emise CO<sub>2</sub> o 776 tun ročně. Doba navrácení investice byla vypočtena na 4 roky. [21]

### **11.7.2 Obnovitelné zdroje energie**

V dlouhodobém horizontu je možno očekávat rozmach tepelných čerpadel poháněných spalovacími motory na bioplyn, absorpčních tepelných čerpadel, kde je "pohonné" teplo také získáváno spalováním biomasy. Tyto aplikace kombinující využívání několika druhů obnovitelných zdrojů pomohou dále intenzifikovat využití OZE. Výhledově budou zajímavé i kombinace elektrických tepelných čerpadel a palivových článků. Při detailnějším a komplexním hodnocení je nutno dále zohlednit i ztráty během transformací a přenosu energie, podíl elektřiny získané z obnovitelných zdrojů energie, výši modulu teplotní výroby elektřiny v rámci státu, ekologické a ekonomické aspekty. [25]

Velmi častá je zejména kombinace solárního kolektoru s TČ.

#### **11.7.2.1 Solární kolektory a ATČ**

Sluneční záření převedené solárním systémem na tepelnou energii může sloužit jako energetický zdroj pro TČ. Teplo ze solární energie se pro účely vytápění získává a využívá dvojím způsobem: aktivním a pasivním. Myšlenka kombinovaného systému s maximálním využitím jednotlivých složek je postavena na spolupráci aktivního solárního systému s TČ. Myšlenka spolupráce aktivního solárního systému a tepelného čerpadla je založena na těchto předpokladech:

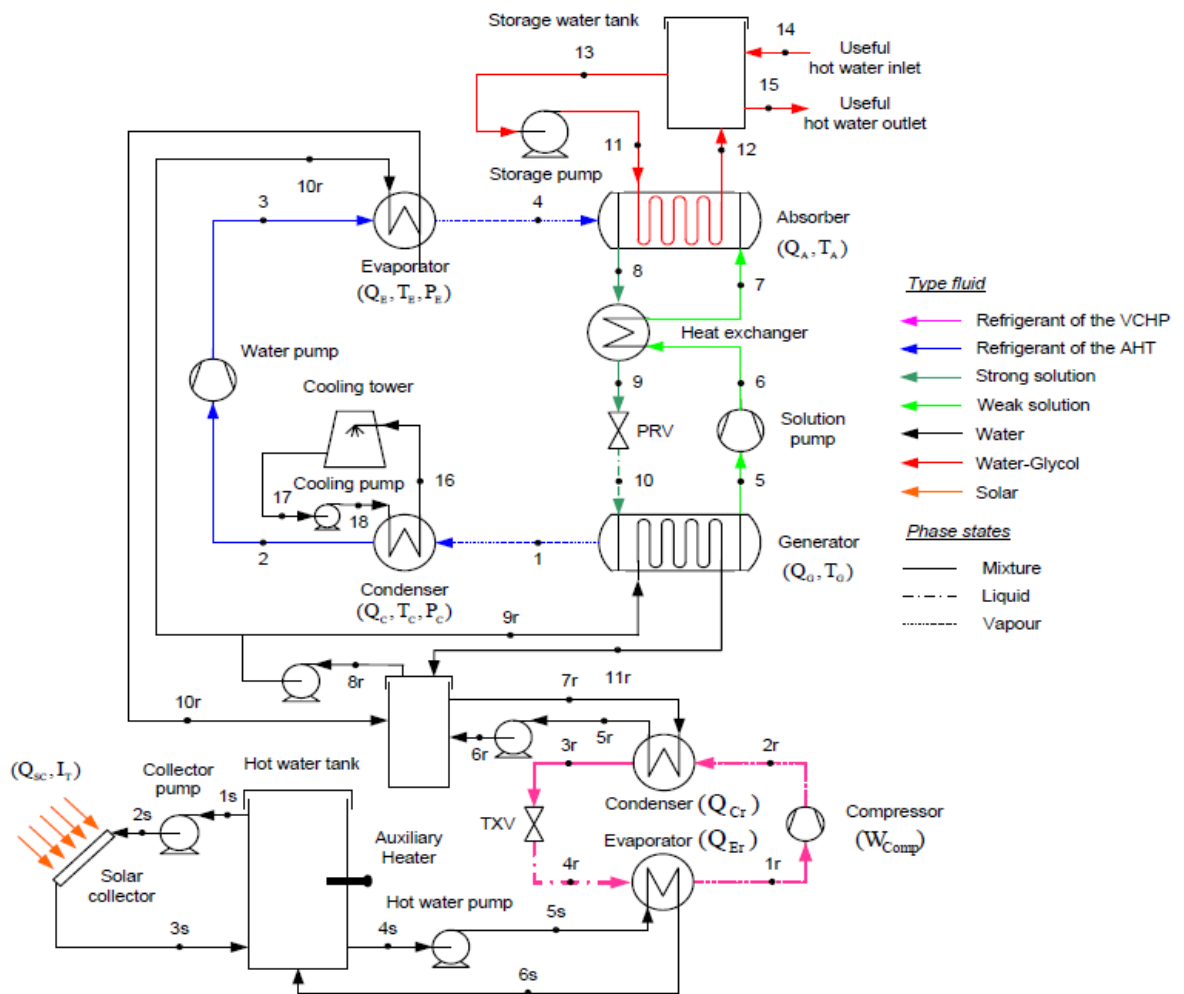
- účinnost kolektoru a množství tepla získaného z kolektorového systému závisí na teplotě ohřívajícího média,
- účinnost a množství tepla je tím větší, čím nižší je tato teplota,
- použije-li se získané teplo jako nízkopotenciální pro tepelné čerpadlo, může jeho teplota být o desítky °C nižší než pro přímé vytápění a přípravu TUV.

Pokud již byla provedena realizace kombinovaného systému, byla po technické stránce řešena následujícím způsobem. Oba systémy v kombinovaném zapojení pracují nezávisle. To znamená, že mají společnou akumulaci nádrží a solární systém "pouze" zvyšuje teplotu topného média v akumulaci nádrží, čímž se zvedne účinnost celého systému, a také topný faktor tepelného



čerpadla. Pro efektivnost takového zapojení je nutné správně zvolit plochu solárních kolektorů a dimenzovat průtok média kolektorem tak, aby jeho vliv na topné médium v akumulární nádrži byl patrný. Je potřeba najít optimální oblast spolupráce těchto dvou systémů. Nevýhodou takto navrženého systému je, že solární systém musí pracovat s teplotou média vhodnou pro vytápění (teplota vstupu otopné soustavy), čímž se podstatně sníží účinnost samotného solárního systému v zimních měsících. Další nevýhodou takto navrženého systému je cena. Celý systém musí být naddimenzován, což zvyšuje náklady. Důsledkem naddimenzování systému je velmi dlouhá doba návratnosti způsobená nevyžitím solárních panelů v průběhu celého roku. [26]

V praxi existuje aplikace, kde se snažíme teplo ze solárních panelů zhodnotit kombinací kompresorového TČ a ATČ. Tento modifikovaný systém může být využit k produkci vysokopotenciálního tepla a může být úplně nebo částečně nahrazena činností kotle, ať už se jedná o hotel, nemocnici nebo průmysl. Vstupní energie je tedy ze solárních panelů, což je ekologické. V našem případě se jedná o 10 plochých solárních kolektorů (každý má plochu  $2,3\text{m}^2$ ) a každý ohřívá vodu na teplotu  $40\text{-}60^\circ\text{C}$ . K dispozici je vyrovnávací tank na 1500 l. Poté je tato horká voda nejdříve přečerpána na vyšší teplotní potenciál dvěma kompresorovými tepelnými čerpadly R-123. Každé má výkon 10 kW. Horká voda se po této operaci přehřeje na  $60\text{-}80^\circ\text{C}$  a je následně dopravena do 200 l horkovodního tanku. Následuje LiBr ATČ o výkonu 10 kW, které produkuje již výsledné teplo o  $90\text{-}110^\circ\text{C}$ . To jde opět do vyrovnávacího tanku. Toto kaskádové uspořádání umožňuje větší zhodnocení dodaného tepla o průměrně  $50^\circ\text{C}$  ze solárních panelů o v průměru dalších  $50^\circ\text{C}$ . [27]



Obrázek 24: Schematický diagram zapojení solárních panelů v okruhu tepelných čerpadel [27]

## 11.8 Slévárenský průmysl

Tentokrát se jedná o využití zbytkového tepla v jedné z největších brněnských továren. Konkrétně se jedná o Královopolskou slévárnu s.r.o. v Brně (instalovaný výkon 110 kW bude použit pro chlazení technologie a k vytápění a ohřevu TV). Využití odpadního tepla v této případové studii lze rozčlenit do několika kategorií [28]:

- 1) Využití tepla z nádrže vody určené pro chlazení pecí k vytápění modelárny a současné chlazení chladicí vody (snížení provozu chladicí věže).
- 2) Využití kompresního tepla k vytápění šaten, popř. administrativní budovy.
- 3) Využití tepla ze spalin žíhacích pecí k vytápění výrobní haly.
- 4) Využití zbylého tepla z nádrže pro chlazení pecí k vytápění výrobní haly.
- 5) Zvážení chlazení přes suchý chladič vody pro chlazení pece. [28]

## 11.9 Využití tepelného čerpadla pro čističky a na úpravu vody

Tepelné čerpadlo lze využít i v čističkách odpadních vod (ČOV) a v úpravnách vody. Energie získaná z odpadního tepla tak může být využita jak pro vytápění, tak i pro přípravu teplé vody, ale v mnoha případech i pro zpětné použití ve vlastní technologii. Využití OZE je na ČOV poměrně malé. U ČOV které mají velké vytápěné budovy, je možno jednoduše odebírat odpadní vodě nízkopotenciální teplo pomocí tepelného čerpadla. Takto získané teplo potom využít k vytápění, nebo k jiným aplikacím jako je sušení kalu. Odpadní voda na přítoku i odtoku z ČOV v sobě nese velký potenciál jak chemický tak tepelný. Průměrná teplota v průběhu roku kolísá, ale zřídka kdy klesne pod 8 °C. Této relativní stálosti se dá využít pro získání nízkopotenciálního tepla a pomocí tepelného čerpadla lze zvýšit teplotu až na cca 70 °C. Toto teplo je možno pak dále využít na vytápění objektů ČOV, na ohřev teplé užitkové vody, na sušení kalu, popřípadě ohřev kalu do fermentačních nádrží. Teplo lze odbírat na odtoku z budovy, v kanalizační síti nebo na (za) ČOV. Každé z míst má své specifické podmínky a omezení. Odběr na odtoku z objektu či přímo v budově je u většiny staveb omezen nerovnoměrným a přerušovaným průtokem. Vhodné využití je tudíž omezeno na objekty s vyšším množstvím odpadní vody, jejíž odtok je v době provozu nepřerušovaný. Jedná se například o potravinářské nebo jiné průmyslové provozy, aquaparky, léčebná zařízení. V mnoha případech realizovaných v posledních letech je již využití tepla z odpadní nebo technologické vody realizováno (v jednodušších případech jen předáním energie přes stěny výměníků). Oproti tomu se získáváním tepla z odpadní vody ve vhodných místech trasy kanalizační sítě nebo na (za) ČOV zatím moc zkušeností v ČR není.

Firma ASIO, spol. s r.o. spolu s VUT Brno realizovaly poloprovodní zařízení na odebírání tepla z odpadní vody na ČOV Letonice. Výměník tepla byl umístěn do rozdělovacího objektu, kde natéká odpadní znečištěná voda a do odtokového potrubí DN 300, kde je již voda vyčištěná. Na primární stranu tepelného čerpadla byl umístěn kalorimetr. Sekundární okruh byl chlazen pomocí chladiče. Závěry z poloprovodního ověření jsou následující:

Odpadní voda má v průběhu roku teplotu málo ovlivněnou teplotou venkovního vzduchu. I v zimním období jsou obvyklé teploty mezi 10 až 15 °C. Je tedy poměrně stabilním zdrojem pro aplikaci s tepelným čerpadlem. Ochladíme-li 1 m<sup>3</sup> o 1 K, získáme 1,16 kWh a například při provozu TČ s topným faktorem 3, vyrobíme 1,74 kWh, přičemž odebereme elektrickou energii 0,58 kWh. Vzhledem k teplotám primárního zdroje (odpadní vody) lze předpokládat, že při spojení s nízkoteplotními soustavami či předehřevem teplé vody, můžeme při provozu dosahovat i vyšších topných faktorů a to okolo hodnoty 4.

Nejčastěji se k získání energie z odpadní vody používají tzv. šedé vody, tj. vody ze sprch a koupelen. Důvody jsou hned dva – jsou relativně čisté a je v nich obsaženo více tepla než v jiných vodách. Na závěr je však nutno doplnit jednu zásadní informaci. Tato myšlenka byla už mnohokrát testována a má nevýhodu v tom, že i v procesech v ČOV jsou třeba minimální teploty například pro tzv. proces aktivace. Takže z tohoto hlediska zde rozšíření technologie ATČ asi nenastane.

Praktické příklady možnosti využití tepla z šedých vod:

#### *Lázeňský provoz*

Lázeňský provoz je praktickou ukázkou předchozích úvah. Využití tepla odpadních vod z lázeňského provozu, kde bylo na konkrétním případě zjištěno, že hodinová spotřeba tepla na ohřev vody do van v balneoprovozu činila cca 727 kWh. Tyto vody o teplotě cca 36°C odchází bez užitku do kanalizace. Využitím tepla z těchto odpadních vod lze získat až 291 kWh tepla a zpětně předehřát vodu o teplotě 10°C, čerpanou ze studní, na teplotu až 30°C. K jejímu dohřátí na potřebnou teplotu pak již dojde stávajícím způsobem. Úspora nákladů, která vychází ze současného způsobu ohřevu těchto vod, převedená na finanční částku, činí až 485 000,-Kč ročně. Návratnost realizace opatření se v takových případech pohybuje od tří do pěti let podle složitosti stavebního řešení.

#### *Prádelny*

Podobnými příklady, kterými se zabýváme a kde se dá využít nejen šedá voda ke snížení spotřeby vody, ale i její tepelný potenciál, může být úspora tepelné energie v prádelnách. Na konkrétním případě prádelny bylo zjištěno, že investice jen do využití šedých vod má návratnost cca 6,5 let a při využití energetického potenciálu těchto vod klesne návratnost na 5 let.

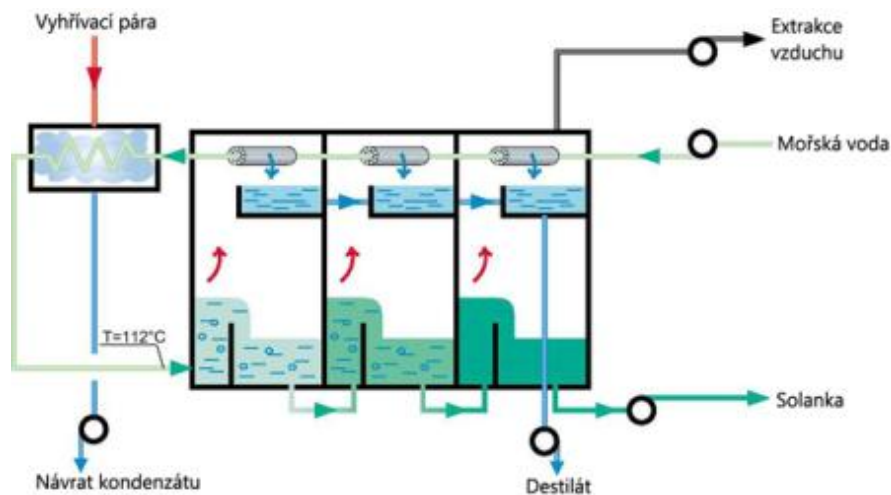
Závěrem lze tedy říci, že snížení nákladů za energii bude ve výhledu prioritou také provozovatelů čistírenských a vodohospodářských společností. Odpadní voda obsahuje organické látky, tepelnou a kinetickou energii, jejíž množství je zhruba 9x vyšší než je potřeba na její čištění. Paradoxně však na čištění odpadní vody energii ještě dodáváme. Efektivní a ekonomický systém čištění odpadních vod by měl být proto v kontextu energetických úspor založen na třech hlavních cílech:

- minimalizace množství energie potřebné na čištění odpadních vod,
- zajištění energeticky soběstačného čištění odpadních vod,
- snížení negativního dopadu čištění odpadních vod na okolní životní prostředí. [29]

## 11.10 Odsolování mořské vody

Na téma odsolování mořské vody již vzniklo mnoho teoretických prací a bylo vedeno mnoho výzkumných činností. Motivace plyne zejména z faktu, že téměř čtvrtina populace země nemá přístup ke kvalitní vodě v dostatečném množství. Velké odsolovací zařízení můžeme nalézt v Saudské Arábii, SAR, USA a Kuvajtu. Absorpční a adsorpční systémy vykazují v této oblasti vysoký potenciál.

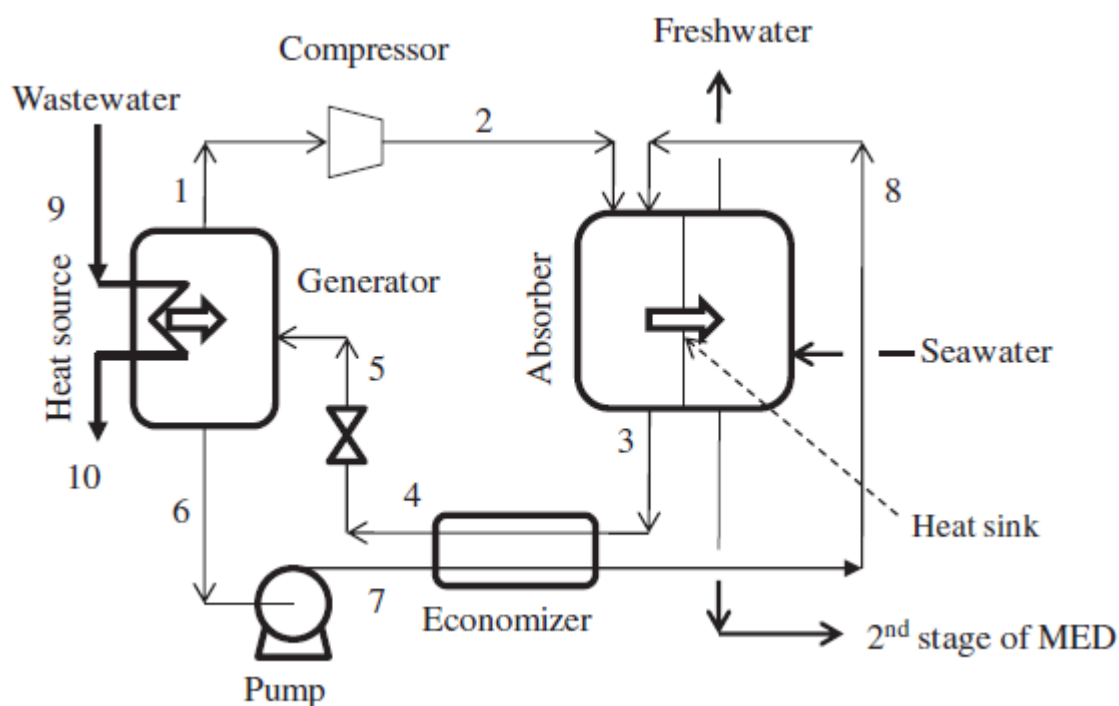
Destilace vody je velmi energeticky náročná vzhledem k faktu, že výparné teplo vody je vysoké. Voda se vypaří a soli (netěkavé příměsi) zůstanou v nádobě. Následně dochází ke kondenzaci par a produkci pitné vody. Tato technologie se s výhodou provádí například na lodích, kde je k dispozici potřebné množství tepla. Proces desalinace však lze provádět celou řadou dalších technologií. Při odsolování v malém a středním rozsahu se využívá vícestupňové destilace (multiple effect distillation- MED). Nevýhodou je, že se postupně musí snižovat tlak. Rovněž jsou kladeny vysoké nároky na použité materiály.



Obrázek 25: Vícestupňová destilace [30]

Proces využívá odpadních vod jako tepelný zdroj při tlaku 0,8-3 bar pro první stupeň odsolovací jednotky. Provozní teplota na prvním stupni závisí na koncentraci soli ve vodě. Abychom docílili efektivního přestupu tepla z topné páry do mořské vody, teplota topné páry musí být nejméně o 3° C větší než bod varu mořské vody. Kondenzující topná pára uvolňuje výparné teplo, které je předáváno mořské vodě, a tím se odpařuje. Pára z prvního stupně se stává zdrojem tepla pro druhý stupeň. Obecně lze říct, že zdroj tepla pro stupeň n, je získán parou z n-1 stupně. Vícestupňový systém na jedné straně redukuje spotřebu energie a na druhé navyšuje investiční kapitál. V praxi se užívají 4 až 21 stupňů.

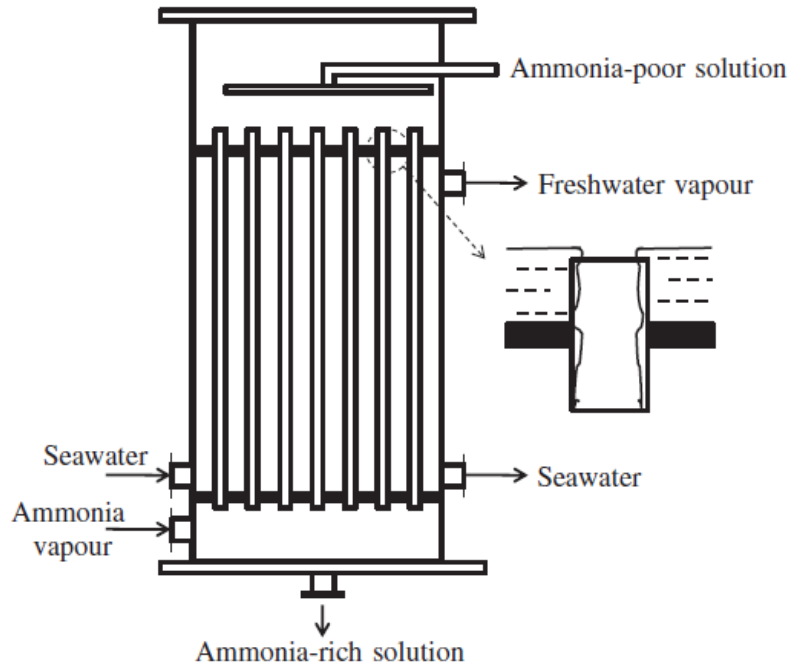
ATČ lze začlenit místo parního kotle pro dodávky tepla pro desalinační proces. Na obrázku č. 26 níže je patrné uspořádání instalace ATČ do prvního stupně MED.



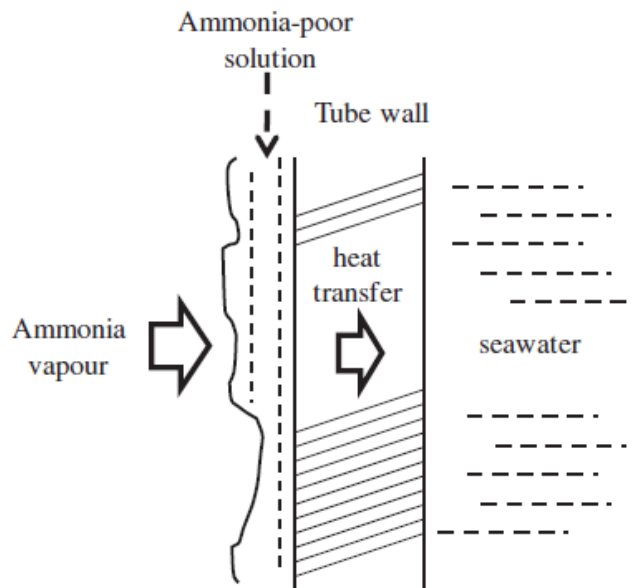
Obrázek 26: Diagram ATČ v systému odsolovací stanice [31]

Absorbér je zde zdrojem tepla pro první stupeň destilace při 70° C. Přehřátá pára amoniaku opouští generátor (1) a komprimuje se do stavu (2). V absorbéru dochází k absorpci par amoniaku chudým roztokem. Uvolňuje se teplo do prvního stupně MED, zatímco dochází k tvorbě bohatého roztoku amoniaku (3). Ten dále pokračuje ekonomizérem a expanzním ventilem, kde se seškrtní (5) a jde do generátoru. V generátoru se bohatý roztok zahřeje působením externího zdroje nízkopotenciálního tepla (9), který zde reprezentuje odpadní voda, a rozdělí se na proud par amoniaku (1) a chudého roztoku (6). Ten se dopravuje skrze ekonomizér do absorbéru (8). V ekonomizéru dochází k přestupu tepla mezi chladným roztokem z generátoru a teplým roztokem z absorbéru.

Absorpční proces uvolňuje teplo potřebné pro vypaření mořské vody. Absorbér může být řešen jako tepelný výměník využívající stékání tenkého filmu po stěně s vnitřními vertikálními trubkami viz. obr. 27. Film chudého roztoku stéká po stěně na vnitřním průměru trubky. Komprimované páry amoniaku vyplní objem trubek a jsou absorbovány stékajícím filmem, což je spojeno s produkcí tepla. Tento proces zajišťuje teplo pro mořskou vodu, která protéká mezi trubkami, skrze tento výměník (viz. obr. 28.)



Obrázek 27: Schéma trubkového absorberu se stékajícím filmem chudého roztoku [31]



Obrázek 28: Schéma procesu absorpce na stěně a prostupu tepla do mořské vody [31]

## 12 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat literární rešerši na problematiku absorpčních tepelných čerpadel a jejich využití v průmyslu. V první části práce je popsán princip absorpčních tepelných čerpadel a používaná pracovní média. Jsou uvedeny typy ATČ, možnosti provozu a zapojení ATČ. Dále jsou uvedeny výhody a nevýhody oproti konvenčním kompresorovým tepelným čerpadlům.

Druhá část této práce je zaměřena na uplatnění absorpčních tepelných čerpadel v průmyslu. Jednotlivé příklady jsou členěny do jednotlivých podkapitol dle typu průmyslových odvětví. V každé této dílčí části jsou uvedeny možnosti pro uplatnění absorpčního tepelného čerpadla a informace o reálně provozovaném zařízení v průmyslu.

Možnosti využití absorpčních tepelných čerpadel v průmyslu jsou široké. V této práci tak byly popsány pouze některé vybrané průmyslové oblasti a možná uplatnění těchto strojů v této práci.



## Použité zdroje

- [1] DVOŘÁK, Zdeněk. *Základy chladicí techniky*. Dot. Praha: České vysoké učení technické, 1984, 218 s., příl.
- [2] DVOŘÁK, Zdeněk, Jiří PETRÁK a Luděk KLAZAR. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987, 339 s.
- [3] MEČÁRIK, Karol a Václav HAVELSKÝ. *Tepelná čerpadlá*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1988, 327 s. Edícia energetickej literatúry (Alfa).
- [4] *Decarboni.se: SOLUTIONS TO CLIMATE CHANGE* [online]. [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://decarboni.se/search/all/thermally%20driven%20heat%20pumps>
- [5] SYSTHERM S.R.O. *SYMPATIK: absorpční a adsorpční chlazení*. Plzeň, 2012.
- [6] TEDOM. *TEDOM: technika v souladu s přírodou* [online]. 2012 [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/trigeneracni-jednotky.html>
- [7] Jain Irrigation System's biogas trigeneration. *Clarke Energy: engineer- install- maintain* [online]. [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <https://www.clarke-energy.com/wp-content/uploads/JainIrrigationThumbBiogasCHP.jpg>
- [8] Trigenerace a absorpční jednotky BROAD. *BROAD AIR CONDITIONING: absorpční jednotky pro chlazení a vytápění* [online]. [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://www.broad.cz/broad2013/obr/BOX5/Mod1.jpg>
- [9] MATUŠKA, Tomáš. FS ČVUT. *Alternativní zdroje energie: učební texty*. Praha, 2009.
- [10] EMERSON CLIMATE TECHNOLOGIES. *The High Temperature Ammonia Heat Pump: Desiged to save energy*. Aachen, Germany, 2011.
- [11] About heat pump. *Heat pump and thermal storage: Technology center of Japan* [online]. [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: [http://www.hptcj.or.jp/Portals/0/data0/e/learning/images/hp\\_figure2.jpg](http://www.hptcj.or.jp/Portals/0/data0/e/learning/images/hp_figure2.jpg)
- [12] KUČHYNKA, Lubomír. *Tepelná čerpadla pro bytové domy a průmyslové provozy* Zdroj: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/7787-tepelna-cerpadla-pro-bytove-domy-a-prumyslove-provozy> [online]. [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/7787-tepelna-cerpadla-pro-bytove-domy-a-prumyslove-provozy>
- [13] HEAT PUMP AND THERMAL STORAGE TECHNOLOGY CENTER OF JAPAN. *Data book on heat pump and thermal storage system*. Tokyo, 2011. Dostupné z: <http://www.hptcj.or.jp./e/>
- [14] WOLF, Stefan. UNIVERSITY OF STUTTGART. *Industrial heat pumps in Germany:: Potentials, technological development and market barriers*. Stuttgart, 2007.

- [15] Co je absorpční chlazení: HLAVNÍ PŘEDNOSTI A VÝHODY ABSORPČNÍCH CHLADÍCÍCH SYSTÉMŮ. *GB consulting: solution for renewable and green energy* [online]. 2010 [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://www.gbconsulting.cz/chlazení-prednosti.html>
- [16] Absorption heat pump. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c9/Absorption\\_heat\\_pump.jpg/1920px-Absorption\\_heat\\_pump.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c9/Absorption_heat_pump.jpg/1920px-Absorption_heat_pump.jpg)
- [17] RAWAL, Zaidi. Applications of Heat Pump in Dairy Industries. *Indian Dairyman*. 1979, (5): 303-309.
- [18] Teplárna chladí pivo párou. Podívejte se jak. *Technet.cz* [online]. 2009 [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://gidnes.cz/u/n4/pouzijte-tlacitko-sdilet.gif>
- [19] JOHNSON CONTROLS. *Application opportunities for absorption chillers* [online]. Milwaukee, 2008, 20 s. [cit. 2015].
- [20] IWATSUKI, Tamako. Absorption heat pump system for a chocolate production line. *News letter / IEA Heat Pump Center*. 1990, (8). ISSN 0724-7028.
- [21] INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NEXT-GENERATION AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION TECHNOLOGY, 17 – 19 February 2010, Tokyo, Japan. *DEVELOPMENT ACTIVITIES OF LOW TEMPERATURE WASTE HEAT RECOVERY APPLIANCES USING ABSORPTION HEAT PUMPS* [online]. 2010, 8 s. [cit. 2015].
- [22] KÜHN, Anett. *THERMALLY DRIVEN HEAT PUMPS FOR HEATING AND COOLING*. Berlin, 2013. ISBN 978-3-7983-2596-8. Dostupné z: <http://opus4.kobv.de/opus4-tuberlin/frontdoor/index/index/docId/3945>. TU Berlin.
- [23] LE COSTEC, Brice, Nicolas GALANIS a Jean BARIBEAULT. Wood chip drying with an absorption heat pump. *Energy, Elsevier*. 2008, (33(3): 500-512. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544207001909>
- [24] MA, Xuehu, Jiabin CHEN, Songping LI, Qingyun SHA, Aiming LIANG, Wei LI, Jiayan ZHANG, Guojun ZHENG a Zhihao FENG. Application of absorption heat transformer to recover waste heat from a synthetic rubber plant. *Applied Thermal Engineering* [online]. 2003, **23**(7): 797-806 [cit. 2015-06-06]. DOI: 10.1016/s1359-4311(03)00011-5.
- [25] KUKUCZKA Tomáš, *Využití obnovitelných zdrojů energie v podmínkách ČR* [online]. 2007 [cit.2009-10-12]. Dostupný z WWW: <http://www.roznovskastredni.cz/dwnl/pel2007/15/Kukuczka.pdf>

- [26] MASTNÝ, Petr. Tepelné čerpadlo a aktivní solární systém v kombinovaném provozu Zdroj: <http://www.tzb-info.cz/3999-tepelne-cerpadlo-a-aktivni-solarni-system-v-kombinovanem-provozu-i>. *Tzb-info.cz* [online]. 2007 [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3999-tepelne-cerpadlo-a-aktivni-solarni-system-v-kombinovanem-provozu-i>
- [27] CHAIYAT, Nattaporn. Upgrading of Low Temperature Solar Heat with Cascade Vapor Compression and Absorption Heat Pump. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*. 2013, (3(4)). ISSN 2249-6645.
- [28] NEVESELÝ, Milan. Využití odpadního tepla v průmyslu pro vytápění tepelnými čerpadly Zdroj: <http://www.tzb-info.cz/111449-vyuziti-odpadniho-tepla-v-prumyslu-pro-vytapeni-tepelny-mi-cerpadly>. *Tzb-info.cz* [online]. 2012 [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/111449-vyuziti-odpadniho-tepla-v-prumyslu-pro-vytapeni-tepelny-mi-cerpadly>
- [29] ENERGIE Z PROCESNÍCH PROVOZŮ. *Asio.cz* [online]. 2011 [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/energie-z-procesnich-provozu>
- [30] Odsolování vody: Destilace, vymražování, komprese a další. *Nalezno.cz* [online]. 2012 [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: [http://www.nazeleno.cz/Files/FckGallery/Nov%C3%A1%20komprimovan%C3%A1%20slou%C5%Beka%20\(metoda%20ZIP\).zip/obr6\\_cz.png](http://www.nazeleno.cz/Files/FckGallery/Nov%C3%A1%20komprimovan%C3%A1%20slou%C5%Beka%20(metoda%20ZIP).zip/obr6_cz.png)
- [31] LI, Hanning, Nigel RUSSELL, Vida SHARIFI a Jim SWITHENBANK. Techno-economic feasibility of absorption heat pumps using wastewater as the heating source for desalination. *Desalination* [online]. 2011, **281**: 118-127 [cit. 2015-06-06]. DOI: 10.1016/j.desal.2011.07.049.