

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Stavba energetických strojů a zařízení

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Porovnání kompresorového a absorpčního chladícího stroje z hlediska  
účinnosti

Autor: **Jiří NĚMEČEK**

Vedoucí práce: **Ing. Vladimír KŘENEK**

Akademický rok 2013/2014

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří NĚMEČEK**  
Osobní číslo: **S11B0185P**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Stavba energetických strojů a zařízení**  
Název tématu: **Porovnání kompresorového a absorpčního chladícího stroje z hlediska účinnosti**  
Zadávací katedra: **Katedra energetických strojů a zařízení**

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

Máte za úkol:

1. Vypracovat rešerši dostupných výrobců technologických zařízení pro kompresorové a absorpční chlazení.
2. Provést návrh zařízení pro chladicí výkon  $Q = 600 \text{ kW}_{ch}$  pro obě varianty.
3. Provést porovnání variant po technické stránce - včetně specifikace parametrů.
4. Provést výpočet účinnosti výroby chladu pro varianty kompresorového chlazení, absorpčního chlazení s využitím teplé vody o parametrech 80/60 °C a s využitím horké vody o parametrech 110/90 °C.
5. Provést porovnání variant podle předpokládané výše investičních a provozních nákladů.

Rozsah grafických prací: **schéma chladicího systému kompresorového a absorpčního**  
Rozsah pracovní zprávy: **40 stran A4**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

- **Vlach J.: Zásobování teplem a teplárenství, SNTL Praha, 1989**
- **Cikhart J.: Soustavy centralizovaného zásobování teplem, SNTL Praha, 1989**
- **Brož K.: Zásobování teplem, ČVUT Praha, 2002**
- **Černý V.: Kotelny, ČVUT Praha, 1975**
- **Hrdlička F.: Průmyslová energetika, ČVUT Praha, 2000**
- **Sazima, Kmoníček: Teplo-technický průvodce**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladimír Křenek**  
Katedra energetických strojů a zařízení  
Konzultant bakalářské práce: **Bc. Radek Begeni**  
SOKRA s.r.o.  
Datum zadání bakalářské práce: **1. listopadu 2013**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. června 2014**

  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan



  
Doc. Ing. Jiří Polanský, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 25. října 2013

## Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

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

V Plzni dne: .....18.6.2014.....

.....*Kučera*.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Rád bych tímto chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Vladimíru Křenkovi za nápomoc a poskytnuté materiály při řešení bakalářské práce. Nesmím také opomenout věnovat poděkování konzultantovi Bc. Radkovi Begenimu za připomínky a zajištění technické dokumentace.

# ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Němeček	Jméno Jiří	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2301R016 „Stavba energetických strojů a zařízení“		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Křenek	Jméno Vladimír	
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KKE		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	Nehodící se <b>škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Porovnání kompresorového a absorpčního chladicího stroje z hlediska účinnosti		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKE	<b>ROK ODEVZD.</b>	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

**POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)**

<b>CELKEM</b>	58	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	43	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	15
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Bakalářská práce obsahuje návrh zařízení pro chladicí výkon 600 kW<sub>ch</sub> v kompresorovém a absorpčním provedení, porovnání jednotlivých variant po technické stránce včetně specifikace parametrů, dále výpočet účinnosti a zhodnocení podle předpokládané výše investičních a provozních nákladů.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">chladicí faktor, kompresorové chlazení, absorpční chlazení, účinnost, chlazení</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Němeček	Name Jiří	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2301R016 “Design of Power Machines and Equipment“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Křenek	Name Vladimír	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKE		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Comparison of compressor and absorption cooling machine in terms of efficiency		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Power System Engineering	<b>SUBMITTED IN</b>	2014
----------------	------------------------	-------------------	--------------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	58	<b>TEXT PART</b>	43	<b>GRAPHICAL PART</b>	15
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This bachelor thesis contains a suggestion for a device for cooling capacity of 600 kW - in compressor and absorption design, the comparison of various options including the technical specifications, then the calculation of the efficiency and the final consideration of the amount of the investment and operating costs.
<b>KEY WORDS</b>	energy efficiency ratio, compressor cooling, absorption cooling, efficiency, cooling

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>1</b>
<b>PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ</b> .....	<b>2</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>3</b>
<b>1. KOMPRESOROVÉ CHLADÍČÍ JEDNOTKY</b> .....	<b>4</b>
1.1. Rozdělení podle typu použitého kompresoru .....	5
1.2. Rozdělení podle způsobu odvodu kondenzačního tepla .....	7
1.3. Výparník.....	7
1.4. Expanzní ventil.....	7
1.5. Chladivo .....	8
<b>2. ABSORPČNÍ CHLADÍČÍ JEDNOTKY</b> .....	<b>9</b>
2.1. Chladivo .....	11
2.2. Regulace výkonu chlazení.....	11
2.3. Možnosti zapojení a získání primární energie.....	12
<b>3. VÝROBCI ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>13</b>
3.1. Broad absorpční chladicí jednotky .....	13
3.2. Thermax absorpční chladicí jednotky .....	17
3.3. Galletti kompresorové chladicí jednotky .....	22
3.4. Aermec kompresorové chladicí jednotky.....	23
<b>4. NÁVRH ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>25</b>
<b>5. POROVNÁNÍ VARIANT</b> .....	<b>27</b>
5.1. Kompresorové jednotky .....	27
5.2. Absorpční jednotky .....	29
5.3. Kompresorové a absorpční.....	31
<b>6. VÝPOČET ÚČINNOSTI</b> .....	<b>32</b>
6.1. Kompresorové chlazení.....	32
6.2. Absorpční chlazení.....	36
<b>7. NÁKLADY NA JEDNOTLIVÉ VARIANTY</b> .....	<b>40</b>
<b>8. ZÁVĚR</b> .....	<b>43</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>45</b>
<b>PŘÍLOHA Č. 1</b> .....	<b>46</b>
<b>PŘÍLOHA Č. 2</b> .....	<b>49</b>
<b>PŘÍLOHA Č. 3</b> .....	<b>51</b>
<b>PŘÍLOHA Č. 4</b> .....	<b>54</b>
<b>PŘÍLOHA Č. 5</b> .....	<b>57</b>



## Přehled použitých zkratk a symbolů

a	$kJ \cdot kg^{-1}$	měrná práce
d	-	diferenciál
h	$kJ \cdot kg^{-1}$	měrná entalpie
$\dot{m}$	$kg \cdot s^{-1}$	hmotnost průtok
p	MPa	tlak
q	$kJ \cdot kg^{-1}$	měrné teplo
$\dot{Q}$	kW	tepelný tok
s	$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	měrná entropie
t	°C	teplota
$\Delta$	-	rozdíl
$\varepsilon_{ch}$	-	chladičí faktor
$\kappa$	-	Poissonova konstanta

### Indexy:

a	absorbér
e	vnější
ch	chladičí
chlad	chladičí
chlaz	chlazené
k	kondenzační
kom	kompresor
o	výparný
t	vypuzovač

### Zkratky:

COP	Coefficient of Performance
CZT	centrální zásobování teplem
EER	Energy Efficiency Ratio
EEV	Electronically-controlled Expansion Valve
LTO	lehký topný olej
PLC	Programmable Logic Controller
PID	Proportional-integral-derivative

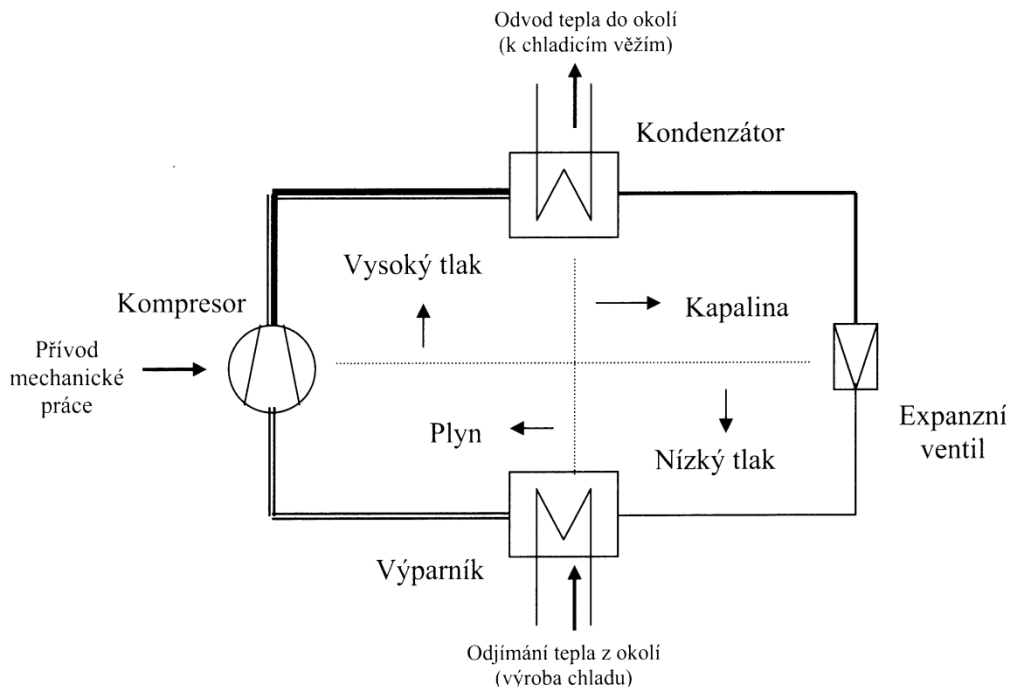
## Úvod

Cílem této práce je zhodnotit dva nejpoužívanější systémy výroby chladu, ať už je jejich použití jakékoli. Může se jednat o průmyslovou aplikaci či nasazení jako součást systémů na úpravu vzduchu. V zásadě se ale jedná o zařízení s vyšším výkonem. Na jedné straně jsou dobře známé kompresorové jednotky, běžně používané v domácích chladničkách, a na druhé méně používané absorpční jednotky. Tyto zařízení používají pro svůj pohon odlišnou formu energie, proto i jejich konstrukce je jiná a celkově vzato tento odlišný princip ovlivňuje účinnost výroby chladu daného zařízení. I v rámci jedné technologie existuje více konceptů řešení, proto bude pro porovnání uvažováno celkově více možností než jen dvě omezující se pouze na kompresorový a absorpční cyklus. Výstupem této práce však není až tak stanovení účinnosti jako takové, která má ovšem také vliv na finální výsledek, ale celkové ekonomické zhodnocení, neboť to právě ovlivňuje, zda je daný návrh realizovatelný z pohledu finanční výhodnosti.

## 1. Kompresorové chladicí jednotky

Nejběžnější způsob výroby chladu v průmyslových procesech je dobře známý cyklus, ve kterém je plyn stlačován, kondenzován a vypařován v uzavřeném systému.

Schematické znázornění kompresorového chladicího cyklu je uvedeno na obrázku č. 1-1.

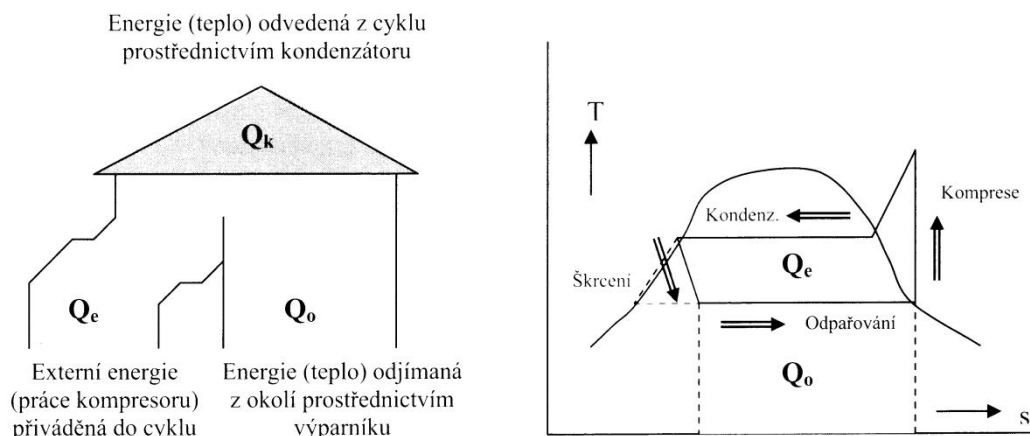


Obr. 1-1: Schématické znázornění kompresorového chladicího cyklu [1]

Kompresorový chladicí cyklus probíhá ve čtyřech fázích:

- Komprese – pracovní látka je v parním a suchém stavu stlačována kompresorem na vysoký tlak, čímž se zároveň zvyšuje její teplota.
- Kondenzace – pracovní látka je při vysokém tlaku kondenzátoru ochlazována na nízkou teplotu (předává teplo do okolí – toto je odváděno zpravidla vodními nebo vzduchovými chladiči), čímž dochází k jejímu přechodu do kapalné fáze (při konstantní teplotě kondenzace cca +30 až +40 °C).
- Expanze – pracovní látka v kapalné fázi o vysokém tlaku prochází expanzním ventilem, kde je po expanzi na nízký tlak vstříkována do výparníku.
- Odpar – pracovní látka se v důsledku nízkého tlaku ve výparníku odpařuje, čímž dochází k odjímání tepla z okolí (výrobě chladu). Následně je odpařená pracovní látka při nízkém tlaku a teplotě opět nasávána kompresorem a celý cyklus se opakuje.

Energetické bilance a toky jsou zřejmé ze Sankeyova diagramu a T-s diagramu, jak je znázorněno na následujícím obrázku č. 1-2.



Obr. 1-2: Sankeyův a T-s diagram cyklu kompresorového chlazení [1]

Výše popsaný a graficky znázorněný oběh pracovní látky po dvou izotermách a dvou adiabatách se nazývá „Carnotův cyklus“. Je to zidealizovaný porovnávací cyklus, který nelze prakticky realizovat (děj škrcení nemůže probíhat po adiabatě). Termodynamická bilance tohoto cyklu vychází z rovnosti přiváděné a odváděné energie:

$$\dot{Q}_k = \dot{Q}_o + \dot{Q}_e [W]$$

kde:  $\dot{Q}_k$  – Tepelný výkon z cyklu odváděný (kondenzátorem) [W]

$\dot{Q}_o$  – Tepelný výkon cyklem odebíraný (výparníkem) [W]

$\dot{Q}_e$  – Mechanický výkon do cyklu přiváděný (kompresorem) [W]

Carnotův cyklus může být efektivně, ale se ztrátami napodoben buď v režimu tepelného čerpadla pro získávání tepla (požadovaným finálním produktem je  $+Q_k$ ), nebo v režimu chladicí jednotky pro získávání chladu (požadovaným finálním produktem je  $-Q_o$ ).

Činitel energetické efektivity v případě režimu chladicí jednotky je označován jako chladicí faktor  $\varepsilon_{ch}$  a vypočte se ze vztahu:

$$\varepsilon_{ch} = \frac{\dot{Q}_o}{\dot{Q}_e} [-]$$

kde:  $\varepsilon_{ch}$  - Chladicí faktor chladicí jednotky [-]

$\dot{Q}_o$  – Chladicí výkon (výkon cyklem odebíraný z okolí) [W]

$\dot{Q}_e$  – Mechanický výkon (výkon kompresoru) do cyklu přiváděný [W]

Tento chladicí faktor udává, koliknásobek chladu získáme oproti jedné jednotce mechanické (elektrické) práce spotřebované pro pohon kompresoru.

## 1.1. Rozdělení podle typu použitého kompresoru

Podle charakteru je možné rozdělit kompresory do několika skupin a to na základě typu, provedení a způsobu jejich činnosti:

- kompresory objemové – stlačený plyn se získává objemovou změnou pracovního prostoru kompresoru
- kompresory energetické – stlačený plyn se získává změnou kinetické energie v energii tlakovou

Podle konstrukce kompresoru se dělí na tři typy:

- kompresory hermetické
- kompresory semihermetické
- kompresory ucpávkové

Další podrobnější dělení vypadá následovně:

- objemové kompresory
  - pístové, membránové
  - křídlové, šroubové, zubové, spirálové
- energetické kompresory
  - turbokompresory (odstředivé) – radiální, axiální, diagonální
  - proudové

Chladicí zařízení s membránovými kompresory se obvykle používají u relativně malých jednotek (do 1,5 kW<sub>ch</sub>) a mají nižší účinnost (chladicí faktor) než ostatní typy. Tato provozně nenáročná technologie je velice rozšířena u drobných domácích spotřebičů (ledničky, chladničky, atd.). Pístové kompresory se používají jak u malých zařízení, tak i u větších jednotek s výkony až několik set kW<sub>ch</sub>. Spirálové kompresory bývají aplikovány u malých či středních chladicích jednotek s výkonem do 50 kW<sub>ch</sub>.

Chladicí zařízení se šroubovými (axiálními) kompresory jsou vyráběna ve výkonových jednotkách až do 7 MW<sub>ch</sub>, což jsou výkony již vhodné pro aplikaci ve velkých zdrojích chladu. Šroubové kompresory mají vysokou účinnost a jsou velmi vhodné pro vysokotlaké cykly s amoniakem jakožto pracovní látkou. Jejich nevýhodou bývá vysoká hluchnost ve srovnání s radiálními kompresory. Oproti radiálním kompresorům jsou však účinnější, zejména použije-li se voda pro chlazení kondenzátoru.

Radiální (odstředivé) kompresory jsou nejčastější technologie využívané ve velkých chladicích jednotkách. Jejich výkonový rozsah jde až do hodnot 25 MW<sub>ch</sub> a jsou dostatečně adaptabilní na změny požadovaného chladicího výkonu (až do 40 % jmenovitých hodnot). Výhodami jsou spolehlivost, nižší provozní náklady a malé rozměry.

### **Regulace výkonu kompresorových jednotek**

Hlavní regulací chladicího výkonu kompresorových jednotek je ve změně průtočného množství chladiva v chladicím okruhu. To je realizováno na základě změny počtu otáček kompresoru. K pohonu kompresorových chladicích jednotek bývají nejčastěji voleny elektromotory. V některých případech jsou k pohonu kompresorů využívány i parní turbíny, plynové motory, nebo plynové turbíny. Pohony parními turbínami a spalovacími motory jsou často instalovány jako záložní zdroje pro případ výpadku dodávek elektrické energie. Regulace počtu otáček v případě nejčastěji používaných elektromotorů spočívá buď v dvoupolohovém řízení (zapnuto / vypnuto) anebo v plynulé regulaci počtu otáček pomocí frekvenčního měniče či v krokové variantě za využití více vinutí na elektromotoru.

Systém zapojení s použitím více kompresorů v jednom chladicím okruhu využívá oba druhy regulace, a to dvoupolohové, kdy může být jeden nebo i více kompresů podle požadovaného chladicího výkonu vypnuto, ale i plynulé změny otáček na jednotlivých kompresorech. Takovýto okruh je však vybaven pouze jedním výparníkem. Avšak běžně používaná zařízení mohou mít i více chladicích okruhů, a to ještě v kombinaci se zapojením více kompresorů na jeden okruh.

## 1.2. Rozdělení podle způsobu odvodu kondenzačního tepla

Kondenzátory tvoří hermeticky uzavřené nádoby s vnitřními trubkovnicemi nebo deskovými výměníky. U větších jednotek je k odvodu tepla z kondenzátoru využíván samostatný chladicí okruh s čerpadlem zajišťujícím cirkulaci vody mezi kondenzátorem a externí chladicí věží (mokrou, nebo suchou).

Kondenzátory se dělí podle způsobu odvodu tepla na tyto typy:

- kondenzátory chlazené vzduchem
- kondenzátory chlazené vodou
- kondenzátory odpařovací

### Kompresorové jednotky se vzduchem chlazeným kondenzátorem

V tomto případě jde o velmi rozšířený typ, který je z hlediska použití velice kompaktní. Kompresorová jednotka je většinou umístěna ve venkovním prostředí, ale je zde možnost i vnitřního umístění. V kompaktním provedení jsou veškeré komponenty chladicího okruhu zabaleny v jednom zařízení. Ke kondenzaci chladiva v tomto případě dochází ve vzduchem chlazeném kondenzátoru, což je uskutečňováno ventilátory, které nasávají okolní vzduch a ženou ho přes teplosměnné plochy tepelného výměníku kondenzátoru. Dochází tak k ochlazení kondenzátoru a naopak k ohřívání vzduchu, který je ovšem volně vyfukován do atmosféry.

### Kompresorové jednotky s vodou chlazeným kondenzátorem

Tyto jednotky využívají k chlazení kondenzátoru další sekundární okruh naplněný vodou případně nemrznoucí směsí na bázi etylenglykolu. Tato náplň, nejčastěji pod termínem chladicí voda, je potom dále vedena do chladicích věží různých typů (otevřené, uzavřené, hybridní, adiabatické, suché), kde je následně ochlazená. Výhodou je zde možnost instalace uvnitř budovy a zároveň také vyšší chladicí faktor oproti vzduchem chlazeným jednotkám.

### Kompresorové jednotky s odděleným odpařovacím kondenzátorem

Jedná se o provedení, které slučuje prvky dvou výše popsaných typů kondenzátorů. Ke kondenzaci chladiva sice dochází průtokem vzduchu ve vzduchem chlazeném kondenzátoru, ale ten není součástí kompaktní jednotky, nýbrž je umístěn ve venkovním prostředí. To umožňuje ponechat strojní část chladicí jednotky (kompresory, výparník, elektrický rozvaděč, atd.) v temperované strojovně a tudíž lze chladit i čistou vodu bez nemrznoucích příměsí, aniž by mohlo dojít k poškození mrazem. Oddělený kondenzátor musí být se strojní částí chladicí jednotky propojen potrubím, v němž proudí chladivo.[2]

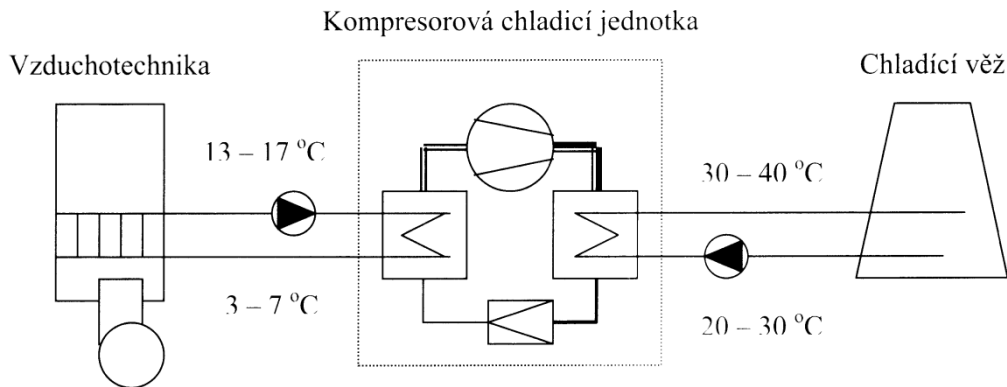
## 1.3. Výparník

Přívod tepla do výparníku (odvod chladu) bývá rovněž zajišťován samostatným okruhem, ve kterém čerpadlo zajišťuje cirkulaci vody mezi výparníkem a externími chladicími registry klimatizačních či vzduchotechnických zařízení budov.

## 1.4. Expanzní ventil

Expanzi pracovní látky zajišťuje škrticí ventily, jejichž průtočný odpor se rovná požadovanému tlakovému rozdílu kapaliny mezi kondenzátorem a výparníkem. Tento tlakový rozdíl vytváří podstatné zúžení průtočného průřezu v jednom místě (škrticí ventil), nebo na značné délce (kapilární trubice).

Zjednodušené schéma systému chlazení s kompresorovou chladicí jednotkou je uvedeno na obrázku č. 1-3.



Obr. 1-3: Zjednodušené schéma systému chlazení s kompresorovou jednotkou [1]

## 1.5. Chladivo

Dnes existuje velké množství druhů chladiv, od těch nejjednodušších, jako např. voda, oxid uhličitý nebo čpavek až po složité chemické sloučeniny. Ty se dnes používají nejvíce. Chladivem může být i směs dvou nebo více chladiv, která jsou mezi sebou netečná. Mezi základní vlastnosti chladiv patří např. tlakový poměr kondenzace a vypařování, teplota a rychlost odpařování apod. Vzájemným mícháním více chladiv lze dosáhnout požadovaných vlastností.

Původní chladiva se skládala z těchto základních prvků - uhlík, dusík, síra, vodík, fluor, chlor a brom. Při zjišťování vlivu chladiv na životní prostředí bylo zjištěno, že chlor a brom poškozují životní prostředí a ozónovou vrstvu. Z tohoto důvodu se chladiva obsahující tyto prvky přestala používat.[3]

Chladiva řady R			
chladivo	složení		použití
R134a	100 %	R134a	chladničky, autoklimatizace
R410a	50 %	R32	bytové klimatizace, malé a střední klimatizační systémy
	50 %	R125	
R407c	23 %	R32	průmyslová klimatizace
	25 %	R125	
	52 %	R134a	
R404a	44 %	R125	průmyslové hluboko mrazicí zařízení
	52 %	R143a	
	4 %	R134a	
R507	50 %	R125	průmyslové hluboko mrazicí zařízení
	50 %	R143a	

Tab. 1-1: Chladiva řady R [3]

## 2. Absorpční chladicí jednotky

Další průmyslovou technologií pro výrobu chladu je absorpční proces. Tato technologie je rovněž používána v Evropě, ale podstatně více je rozšířena v USA a v Japonsku, kde byla také technologicky nejvíce propracována.

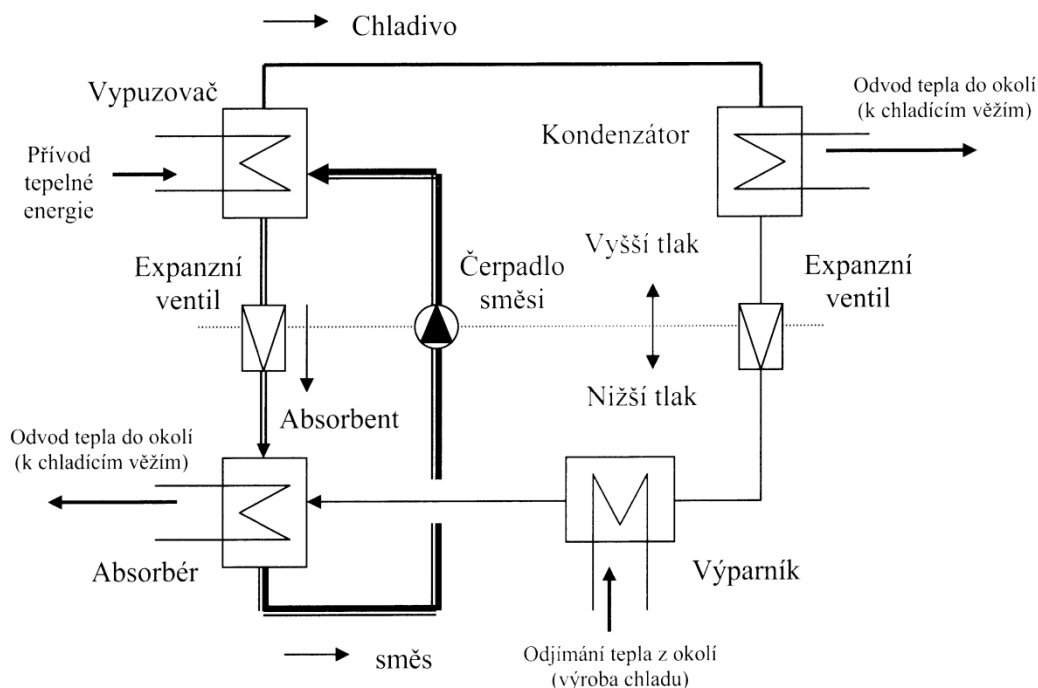
Absorpční chladicí jednotky využívají teplo jako primární energii pro výrobu chladu namísto mechanické rotační práce, jak tomu je v případě kompresorového cyklu. Mohou využívat teplo v horké vodě nebo v páře, nebo přímo horké spaliny podle zvolené technologie. Používají se ale i přímo vytápěné stroje pro produkci tepla, které za tímto účelem spalují zemní plyn, LTO nebo bioplyn.

Jejich aplikace je výhodná v případech, kdy je k dispozici dostatek tepla o nižších parametrech, tj. tepla o parametrech nepoužitelných k pohonu parních turbín. Chladicí látka není stlačována mechanicky, ale je absorbována do absorpční látky při nízké výparné teplotě.

V tomto cyklu jsou tedy potřeba dvě látky:

- Chladivo – které se vypařuje a kondenzuje
- Absorbent – absorbující páry

Schématické znázornění absorpčního chladicího cyklu je uvedeno na obrázku č. 2-1.



Obr. 2-1: Schématické znázornění absorpčního chladicího cyklu [1]

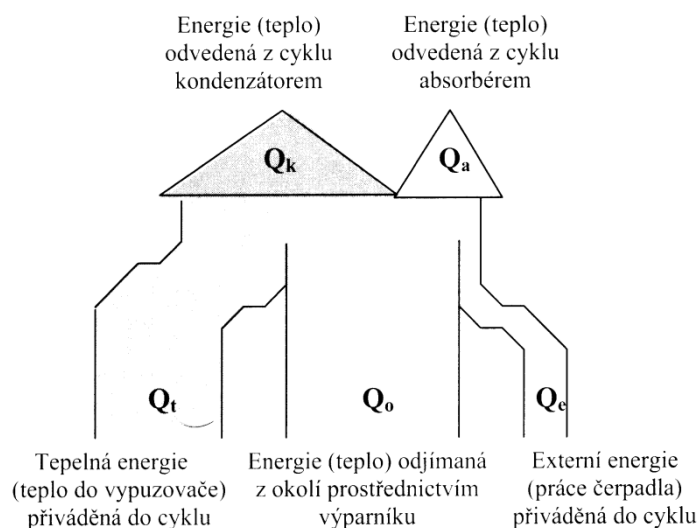
Absorpční cyklus sestává z těchto fází:

- Vypuzování – směs chladiva a absorpční látky (bohaté směsi) je čerpadlem směsi v kapalně fázi podávána do vypuzovače (generátoru). Přívodem tepelné energie do vypuzovače se směs ohřívá a postupně se z ní vypařuje (vypuzuje) chladivo (látka s nižší teplotou varu), které je v plynné fázi odváděno do kondenzátoru. Zbývající neodpařená absorpční látka (chudá směs) je vedena do absorbéru.
- Kondenzace – chladivo je při vyšším tlaku v kondenzátoru ochlazováno na nízkou teplotu (předává teplo do okolí – toto je odváděno zpravidla vodními nebo vzduchovými chladiči), čímž dochází k jejímu přechodu do kapalně fáze



- Expanze – pracovní látka v kapalně fázi o vysokém tlaku prochází expanzním ventilem, kde je po expanzi na nízký tlak vstříkována do výparníku.
- Odpar – pracovní látka se v důsledku nízkého tlaku ve výparníku odpařuje, čímž dochází k odjímání tepla z okolí (výrobě chladu). Následně se odpařená pracovní látka při nižším tlaku a teplotě odvádí do absorberu.
- Absorpce – páry chladiva z výparníku se v absorberu setkávají s kapalným absorbentem (po snížení jeho tlaku na expanzním ventilu). V důsledku nižšího tlaku a ochlazení (odvodem tepla vznikajícího při přechodu chladiva z plynné do kapalně fáze do okolí) dochází k pohlcování par chladiva absorpční látkou. Bohatá směs absorbentu a chladiva je pak pomocí čerpadla směsi opět dávkována do vypuzovače.

Energetická bilance absorpčního chladicího cyklu jsou zřejmé ze Sankeyova diagramu znázorněného na obrázku č. 2-2.



Obr. 2-2: Sankeyův diagram absorpčního chladicího cyklu [1]

Termodynamická bilance absorpčního chladicího cyklu vychází opět z rovnosti přiváděné a odváděné energie:

$$\dot{Q}_k + \dot{Q}_a = \dot{Q}_t + \dot{Q}_o + \dot{Q}_e \text{ [W]}$$

kde:  $\dot{Q}_k$  – Tepelný výkon z cyklu odváděný v kondenzátoru [W]

$\dot{Q}_a$  – Tepelný výkon z cyklu odváděný v absorberu [W]

$\dot{Q}_t$  – Topný tepelný výkon přiváděný do cyklu ve vypuzovači [W]

$\dot{Q}_o$  – Tepelný výkon cyklem odebíraný ve výparníku [W]

$\dot{Q}_e$  – Mechanický výkon čerpadla směsi do cyklu přiváděný [W]

Chladicí faktor absorpční chladicí jednotky je  $\varepsilon_{ch}$  a vypočte se ze vztahu:

$$\varepsilon_{ch} = \frac{\dot{Q}_o}{\dot{Q}_t + \dot{Q}_e} [-]$$

kde:  $\varepsilon_{ch}$  - Chladicí faktor chladicí jednotky [-]

$\dot{Q}_o$  – Chladicí výkon (výkon cyklem odebíraný z okolí) [W]

$\dot{Q}_t$  – Tepelný výkon (topný výkon ve vypuzovači) do cyklu přiváděný [W]

$\dot{Q}_e$  – Mechanický výkon (výkon čerpadla) do cyklu přiváděný [W]

Výše popsany proces je proces jednostupňového absorpčního chlazení. Některé chladiče poháněné horkou vodou, párou nebo zemním plynem využívají dvoustupňového cyklu, ve kterém teplo obsažené v odpařených párách chladiva v prvním stupni je využíváno k dodatečnému vaření směsi v druhém generátoru (vypuzovači), čímž se zvyšuje účinnost.

Účinnost jednostupňového absorpčního cyklu se pohybuje v rozmezí 60 až 80 % (chladičí faktor 0,6 – 0,8). Dvoustupňový cyklus vyžaduje až o 45 % méně užitného tepla než jednostupňový cyklus (dosahuje chladičích faktorů v úrovni hodnot 1,2 až 1,4), ale potřebuje hnací tepelnou energii o vyšší teplotě.

Jednostupňové absorpční chladiče mohou být provozovány s teplotami topného média ve vypuzovači od 65 °C do 140 °C (zpravidla horká voda), dvoustupňové absorpční chladiče vyžadují teploty topného média vyšší jak 170 °C (zpravidla spaliny nebo pára).

Absorpční chladičí jednotky jsou k dispozici v širokém výkonovém rozsahu. Kompaktní (balené) chladičí jednotky jsou vyráběny od nepatrných výkonů až po jednotky s chladičím výkonem 5,8 MW<sub>ch</sub> u jednostupňových zařízení, a více jak 5,3 MW<sub>ch</sub> u dvoustupňových zařízení. Kromě dvou hermeticky uzavřených čerpadel nemá absorpční chladičí jednotka další pohyblivé části. Běží velice potichu (prakticky bez vibrací) oproti kompresorovým jednotkám. Tento rozdíl v hlučnosti může být významný pro aplikace v nemocnicích a administrativních budovách.

Výkon absorpčních chladičích jednotek bude klesat v závislosti na poklesu teploty poháněcí energie (topné vody nebo páry). Pro dosažení srovnatelného výkonu s kompresorovými jednotkami je zapotřebí více teplosměnných ploch, z čehož vyplývají vyšší ceny absorpčních chladičích jednotek.

Zapojení absorpčních chladičích jednotky do systému chlazení budov je obdobné, jako tomu je v případě kompresorových jednotek. K odvodu tepla z kondenzátoru a z absorbéru slouží samostatný chladičí okruh, chlad z výparníku je do chladičích registrů klimatizačních jednotek opět dodáván prostřednictvím samostatného okruhu s cirkulující vodou.

## 2.1. Chladivo

Zařízení používá vždy dvojici pracovních látek. Jedna pracuje jako absorbent, druhá jako chladivo. Běžně používané jsou dvě kombinace těchto látek. Tou první je LiBr / H<sub>2</sub>O (bromid lithný / voda), další možností je využití kombinace H<sub>2</sub>O / NH<sub>3</sub> (voda / čpavek), přičemž první z dvojice jmenovaných je vždy absorbent, ten druhý pak slouží jako chladivo. Rozdílnost těchto dvou systémů je zejména v možnosti dosažené teploty chladiva a tím i teploty chlazené vody. Při použití sorbentu LiBr je zpravidla možné dosáhnout teplotu chlazené vody na hodnotě +4 °C, zatímco druhý typ využívající vodu jako absorbent může produkovat i ledovou kapalinu o teplotě až -60 °C.

## 2.2. Regulace výkonu chlazení

Proces regulace výkonu chlazení je u absorpčních jednotek odlišný a o něco složitější než tomu je u kompresorových systémů. Hlavní mechanismus jednoho ze systémů regulace je založen na ovládní nahřívání samotného vypuzovače. V případě, že není tento nenahříván, tak ani nedochází k vypuzování vody z bohatého roztoku a tím ani není produkováno chladivo. Další možnost regulace pro již vzniklé chladivo spočívá v plynulé změně otáček čerpadla, které dopravuje chladivo, jež se nevypařilo ve vypuzovači. V situaci, kdy je chladičí výkon dostatečný, má čerpadlo chladiva nízké otáčky. V případě potřeby zvýšení výkonu jsou otáč-

ky plynule zvyšovány PID regulací frekvenčního měniče, kterým je čerpadlo vybaveno. Do celkové regulace je nutné zahrnout i další položky jako regulace otáček čerpadla bohatého roztoku, které přečerpává směs vody a bromidu lithného zpět do vypuzovače.

### **2.3. Možnosti zapojení a získání primární energie**

U absorpčních jednotek je obecně využíváno jako zdroj energie pro činnost chladicího okruhu teplo, které může pocházet z různých zdrojů. Mezi přímé zdroje tepla patří přívod teplé vody, páry nebo spalin. Na druhé straně je pak nepřímé získávání tepla, kdy nejprve dochází v hořáku jednotky ke spalení zemního plynu, lehkého topného oleje nebo bioplynu.

#### **Napojení na dálkové zásobování teplem**

Tam, kde existuje síť centrálního zásobování teplem (CZT), je možné napojit absorpční jednotku přímo na horkovod z teplárny, odkud podle daných možností takto odebírá teplou vodu nebo páru. Jedná se o velice ekonomické řešení, neboť v letním režimu mají teplárny zajištěn pouze nízký odběr a jejich instalovaný výkon není tak plně využíván. Ten způsob zapojení je tedy podporován i ze strany dodavatele tepelné energie, neboť tak částečně zvýší využití instalovaných kapacit.

#### **Využití odpadního tepla z průmyslové výroby**

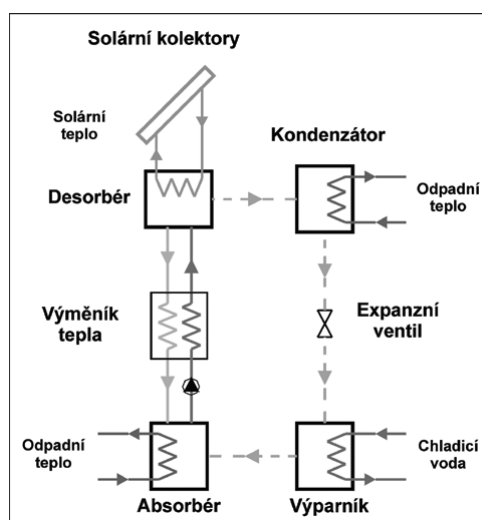
Další možností je navázání na průmyslové aplikace. Absorpční jednotky jsou takto napojeny na odpadní teplo z průmyslové výroby. Průmyslový podnik může být z pohledu zdroje tepelné energie pro absorpční jednotku plně soběstačný, což se projeví ve snížení doby návratnosti investice do celého systému.

#### **Trigenerační systém**

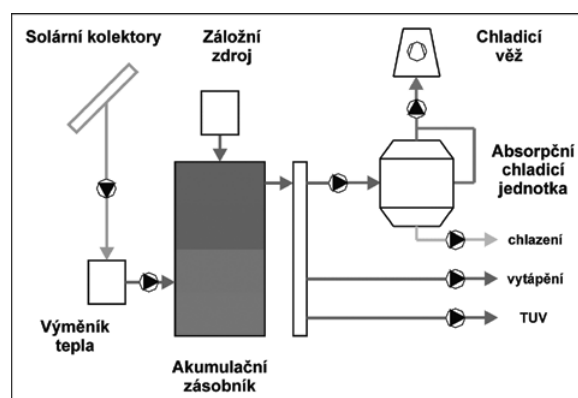
Systém trigenerace představuje kombinovanou výrobu elektrické energie, tepla a chladu, což v praxi znamená spojení kogeneračního zdroje, který primárně vyrábí elektrickou energii a zároveň produkuje teplou vodu pro další účely, spolu s absorpční chladicí jednotkou. Toto spojení je výhodné zejména z pohledu provozu kogeneračního zdroje, protože umožňuje využití teplé vody i v létě, kdy je celková potřeba tepelné energie menší, a tím dosáhnout efektivnějšího celkového ročního využití kogeneračního zdroje. Druhým způsobem instalace absorpční jednotky je napojení na produkované spaliny odcházející z kogenerační jednotky. V obou případech dosahuje systém vyšší účinnosti.[4]

#### **Zapojení využívající solární ohřev**

V tomto případě absorpční jednotka využívá jako zdroj teplo, které vzniklo díky ohřevu pomocí solárních kolektorů. Jedná se zatím o ne moc rozšířené řešení, které je ovšem předmětem mnoha studií, výzkumných úkolů a demonstračních projektů.[5]



Obr. 2-3: Schéma solárního jednostupňového absorpčního cyklu [5]



Obr. 2-4: Solární soustava pro přípravu TUV, vytápění a chlazení [5]

### 3. Výrobci zařízení

#### 3.1. Broad absorpční chladicí jednotky

##### Společnost BROAD, specializovaný výrobce absorpčních strojů s LiBr cyklem

Společnost BROAD byla založena v roce 1988 ve městě Changsha, provincie Hunan jako projekční a konstrukční společnost. V roce 1990 vyvinula beztlaký kotel a jeho patent prodala.

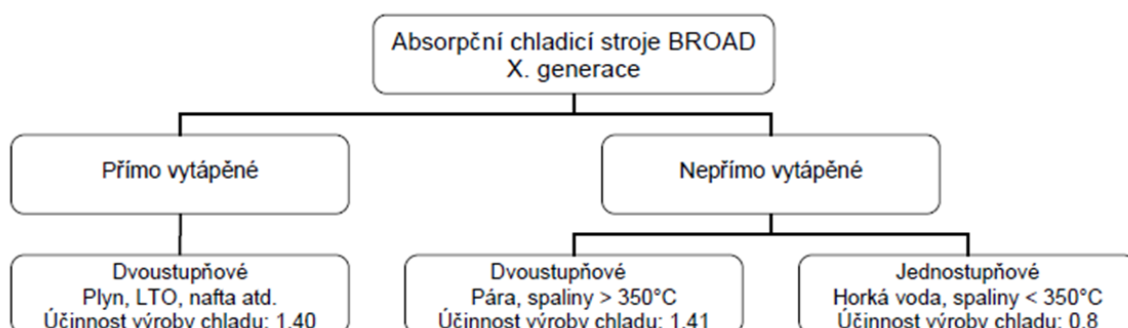
Na základě zkušeností s vakuem zkonstruovala v roce 1991 vlastní přímo vytápěný absorpční stroj pro chlazení a topení. Dalším důležitým mezníkem je rok 1998, kdy společnost Broad vstoupila se svými absorpčními stroji na zahraniční a světové trhy v Asii, USA a Evropě.

Dnes je společnost Broad specializovaným výrobcem absorpčních strojů s rozlohou továrny 320 000 m<sup>2</sup> a výrobní plochou 100 000 m<sup>2</sup>. Je nositelem více jak 50-ti patentů, počínaje řídicím systémem s integrovanou PLC logikou, až po modifikaci absorpčního cyklu. V současné době probíhá výroba již 10-té generace absorpčních strojů, což vypovídá o vývoji a inovaci výrobce v oblasti zdokonalení a využití absorpčního cyklu.

V současné době je instalováno ve více jak 30 zemích přes 10 000 absorpčních strojů se značkou BROAD včetně České republiky (7 resp. v roce 2008 již 10 instalací).

## Vlastnosti zařízení

- Inteligentní, plně bezobslužný a samostatný provoz bez zásahu operátora s časovým nastavením zapnutí a vypnutí zařízení. Dále je možné zařízení manuálně zapnout do režimu, kde v závislosti na okolní teplotě prostředí dojde k zapnutí nebo vypnutí chodu stroje, popřípadě je možno změnit výstupní teplotu chlazené vody. (Není potřeba další zásah obsluhy, kromě vizuální kontroly zařízení a případné preventivní kontroly vakua 1x za 3 měsíce).
- Perfektní ovládací funkce. Kontrolní systém může zajišťovat chod dalších navazujících periférií jako například kvalitu kapaliny ve vodních systémech, úsporu elektrické energie, směšování chladicí vody, ovládání frekvenčních měničů vodních čerpadel a ventilátorů chladicí věže, ekvitermní regulace atd.
- Monitorování provozu stroje výrobcem a dodavatelem. 24-ti hodinový monitoring pro každý instalovaný chladicí stroj tak, aby byl zajištěn správný provoz s maximální energetickou úsporou.
- Jednoduchost a variabilita. Snadné navržení stroje, elektrické schéma zapojení, vnější kabeláž a potrubní napojení předem eliminuje možný problém s instalací a obsluhou. Tento fakt podporuje i kompaktnost a malý rozměr strojů včetně možnosti standardního uplatnění do tlaku 2,4 MPa bez dalších tlakových regulačních periférií.
- Samostatný cyklus topení (přímo vytápěné stroje) znamená dvojnásobnou životnost stroje.
- Automatická detekce krystalizace a zamrznutí.
- Patentem firmy je odstraněn uživatelský problém s krystalizací LiBr a zamrznutím absorpčních strojů.
- Automatický čistící systém. Je používán pro odstranění nekondenzovatelných částic. Tlakový systém a zásobník umožňuje trvalé udržení vakua během provozu.
- Deskový výměník tepla. Tepelná energie mezi chudým a bohatým roztokem je téměř dokonale předána a teplotní rozdíl mezi nimi je pouze 2 - 5°C, což znamená úsporu více jak 15 % oproti trubkovému výměníku tepla.
- Turbulátor ve vysokoteplotním vypuzovači (přímo vytápěné stroje) dramaticky snižuje tepelné ztráty ve spalínách a znamená až 10 % energetické úspory.
- Sondy úrovně chladiva zabráňují plýtvání chladivem při provozu na poloviční výkon a následně tak zvyšují energetickou účinnost.
- Při 50 % zatížení chladicího stroje dosahují tato absorpční zařízení až o 20 % vyšší účinnost (COP).



Obr. 3-1: Přehled typů absorpčních jednotek [4]

**Přímo-vytápěné** absorpční chladicí stroje (DFA) používají jako napájecí energii palivo (zemní plyn, bioplyn, LTO atd.), které je spalováno v odpovídajícím hořáku vysokoteplotního vypuzovače.

**Nepřímo-vytápěné** absorpční stroje (IFA) používají již vyrobené teplo v podobě teplé nebo horké vody, popřípadě spalin nebo páry pro vyhřívání nízkoteplotního vypuzovače (jednostupňové stroje), případně vysokoteplotního vypuzovače (dvoustupňové nebo třístupňové stroje). Velmi zajímavou vlastností a výhodou těchto jednostupňových strojů je využití i velmi nízké teploty vody pro jejich pohon a výrobu chladu.

### **Přímo-vytápěné jednotky**

- označení: BZ
- napájecí medium: plyn, LTO, bioplyn, nafta, koksárenský plyn (podléhá speciální konzultaci s výrobcem)
- funkce: chlazení / topení
- tyto stroje jsou osazeny hořáky Weishaupt nebo Riello na příslušné palivo a vytápějí vysokoteplotní vypuzovač. Vyrobená tepelná energie se zužitkuje ve dvou stupních, proto se nazývají takoveto stroje dvoustupňové.

Tímto systémem (cyklem) se dosahuje účinnosti 1,41 – 1,56 (part load), to znamená, že z jedné kW plynu vyrobí 1,41 – 1,56 kW chladu. Při funkci topení dosahují účinnosti 0,95.

Využití: v místech s nedostatkem el. energie (často centra velkých měst) a požadavkem na chlazení např. kancelářských objektů nebo obchodních center, bytových a rodinných domů.

Výkonové spektrum: Malé jednotky = BCT 23, 70, 115 kW

Velké jednotky = BZ 233 – 11 630 kW

Jednotky je možné dodat v provedení „package“ (kompaktní provedení). Tzn., že k jednotkám je dodána i kompletní čerpadlová sada, která je vybavena čerpadly chlazené, chladicí a teplé vody. Dále je čerpadlová sada vybavena filtry, úpravnou chladicí vody, vypouštěcími a směšovacími ventily.

Jednotky je možné využívat jako energetický zdroj 3v1. A to pro produkci chlazené vody pro klimatizaci (chlazení), teplé vody pro sanitární účely a teplé vody pro vytápění.

### **Nepřímo-vytápěné absorpční jednotky**

- označení BH, BS, BE, BDH, BDS, BDE
- napájecí medium: teplá až horká voda, pára, geotermální voda, voda ze solárních panelů s teplotou vyšší jak 75°C
- funkce: chlazení
- na rozdíl od přímo vytápěných strojů jsou tato zařízení poháněna nepřímo vyrobenou tepelnou energií. Regulace množství tepelné energie je uskutečňována pomocí elektronicky řízeného regulačního ventilu či klapky u spalin.
- Tato zařízení se dále dělí na podskupiny: a) dvoustupňové (BH, BS, BE)  
b) jednostupňové (BDH, BDS, BDE)

1. jak již bylo zmíněno, tyto dvoustupňové stroje max. zužitkují dodanou energii ve dvou vypuzovačích. Jako poháněcí medium lze použít horkou vodu o teplotě od 120 – 140 °C, nebo páru o tlaku od 0,3 do 0,8 MPa. Účinnost těchto strojů dosahuje 1,41 – 1,6.

2. jednostupňové absorpční chladicí stroje zužitkovávají tepelnou energii pouze v jednom vypuzovači. Mediem v tomto případě je teplá voda od 75 – 120 °C nebo pára o tlaku 0,01 až 0,25MPa. Účinnost jednostupňových strojů dosahuje až 0,89.

Jednotky je možné dodat v provedení „package“ (kompaktní provedení).

Výkonové spektrum: 233 – 11 630 kW

### **Kombinované absorpční jednotky**

Kombinované jednotky jsou zařízení, která kombinují vlastnosti přímo a nepřímým vytápěných jednotek.

Jedná se o jednotky, které jsou schopné využívat více zdrojů pohonné energie. Oproti standardním a běžným jednotkám se jedná o řešení problémů s nedostatkem jednoho zdroje tepla a dále s sebou přináší kromě využití více zdrojů tepla také tu výhodu, že v případě nedostatku jednoho je možné zapnout automaticky druhý, a nepřerušit tak výrobu chladu.

Jednotky je velmi vhodné uplatnit u aplikací, kde může docházet k přerušené dodávce tepla (např. díky technologickým procesům), ale zároveň je stále potřeba chladit. Je možné je dodat také v provedení kompaktním.

Možné kombinace zdrojů tepla pro absorpční jednotku:

Plyn / Spaliny

Teplá voda / Spaliny

Plyn / Spaliny / Teplá voda

Plyn / Pára

Teplá voda / Plyn

### **Kompaktní absorpční stroje**

Kompaktní provedení - k jednotkám je dodána i kompletní čerpadlová sada, která je vybavena čerpadly chlazené, chladicí a teplé vody s regulací. Dále je čerpadlová sada vybavena filtry, úpravnou chladicí vody, filtrem, vypouštěcími a směšovacími ventily.

- BCT - kompaktní provedení - malé aplikace (venkovní instalace)

Jednotky BCT jsou určeny pro venkovní instalaci pro malé a střední aplikace. Jsou dodávány v kompaktním provedení včetně integrované chladicí věže.

Vyrábějí se ve třech výkonových provedeních 23, 70 a 115 kW (7/14°C, 57/50°C, 80/60°C). Jako pohonnou energii je možné volit horkou/teplou vodu (solární zdroj) nebo plyn (integrovaný hořák v jednotce) nebo spaliny.

Zařízení je velmi vhodné například pro využití v zapojení s mikroturbínou, při kterém je využíváno teplo spalin pro výrobu chladu.

- BDHY - kompaktní provedení – střední aplikace (venkovní instalace)

Kompaktní jednotky pro střední aplikace s venkovní instalací jsou dodávány v „kontejnerovém“ provedení. Jsou dodávány ve výkonech 20, 30, 50 kW a 233 - 582 kW chladicího výkonu. Jedná se o standardní jednotky (teplovodní, parní a spalinové jednotky), které jsou umístěné v ochranném kontejneru, včetně čerpadel chlazené a chladicí vody a ne-

zbytných silových a řídicích rozvaděčů. V případě požadavku je možné dodat i v pohledově totožném kontejneru chladicí věž.

Jednotky jsou vybaveny kompletní sofistikovanou regulací, která umožňuje systému se chovat absolutně autonomně a řídit veškeré prvky hydraulického systému na základě potřeby chladicí jednotky. Chladicí jednotky a chladicí věž stačí při dodání pouze propojit potrubím a komunikačními kabely (včetně napájení). Systém je navržený v provedení plug&play tak, aby byly uspořeny instalační náklady, včetně instalačního prostoru.

- BY - kompaktní jednotky – vnitřní provedení

Tyto kompaktní jednotky jsou jakékoliv jednotky z výrobní řady, které jsou dodané včetně čerpadlové sady a dalších nezbytných prvků pro provoz absorpční chladicí jednotky. Nejsou určeny pro venkovní instalaci. Jako pohonnou energii je možné využít jakýkoliv dostupný zdroj - horká voda, pára, LTO, spaliny, olej atd.

### **3.2. Thermax absorpční chladicí jednotky**

Společnost se sídlem v Pune (Indie) působí po celém světě prostřednictvím 19 zahraničních kanceláří, 12 kanceláří Prodej a servis a čtyř výrobních závodů - tři jsou v Indii a jedna v Číně.

Síť Thermax pokrývá 75 zemí napříč Asií a Tichomořím, Afrikou a Středním východem, Evropou, USA a Jižní Amerikou.

Thermax nabízí technologii absorpčního chlazení v kapacitě od 35 kW do 12 000 kW skládající se z jediné jednotky pro chlazení a pro průmyslové procesy chlazení.

Chladicí jednotky Thermax mohou být poháněny

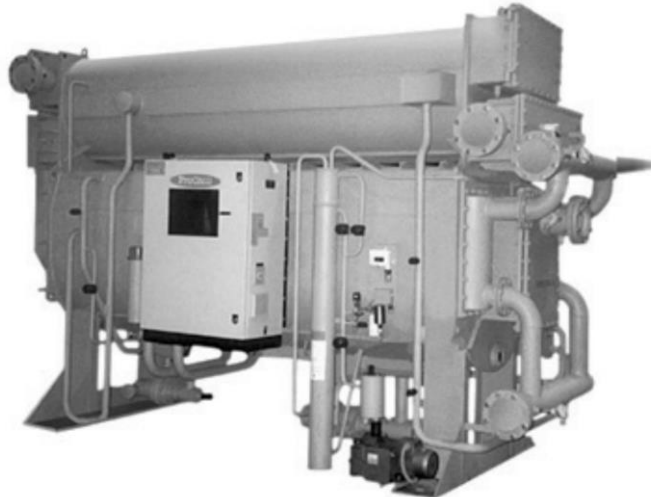
- horkou vodou
- párou
- plynem
- olejem
- přímo odpadními výfukovými plyny nebo odpadními spalinami

Chladiče Thermax jsou vyráběny na míru výrobním procesem s akreditovanými certifikáty ISO 9001, ISO 14001 a ISO 18001 certifikáty.

#### **Absorpční chladiče – médium teplá voda**

Tyto chladiče jsou k dispozici v nízkém, středním a vysokém řízeném teplotním režimu. Stroj poháněný horkou vodou se používá pro procesy chlazení v průmyslu a jako komfortní klimatizace ve všech druzích objektů a prostorách.





Obr. 3-2: Absorpční chladič – médium teplá voda [6]

**Teplou vodou poháněné absorpční chladiče jsou k dispozici od:**

- 35 kW do 6000 kW (30 modelů) – jednostupňový s teplotou vody od 75 °C až 140 °C
- 200 kW do 12.000 kW (28 modelů) – dvoustupňový s teplotou vody nad 140 °C

**Výhody u modelů chladič – teplá voda**

- Flexibilitu při práci s velkými teplotními rozdíly teplé vody
- Schopnost pracovat za nízké teploty horké vody na vstupu
- COP – Vyšší koeficient výkonnosti při částečném zatížení (při sníženém výkonu)
- Optimalizované výkony v konceptech občanských, státních a obchodních staveb (CHPC)
- COP až 0,78 v jedné fázi (0,8 při částečném zatížení) a 1,4 v dvoustupňové fázi (1,46 při částečném zatížení)

**Přednosti – absorpčních chladičů – teplá voda**

- Vysoká účinnost  
Speciální trubicový materiál a další inovace cyklu značně přispívá ke zvýšení koeficientu výkonnosti.
- 10 až 100% plynulá modulace  
Pro chlazení zatížení v rozmezí od 10 % do 100 % projektované kapacity, dvoucestný regulační ventil automaticky reguluje proudění páry v zájmu zachování teploty chlazené vody, která opouští chladič chladnější. To zajistí lepší výkony v částečném zatížení.
- Auto de-krytalizace  
Chladiče jsou instalovány s unikátní auto-dekrytalizací obvodu, která vyloučí jakékoli šance krytalizace.
- On-line čištění  
V továrně montovaná čistící jednotka, která se skládá z čistice poháněným elektromotorem, palladium buňky, zásobní nádrže, potřebného potrubí a armatury. Jakékoliv ne-

kondenzovatelné plyny vzniklé v chladiči během provozu jsou očištěny průběžně do zásobníku, čímž se udržuje nízké vakuum ve skořápce.

Plyny skladovány v nádrži můžou být vypouštěny pravidelně. Palladium buňka očistí vodík ze zásobníku průběžně a tím sníží požadavek na čištění čerpadla.

- Uzavírací ventily pro čerpadla

Uzavírací ventily jsou k dispozici pro čerpadla k usnadnění on-line údržby čerpadla bez porušení vakua v chladiči.

- Inhibitor koroze

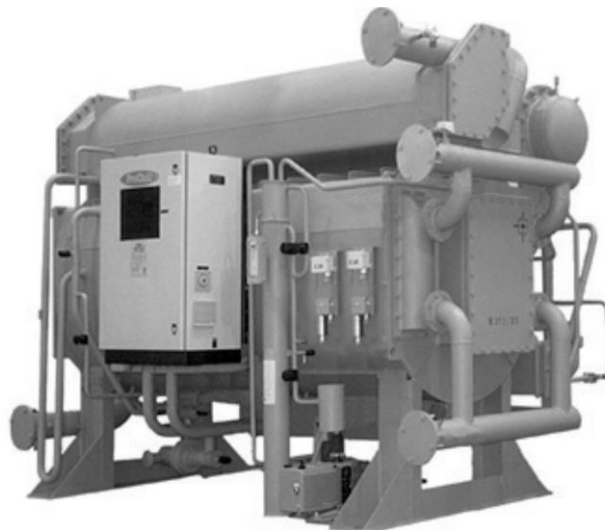
Thermax používá inhibitor koroze nové generace – Lithium molybdenan, který je šetrný k životnímu prostředí.

- PLC ovládání

Chladírny jsou vybaveny nejmodernější bází PLC ovládacího panelu s jedinečným displejem, uživatelsky jednoduché připojování a protokolování dat.

### Absorpční chladiče – médium pára

Tyto chladiče jsou k dispozici v jednostupňových a dvoustupňových efektních módech. Jako zdroj tepla se používá sytá pára.



Obr. 3-3: Absorpční chladič – médium pára [6]

### Parní chladiče jsou k dispozici v následujících výkonech

- 350 kW do 6000 kW (24 modelů) – jednostupňové, s tlakem na přívod páry od 0,5 bar až 3,5 bar
- 200 kW do 12 000 kW (28 modelů) – dvoustupňové, s tlakem na přívod páry od 4,0 bar až maximálně 10 bar

### Inovativní design nabízí

- COP až 0,78 v jedné fázi (0,8 při částečném zatížení) a 1,4 v dvoustupňové fázi (1,46 při částečném zatížení)
- Nejnižší spotřeba chlazené vody (kondenzátor)

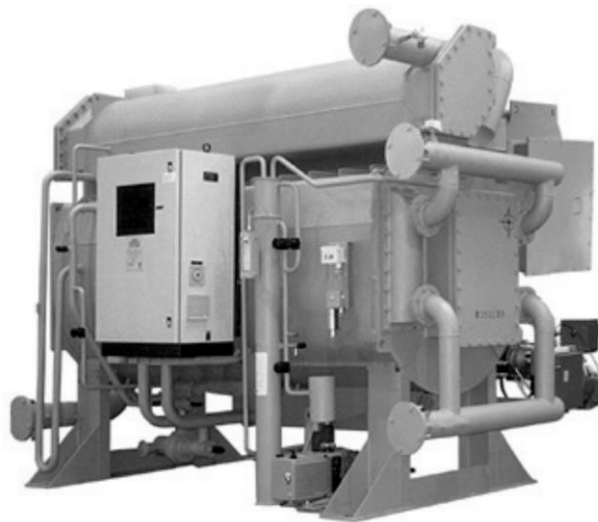
- Chlazení vody je tak nízké, blíží se až 0 °C

### **Přednosti – nejvýraznější rysy absorpčních chladičů Thermax – pára**

- Vysoká účinnost
- 10 až 100 % plynulá modulace
- Auto de-krytalizace
- On-line čištění
- Uzavírací ventily pro čerpadla
- Inhibitor koroze
- PLC ovládání

### **Absorpční chladiče – médium zemní plyn**

ECOCHILL NXT chladiče jsou k dispozici v rozmezí od 160–4000 kW chladícího výkonu a využívají řadu kapalných nebo plyných paliv pro pohon par absorpčního chladícího procesu. Tento chladič může v opačném případě vytápět objekty.



Obr. 3-4: Absorpční chladič – médium zemní plyn [6]

### **NXT generace přímým ohřevem chladiče nabízí**

- COP – vyšší koeficient účinnosti 1,2 (IPLV = 1,35)
- Multi-palivová kompatibilita
- Monoblokový hořák
- Vynikající výkon při částečném zatížení (sníženém výkonu)

### **Přednosti – absorpčních chladičů – plynové**

- Multi palivem

Ecochill NXT palivem řízené chladiče mohou pracovat na různé typy kapalných a plyných paliv, jako je zemní plyn, zkapalněný ropný plyn, stlačený zemní plyn, Superior petrolej a High Speed Diesel.

- Energeticky efektivní cyklus

Speciální konstrukční vlastnosti Ecochill chladiče - ohříváče NXT zajistí lepší hospodaření s palivou a vyšší COP.

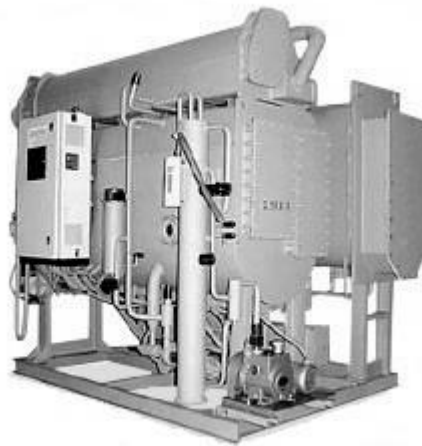
- Snadné přepnutí z chlazení na vytápění

Chlazení nebo topení lze získat ze stejné části výparníku, a to prostřednictvím jediného ventilu, který značně zjednodušuje přechod operace.

- 10 až 100% plynulá modulace
- Auto de-krystalizace
- On-line čištění
- Uzavírací ventily pro čerpadla
- Inhibitor koroze
- PLC ovládání

### **Absorpční chladiče – médium odpadní spaliny, výfukové plyny**

Tyto chladiče jsou k dispozici od 100 až 12000 kW chladicího výkonu. Chladiče využívají odpadní teplo výfukových spalin motoru.



Obr. 3-5: Absorpční chladič – médium odpadní spaliny [6]

Tyto chladiče mohou být poháněny přímo odpadním plynem, nebo můžou být poháněny s více druhy paliv s přímým odpadním plynem a s doplňkovým plynovým topením a LT teplou vodou, která je přiváděna do stejného chladiče.

Tyto chladiče můžou být použity kromě chlazení i pro vytápění objektů.

#### **Chladiče jsou k dispozici**

Ve výkonech od 100 kW do 12000 kW pro chladicí výkon.

#### **Chladiče poháněné přímým odpadovým plynem nabízí**

- COP – vysoký koeficient účinnosti 1,4
- Multi-palivová kompatibilita
- Monoblokový hořák
- Vynikající výkon při částečném zatížení (sníženém výkonu)

#### **Přednosti – absorpčních chladičů – odpadní teplo, spaliny**

- 10 až 100% plynulá modulace

- Auto de-krystalizace
- On-line čištění
- Uzavírací ventily pro čerpadla
- Inhibitor koroze
- PLC ovládání

### **3.3. Galletti kompresorové chladicí jednotky**

#### **Vzduchem chlazené chladiče kapalin**

Chladicí jednotky využívající kompresory typu Scroll se vyrábí ve venkovním i vnitřním provedení. Díky optimalizovaným výměníkům tepla a použitých chladiv je dosahováno vysokých koeficientů přestupu tepla, nízkých tlakových ztrát, vysoké účinnosti, spolehlivosti a úspory energie. Vyrábějí se v několika modelových řadách a v provedeních, zejména lze pak využít několika akustických provedení splňujících hygienické podmínky. Výkonový rozsah od 4 kW až do 1100 kW. Dále jsou zařízení dostupná také jako reverzibilní tepelná čerpadla umožňující celoroční využití pro chlazení a vytápění.

Chladiče kapalin do 70 kW  
Model: MPE-C, MPI-DC, MCC-C

Chladiče kapalin do 1100 kW  
Model: LCE-C, LSE-C, LCC-C

#### **Vodou chlazené chladiče kapalin**

Vodou chlazené kondenzační jednotky využívají kompresory typu Scroll, jedná se o kompaktní jednotky, které mají velmi malé nároky na prostor. Využitím kvalitních komponentů, hydraulických a elektrických systémů je dosahováno vysoké účinnosti, spolehlivosti a nižších hlukových parametrů. Vyrábějí se v několika modelových řadách a v provedeních, ve výkonovém rozsahu od 5,5 kW až do 1000 kW. Dále jsou zařízení dostupná také jako reverzibilní tepelná čerpadla a umožňují tak celoroční využití dle potřeb.

Chladiče kapalin do 40 kW: MCW-C

Chladiče kapalin do 1000 kW: LEW-C

#### **Chladiče kapalin s odděleným kondenzátorem**

Chladicí jednotky s odděleným kondenzátorem využívají kompresory typu Scroll a vyznačují se svou malou náročností prostorovou náročností a nízkou hlučností. Využitím kvalitních komponentů, hydraulických a elektrických systémů je dosahováno vysoké účinnosti, spolehlivosti a nižších hlukových parametrů. Vyrábějí se v několika modelových řadách a v provedeních, ve výkonovém rozsahu od 5 kW až do 1000 kW.

Chladiče kapalin do 70 kW: MCR

Chladiče kapalin do 1000 kW: LER

### 3.4. Aermec kompresorové chladicí jednotky

#### Kompaktní venkovní vzduchem chlazené „chillery“

##### NS

Velké chladicí jednotky s axiálními ventilátory, s dvojitými polohermetickými šroubovými kompresory a kotlovými výparníky. Plynulá regulace výkonu od 40 % do 100 %, s EEV od 25 % do 100 %. Jednotky je možné dodat v provedení s integrovaným hydraulickým modulem, částečným nebo celkovým získáváním tepla, antivibračními podložkami, u verze L a E s protihlukovým krytem kompresoru a elektrickým vyhříváním výparníku.

Chladivo	R134a
Chladicí výkon	238 – 1 600 kW
Topný výkon	275 – 812 kW

Vhodné pro obchodní a administrativní centra, energetická třída A (řada A) = značné provozní úspory, široká škála výkonu až 32 verzí v mnoha provedeních, vysoce účinné šroubové kompresory s plynulou regulací a tichým provozem, na vyžádání v provedení až do teploty výstupní vody -6 °C.



Obr. 3-6: Kompresorový chladič NS [7]

##### TBX

Velké chladicí jednotky s axiálními ventilátory, s turbokompresory a kotlovými výparníky.

Chladivo	R134a
Chladicí výkon	259 - 861 kW

12 výkonových řad, použita technologie největší účinnosti, velmi tiché provedení.



Obr. 3-7: Kompresorový chladič TBX [7]

### Kompaktní vnitřní vodou chlazené „chillery“

#### WSA

Velké chladicí jednotky (tepelná čerpadla) s dvojitými polohermetickými šroubovými kompresory a deskovými výměníky. Změna mezi chladicí jednotkou a tepelným čerpadlem musí být realizována v externím hydraulickém okruhu. Plynulá regulace výkonu s TEV od 40 % do 100 %, s EEV od 25 % do 100 %. Jednotky je možné dodat v provedení s částečným nebo celkovým získáváním tepla, antivibračními podložkami, s protihlukovým krytem kompresoru nebo s odděleným, např. vzduchem chlazeným, kondenzátorem. Vnitřní instalace.

Chladivo	R134a
Chladicí výkon	147 – 715 kW
Topný výkon	160 – 767 kW

Až 11 verzí v mnoha provedeních, velké chladicí výkony, na vyžádání lze jednotky dodat v provedení až do teploty výstupní vody  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , jednotky s vysokou účinností.



Obr. 3-8: Kompresorový chladič WSA [7]

## WF

Velké chladicí jednotky (tepelná čerpadla) s dvojitými polohermetickými šroubovými kompresory a kotlovými výměníky. Změna mezi chladicí jednotkou a tepelným čerpadlem musí být realizována v externím hydraulickém okruhu. Plynulá regulace výkonu s EEV od 25 % do 100 %. Jednotky je možné dodat v provedení s částečným nebo celkovým získáváním tepla, antivibračními podložkami nebo s odděleným, např. vzduchem chlazeným, kondenzátorem. Vnitřní instalace.

Chladivo	R134a
Chladicí výkon	632 - 1 554 kW
Topný výkon	676 – 1 667 kW

Až 8 verzí v mnoha provedeních, velké chladicí výkony, kompaktní rozměry, na vyžádání lze jednotky dodat v provedení až do teploty výstupní vody  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , vysoce účinné šroubové kompresory s plynulou regulací výkonu.



Obr. 3-9: Kompresorový chladič WF [7]

## 4. Návrh zařízení

Předmětem dalšího zkoumání a vzájemného porovnávání bude chladicí zařízení o výkonu  $Q = 600\text{ kW}_{ch}$  v několika dostupných variantách, přičemž hlavním cílem bude srovnání z hlediska účinnosti. Je třeba tento problém chápat i z širšího pohledu a vzájemně tak porovnat i další parametry jednotlivých zařízení, a to jak po technické stránce, tak i po ekonomické. V základním srovnání stojí proti sobě dnes dvě nejčastěji používané technologie pro chlazení – na jedné straně to je kompresorové chlazení a na druhé absorpční chlazení. Vzhledem k tomu, že jde o rozdílné technologie pro výrobu chladu, tak i zařízení založená na těchto principech budou mít rozdílné vlastnosti, z čehož vyplývá také různorodá vhodnost aplikace pro konkrétní případ dle určitých požadavků a možností zadavatele. Protože je na trhu k dostání vždy více variant technických řešení, budou proto dále vzájemně porovnávány celkem čtyři varianty – vždy po dvou pro každou technologii. Při návrhu každé varianty bylo bráno v úvahu, že daným požadavkem je pouze potřeba chlazení. Tudíž navržené varianty budou krýt pouze tyto potřeby, ačkoli výrobci jednotlivých zařízení vyrábí různé kombinované jednotky, které skloubí více funkcí najednou. Mohou tak současně nebo samostatně s výrobou chladu uspokojit i potřeby tepla a pokrývat zákazníkovi výrobu topné vody a přípravu teplé užitkové vody. Vzhledem k uvažovanému výkonu chlazení, bude toto vždy v dané variantě kryto pouze jedním zařízením, u něhož v současné době není problém plynule regulovat výkon, tudíž odpadá nutnost použít více zařízení. V některých případech se mohou objevit tako-



vé skutečnosti, ze kterých by vyplývala volba řešení s více jednotkami. To ovšem není obsahem této práce, proto bude dále uvažován zcela obecný případ.

### **Varianta A – Kompresorová jednotka s vodou chlazeným kondenzátorem**

V této variantě je kompresorová jednotka navržena v provedení s vodou chlazeným kondenzátorem. Výrobce je společnost Galletti – typové označení LEW 636 DS. Jmenovitý chladicí výkon je 666,1 kW při teplotě chlazené vody +6/12 °C na výstupu/vstupu a při teplotě chladicí vody 32/27 °C na výstupu/ vstupu. Toto zařízení má navržené dva samostatné chladicí okruhy s celkem 6 spirálovými kompresory – pro každý z obou okruhů po 3 kompresorech. Technický list kompresorové jednotky LEW 636 DS je uveden v příloze č. 1. Pro provoz je nezbytné odvádět přebytečné teplo z kondenzátoru. Z toho důvodu je zde navržena chladicí věž Teva TVC 601 s výkonem odvedeného tepla 760 kW při teplotě mokrého teploměru 21 °C. Technický list chladicí věže TVC 601 je uveden v příloze č. 1.

### **Varianta B – Kompresorová jednotka se vzduchem chlazeným kondenzátorem**

Jako další porovnávací kompresorová varianta byla zvolena jednotka se vzduchem chlazeným kondenzátorem. Výrobce tohoto zařízení je stejný jako v předešlém případě. Její označení je dle katalogu Galletti LSE 658 CS. Podle navržených parametrů pak jednotka disponuje jmenovitým výkonem 632,9 kW. Parametry teploty chlazené vody jsou stejné jako v předešlém případě, tj. +6/12 °C. Protože chlazení kondenzátoru je řešeno pomocí ventilátoru, který nasává okolní vzduch, bylo nutné při návrhu stanovit teplotu okolí. Běžně se stanovuje na úrovni 35 °C, což bylo zohledněno i v tomto případě. Chladicí okruh této jednotky je rozdělen na 4 dílčí samostatné okruhy, na každý připadají dva z celkem osmi scroll kompresorů. Jak již bylo zmíněno, tak z důvodu chlazení je jednotka vybavena ventilátory, ty jsou u tohoto modelu v počtu deseti. Příslušný technický list je k nalezení v příloze č. 2.

### **Varianta C – Absorpční jednotka s využitím teplé vody o parametrech 80/60 °C**

Při výběru absorpční jednotky je hlavním vodícím kritériem použitý zdroj tepelné energie. V této variantě je zdrojem teplá voda se vstupní teplotou 80 °C. Navržená jednotka je od výrobce Broad, konkrétní model pak nese typové značení BDH52X-100. Výkon této jednostupňové jednotky je 600 kW při teplotě chlazené vody +6/12 °C a teplotě chladicí vody 32/27 °C. Pro činnost absorpční jednotky je nezbytné odvádět přebytečné teplo, a to jednak z chlazení kondenzátoru, tak i z absorberu. Z tohoto důvodu je navržena externí chladicí věž Teva TGA 610 s výkonem odvedeného tepla 1653 kW při teplotě mokrého teploměru 21 °C. Oba technické listy jsou přiloženy v příloze č. 3.

### **Varianta D – Absorpční jednotka s využitím horké vody o parametrech 110/90 °C**

V této variantě byla vybrána také jednostupňová absorpční jednotka, ovšem v tomto případě se jedná o horkovodní typ, kdy na vstupu do zařízení je voda o teplotě 110 °C. Parametry chlazené i chladicí vody jsou totožné s variantou C, stejně tak i výkon. Vzhledem k odlišné náročnosti na odvod přebytečného tepla ve vztahu k předešlé variantě, byla k této jednotce vybrána chladicí věž Teva TGA 530 s výkonem odvedeného tepla 1395 kW při teplotě mokrého teploměru 21 °C. Tento model byl navržen pro teplotu chladicí vody 27/32 °C. Podrobnější technická specifikace k této variantě je uvedena v příloze č. 4.

## 5. Porovnání variant

V této části budou dále podrobněji popsány jednotlivé varianty po technické stránce včetně specifikace příslušných parametrů, které jsou dány především vlastním konstrukčním řešením. Cílem je tedy vzájemně porovnat navržená zařízení v rámci jedné použité technologie chlazení, tak i srovnat mezi sebou kompresorové a absorpční chlazení.

### 5.1. Kompresorové jednotky

#### Umístění

Ve variantě A jde o zařízení, které může být umístěno uvnitř budovy například někde v suterénu ve strojovně. Vzhledem k tomu, že chlazení kondenzátoru je řešeno pomocí chladicí věže, je potřeba ji vhodně umístit. Volba místa musí být provedena s ohledem na dva ventilátory produkovaný hluk. Ten sice nedosahuje nijak extrémních hodnot, zde je to 50 dB ve vzdálenosti 15 m, ale je třeba uvažovat, že takový ruch je produkován po celou dobu činnosti ventilátorů. Pro správnou činnost je také nutné zajistit dostatečný přísun vzduchu k chlazení věží, neboť při plném výkonu dosahuje průtok vzduchu ventilátory hodnoty 18,5 m<sup>3</sup>/s. Dále je nutné mít na zřeteli potřebné propojení chladicí věže a jednotky. To je provedeno potrubím o průměru 150 mm.

U druhé kompresorové varianty je potřeba také počítat s vnitřním umístěním jednotky. Avšak v tomto případě není třeba externí chladicí věže, tudíž odpadají veškeré záležitosti, které se toho týkají.

#### Hluk

V obou variantách je vybráno zařízení ve standardním provedení, čili bez snížené produkce hluku. V případě varianty A činí hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 10 m hodnoty 57 dB. U varianty B dosahuje tento parametr hodnoty 64 dB. Tento rozdíl je možné přisoudit skutečnosti, že chladicí zařízení ve variantě B disponuje ještě navíc ventilátory k chlazení kondenzátoru, které varianta A nemá přímo instalovány na jednotce.

#### Elektrická přípojka

Protože jde o elektrické zařízení, je nezbytné se zaobírat elektrickou přípojkou, která musí být provedena hlavně s náležitými parametry. V obou případech je vyžadováno připojení na zdroj střídavého elektrického proudu s napětím 400 V a s frekvencí 50 Hz v provedení 3 fázových vodičů a 1 nulového. Odlišnost nastává v dosahovaných proudových odběrech. Ve variantě A je celkový proudový odběr 207,2 A. Ve druhé variantě je tento roven součtu proudového odběru kompresorů a ventilátorů:

$$336,8 + 43 = 379,8 \text{ A.}$$

Z porovnání pak vychází druhý případ jako náročnější na přípojku zdroje elektrického proudu. Dalším důležitým parametrem je startovací proudový odběr, který je vyšší a popisuje potřeby při rozběhu zařízení. V prvním případě to je 621 A, ve druhém pak 648 A.

	Varianta A	Varianta B
Typ přípojky [V/Hz/f]	400/50/3+N	400/50/3+N
Proudový odběr [A]	207,2	379,8
Startovací proud [A]	621	648
Příkon kompresorů [kW]	129,2	210
Příkon ventilátorů [kW]	9,2	17,5
Celkový příkon [kW]	138,4	227,5

Tab. 5-1: Proudový odběr a příkony

### Rozměry a hmotnost

Pro manipulaci při instalaci zařízení a také pro zajištění dostatečného prostoru okolo je potřeba sledovat nejen příslušné maximální rozměry, ale i hmotnost. Jak je patrné z tab. 5-2, tak rozměrově i hmotnostně jsou zařízení výrazně odlišná, což je dáno celkovou koncepcí. Vyšší hmotnost ve variantě B je způsobena přímo instalovaným vzduchovým chlazením kondenzátoru na jednotce.

	Varianta A	Varianta B
Rozměry [DxŠxV] [mm]	3534 x 1199 x 1583	5065 x 2250 x 2650
Hmotnost bez příslušenství [kg]	2100	4482

Tab. 5-2: Porovnání rozměrů a hmotností

### Parametry chlazené vody

Teploty chlazené vody byly zvoleny již při návrhu, v obou případech jsou shodně +6/12 °C. Protože jsou jmenovité chladicí výkony jednotek rozdílné a teplotní spád chlazené vody jako rozdíl teploty chlazené vody na vstupu a výstupu je shodný, musí být i průtoky vody přes výparník rozdílné. V první variantě činí průtok 94,4 m<sup>3</sup>/h, ve druhé potom 90,5 m<sup>3</sup>/h. Rozdíl průtoků je dán rozdílným výkonem jednotek

### Parametry chladicí vody/vzduchu

Ve variantě A je instalována chladicí věž, která je posledním článkem v odvodu tepla z kondenzátoru. Pro vzájemné porovnání variant se jeví údaj o průtoku vzduchu ventilátory. U externí věže projde ventilátory při maximálním výkonu 18,5 m<sup>3</sup>/s vzduchu, u varianty B se vychází z hodnoty průtoku vzduchu přes kondenzátor, která, když se převede na stejné jednotky, činí přibližně 55,6 m<sup>3</sup>/s. Z toho lze vyvodit jistý závěr, a to, že koncepce s externí chladicí věží je mnohem efektivnější.

### Chladivo

Použité chladivo je v obou variantách shodně R410A.

### Způsob provozu – regulace

V obou případech je systém regulace založený na stejném principu. Jednotka je rozdělena na více chladicích okruhů a v každém z nich jsou pak zapojeny 2 nebo 3 kompresory, což umožňuje regulovat potřebné množství chladiva odpojením kompresoru nebo plynulou regulací

výkonu některého z nich. Mikroprocesorové řízení automaticky rozděljuje zátěž mezi kompresory, čímž se zvyšuje jejich životnost. Varianta A je charakterizována jako 6/2, kdy první číslo udává celkový počet kompresorů a druhé pak počet chladicích okruhů. U varianty B je pak tento poměr 8/4.

### Účinnost

Porovnávacím parametrem pro účinnost je hodnota EER udávaná výrobcem, která vyjadřuje účinnost při plném zatížení. Ve variantě A je výše zmíněná účinnost rovna 5,11. To znamená, že na 1 kW dodaného příkonu v podobě elektrické energie připadá 5,11 kW výkonu chlazení. U jednotky se vzduchem chlazeným kondenzátorem je dosahovaná účinnost při plném výkonu nižší a to 2,78.

## 5.2. Absorpční jednotky

### Umístění

Tak jako u kompresorové jednotky ve variantě A, tak i u obou absorpčních jednotek musí být umístění řešeno pro chladicí zařízení a zvláště pro chladicí věž. Koncepce je ve všech těchto třech případech stejná. Pro absorpční jednotky musí platit totéž, co pro variantu A. V následující tabulce 5-3 jsou souhrnně uvedeny přípojovací rozměry pro potrubí, která vždy přivádí do jednotky příslušné médium.

Přípojka/Varianta	C	D
Chladicí voda	DN200	DN200
Chlazená voda	DN150	DN125
Topná voda	DN125	DN100

Tab. 5-3: Porovnání velikostí přípojek

Pro správný provoz je nezbytné řídit se doporučeními, které uvádí výrobce zařízení. Ten je pro variantu C i D stejný. Teplota ve strojovně by se měla pohybovat v rozpětí +5 až +43 °C při relativní vlhkosti maximálně 85 %.

### Hluk

U obou variant je jediným významnějším producentem hluku externí chladicí věž. Srovnání parametrů průtoku vzduchu ventilátory věží a akustického tlaku je provedeno v tab. 5-4.

	Varianta C	Varianta D
Průtok vzduchu [m <sup>3</sup> /s]	36,4	29,9
Akustický tlak v 15 m [dB]	67	66

Tab. 5-4: Porovnání chladicích věží

### Elektrická přípojka

Největším spotřebičem je obecně u absorpčních jednotek systém čerpadel, která dopravují potřebné kapaliny. Další neopomenutelnou součástí v obou variantách, která spotřebovává

významné množství elektrické energie, je chladicí věž. Náročnost na dostatečně kapacitní zdroj elektrické energie pro jednotlivé varianty zobrazuje tab. 5-5.

	Varianta C	Varianta D
Typ přípojky [V/Hz/f]	400/50/3	400/50/3
Příkon absorpční jednotky [kW]	5,7	3,1
Příkon ventilátorů chladicích věží [kW]	2 x 11	18,5
Celkový příkon [kW]	27,7	21,6

Tab. 5-5: Příkony zařízení

### Rozměry a hmotnost

Ve variantě C musí být zařízení, vzhledem k použité nižší teplotě topné vody a při současném zachování chladicího výkonu, o mnoho větší než ve variantě D v důsledku potřeby větších teplosměnných ploch. Srovnání rozměrů a hmotností je patrné v tab. 5-6.

	Varianta C	Varianta D
Rozměry [DxŠxV] [mm]	5000 x 1300 x 2500	4575 x 1030 x 2245
Transportní hmotnost [kg]	10500	6500
Provozní hmotnost [kg]	11500	7000

Tab. 5-6: Porovnání rozměrů a hmotností absorpčních jednotek

### Parametry chlazené vody

Teploty chlazené vody byly zvoleny již při návrhu, pro obě varianty jsou shodně +6/12 °C. Jmenovité chladicí výkony jednotek jsou také stejné, tudíž musí být i průtoky vody přes výparník shodné. Průtok vody činí pro obě jednotky přibližně 87 m<sup>3</sup>/h.

### Parametry chladicí vody

Teploty pro okruh chladicí vody byly navrženy stejně na hodnotách 32/27 °C pro výstup/vstup z jednotky. Náročnost potřeby jednotlivých variant na množství protékané vody je však rozdílná. Varianta C požaduje celkově průtok 284,2 m<sup>3</sup>/h, což je více v porovnání s variantou D s průtokem 241,7 m<sup>3</sup>/h.

### Parametry topné vody

Zatímco ve variantě C je navržena jednotka jako teplovodní se vstupem vody o teplotě 80 °C, tak u druhé, jakožto horkovodní, je vstupem voda s teplotou 110 °C. Požadavky na přivedené množství topné vody jsou v důsledku rozdílného návrhu odlišné. Pro variantu C je zapotřebí přivádět 47,6 m<sup>3</sup>/h topné vody, na druhé straně varianta D si vystačí s průtokem 34,4 m<sup>3</sup>/h.

### Chladivo

V obou variantách je použit jako absorbent roztok bromidu lithného s koncentrací 50 %.

## Způsob provozu – regulace

Absorpční jednotky typu BDH jsou vybaveny nejmodernějšími prvky automatické regulace pro bezporuchový provoz s plynulou regulací chladicího výkonu od 5 do 100 % pomocí vestavěné PLC řídicí jednotky, která ovládá celý proces absorpčního chlazení za pomoci frekvenčních měničů oběhových čerpadel a PID regulace topného ventilu s havarijní funkcí. Vizualizace provozu a ovládání je prováděno pomocí dotykového ovládacího panelu s grafickým rozhraním. Volitelně pak lze jednotky vybavit beznapěťovými kontakty pro vzdálené ovládání nebo komunikační kartou pro sériovou komunikaci s nadřazenou regulací.

## Účinnost

U absorpčních jednotek se daná účinnost hodnotí koeficientem COP, ten vyjadřuje poměr mezi získaným výkonem v podobě chlazení a potřebným přivedeným výkonem ve formě tepla v topné vodě. Protože jednotka ve variantě C pracuje s topnou vodou o nižší teplotě, je její celková spotřeba tepla nutná k vypuzení vody z absorbentu vyšší, a tudíž její účinnost bude nižší. Vše je patrné z tab. 5-7.

	Varianta C	Varianta D
Výkon [kW]	600	600
Spotřeba tepla [kW]	1053	795
COP [-]	0,57	0,755

Tab. 5-7: Porovnání účinnosti

## 5.3. Kompresorové a absorpční

Oba cykly, ať už jde o kompresorový nebo absorpční, se odlišují hlavně tím, že absorpční jednotky potřebují relativně malá čerpadla pro dosažení talkových rozdílů, zatímco kompresorové cykly stlačují páry, což je výkonově i energeticky náročnější. Tento aspekt je však kompenzován daleko lepší účinností u kompresorových zařízení než tomu je u absorpčních. Tento pohled na účinnost je však zkreslen, neboť bere v úvahu pouze výrobu chladu. Do celkové účinnosti se totiž ještě promítá účinnost na zdroji energie tj. účinnost výroby tepelné energie a ve druhém případě elektrické energie. Pokud se bere v úvahu jen chladicí faktor, pak ze srovnání vychází o mnoho lépe kompresorový cyklus. Na druhou stranu potřeba dodávky elektrické energie bude znatelně vyšší, pro konkrétní případ porovnání mezi variantou D a A, je elektrický příkon přibližně 8x vyšší u kompresorové varianty. Výhodou je pak celková kompaktnost zařízení na straně kompresorového chlazení, neboť z porovnání je patrné, že absorpční jednotka je přibližně 1,5x větší a také 3x tak těžší. Jistou nevýhodou absorpční varianty je její vyšší finanční nákladnost na pořízení, která by se však měla vrátit v podobě obecně udávané delší životnosti.

	<b>Absorpční jednotka Varianta D</b>	<b>Kompresorová jednotka Varianta A</b>
Hl. napájecí zdroj	teplo	el. energie
Chladicí faktor	0,755	5,11
El. příkon jednotky a chl. věže	21,6 kW	163,6 kW
Velikost jednotky	1,5x	1x
Hmotnost jednotky	6500 kg	2100 kg
Investice	1,8x	1x
Životnost	25 let	12 let
Hluk	nízký	střední
Regulovatelnost	plynulá	dobrá
Chladivo	voda	speciální chladivo

Tab. 5-8: Porovnání absorpční a kompresorové jednotky

## 6. Výpočet účinnosti

### 6.1. Kompresorové chlazení

Výpočet pro kompresorový oběh bude proveden na zjednodušeném modelu oběhu chladiva v cyklu. Proto nebude dále uvažována účinnost kompresoru, ani účinnost přenosu tepla ve výměnících a také různé ztráty na vedení.

V souladu se zákony termodynamiky platí pro kompresorový okruh následující vztah:

$$\dot{Q}_k = \dot{Q}_o + \dot{Q}_e \quad [W] \quad (6.1)$$

kde:  $\dot{Q}_k$  – Tepelný výkon z cyklu odváděný (kondenzátorem) [W]

$\dot{Q}_o$  – Tepelný výkon cyklem odebíraný (výparníkem) [W]

$\dot{Q}_e$  – Mechanický výkon do cyklu přiváděný (kompresorem) [W]

Pro systém chlazení je výstupem tepelný výkon cyklem odebíraný  $\dot{Q}_o$ , který představuje výrobu chladu. Do cyklu je však nutné dodávat mechanický výkon, který je přiváděn v podobě vykonané práce kompresoru  $\dot{Q}_e$ . Součet těchto výkonů  $\dot{Q}_k$  je pak odváděn z kondenzátoru v podobě tepelné energie.

Účinnost je definována vztahem:

$$\varepsilon_{ch} = \frac{\dot{Q}_o}{\dot{Q}_e} \quad [-] \quad (6.2)$$

kde:  $\varepsilon_{ch}$  - Chladicí faktor chladicí jednotky [-]

Pro výpočet účinnosti je tudíž nezbytné vypočítat výkony ve vzorci (6.2). Pro tento účel bude uvažován Rankinův porovnávací cyklus, který je znázorněn v  $T - s$  diagramu na obr. 6-1. Tento ideální oběh se skládá z níže uvedených termodynamických změn:

- 1 – 2 Izoentropické zvýšení tlaku z  $p_o$  na  $p_k$  v kompresoru
- 2 – 3 Izobarický odvod tepla  $q_k$  při tlaku  $p_k$  v kondenzátoru
- 3 – 4 Izoentalpické snížení tlaku z  $p_k$  na  $p_o$  při průchodu škrticím ventilem
- 4 – 1 Izobarický přívod tepla  $q_o$  při tlaku  $p_o$  ve výparníku

Vztah (6.1) se může po vydělení měrným průtokem chladiva  $\dot{m}$  dále přepsat na následující tvar s měrnými veličinami:

$$\frac{\dot{Q}_k}{\dot{m}} = \frac{\dot{Q}_o}{\dot{m}} + \frac{\dot{Q}_e}{\dot{m}} [J \cdot kg^{-1}] \quad (6.3)$$

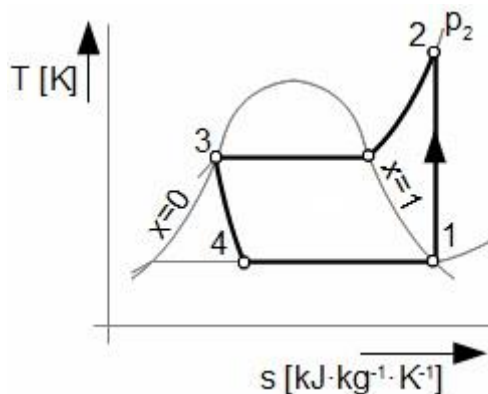
$$q_k = q_o + a_{kom} [J \cdot kg^{-1}] \quad (6.4)$$

Člen  $a_k$  představuje dodanou práci kompresoru.

Obdobně lze získat přeepsaný chladicí faktor:

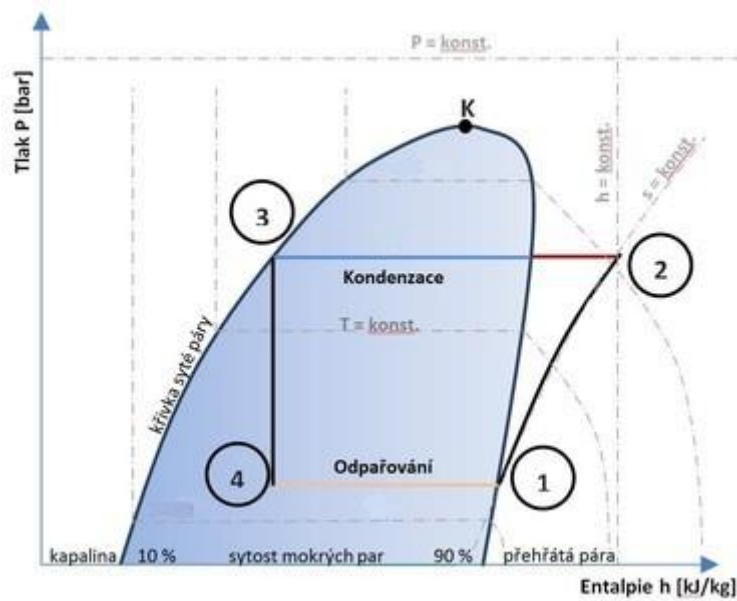
$$\varepsilon_{ch} = \frac{q_o}{a_{kom}} [-] \quad (6.5)$$

V  $T - s$  diagramu odpovídá teplu  $q_o$  přivedenému do oběhu ve výparníku plocha pod čarou 4 – 1. Teplo  $q_k$  odvedené z oběhu v kondenzátoru odpovídá ploše pod čarou 2 – 3. Plocha ohraničená jednotlivými změnami představuje práci kompresoru  $a_{kom}$ , neboť dle vztahu (6.4) je rovna rozdílu  $q_k$  a  $q_o$ .



Obr. 6-1:  $T-s$  diagram porovnávacího cyklu [10]





Obr. 6-2: P-h diagram porovnávacího cyklu [11]

Pro další výpočty je vhodné použít  $p - h$  diagram, protože 3 tepelné procesy jsou zobrazeny přímkami (obr. 6-2). 1. zákon termodynamiky pro izolovanou soustavu lze zapsat takto:

$$dq = dh + da_t \quad (6.6)$$

kde:  $dq$  - diferenciál měrného tepla

$dh$  - diferenciál měrné entalpie

$da_t$  - diferenciál měrné technické práce

Ve výparníku a kondenzátoru se žádná práce nekoná, tudíž  $da_t = 0$ . Potom tedy  $dq = dh$ . Z digramu  $p - h$  dále plynou následující vztahy:

$$|q_k| = h_2 - h_3 \quad (6.7)$$

$$q_o = h_1 - h_4 \quad (6.8)$$

Protože je uvažováno, že kompresor stlačuje chladivo adiabaticky, tedy bez výměny tepla, je  $dq = 0$ . Pak platí  $da_t = -dh$  a dále:

$$a_{kom} = h_2 - h_1 \quad (6.9)$$

Po dosazení (6.9) a (6.8) do (6.5) obdržíme rovnici:

$$\varepsilon_{ch} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (6.10)$$

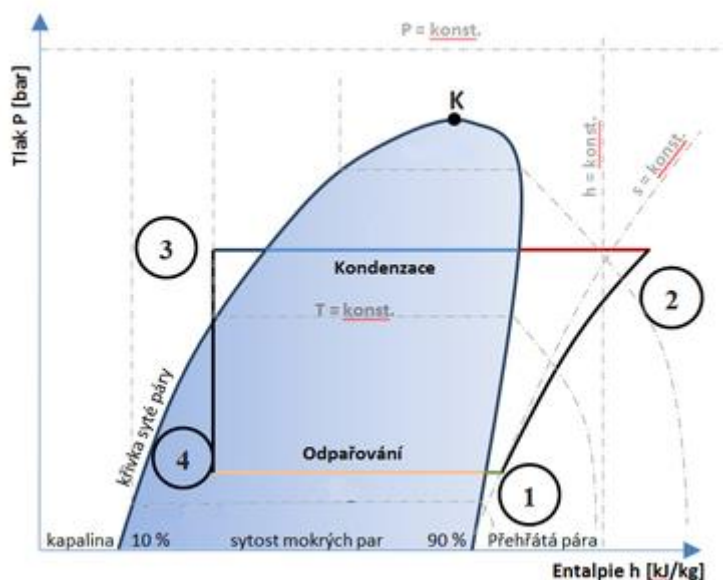
Z definice (6.10) a z  $p - h$  diagramu plyne, že velikost chladicího faktoru ovlivňují tyto parametry:

1. Použité chladivo. Termodynamické vlastnosti chladiva ovlivňují vymezený tepelný oběh v  $p - h$  diagramu, kde z poměru délek úseček lze stanovit chladicí faktor. Obecně lze říci, že čím jsou mezní křivky širší, tím bude poměr délek větší a tím i chladicí faktor.
2. Výparná teplota. Při stejném přivedeném teplu  $\dot{Q}_o$  platí, že čím vyšší bude výparná teplota  $t_o$ , tím bude práce vykonaná kompresorem  $\dot{Q}_e$  nižší a chladicí faktor naopak vzroste. Je třeba také dodat, že se tímto krokem sníží i hmotnostní průtok chladiva  $\dot{m}$ .

3. Kondenzační teplota. S rostoucí teplotou kondenzace  $t_k$  při zachování stejného odebraného tepla z okolí  $\dot{Q}_o$  se práce dodaná kompresorem  $\dot{Q}_e$  snižuje. Také v tomto případě dojde ke snížení hmotnostního průtoku chladiva  $\dot{m}$ .

Dosud byl uvažován pouze zjednodušený tepelný oběh, ten reálný se však odlišuje. Na účinnost potom mají vliv i následující činitelé:

- a. Typ komprese. V porovnávacím Rankinově cyklu byla uvažována izoentropická komprese. Ve skutečnosti tento děj stlačování probíhá polytropicky a to s nekonstantním Poissonovým číslem  $\kappa$ . Chladivo, které je přiváděno, se nejdříve ohřívá vlivem stlačování a také od stěn kompresoru do doby, kdy se teploty vyrovnají. Pak se dalším stlačováním teplota chladiva zvyšuje a vzniklé teplo začne naopak ohřívát kompresor.
- b. Přehřátí při vypařování. Expanzní ventil zajišťuje nezbytné přehřátí par chladiva v bodě (1) na obr. 6-3. Kompresor totiž nesmí nasávat páry s podílem kapaliny, mohlo by dojít k jeho trvalému poškození.[8] U elektronicky řízených ventilů lze dosáhnout přehřátí cca 5K.[9]



Obr. 6-3: P-h diagram chladicího okruhu [11]

- c. Podchlazení při kondenzaci. V závěru kondenzace dochází k podchlazení kapalného chladiva (3). Pro spolehlivou činnost chladicího okruhu je důležité získat dostatečné podchlazení.[8]

### Výpočet parametrů oběhu

Konkrétní postup, který je uveden níže, je vztažen na variantu A, a to za zjednodušených podmínek oběhu. Tomu odpovídá obr. 6-2.

Jak již bylo uvedeno v (6.10), je nutné dopočítat entalpie  $h_1$ ,  $h_2$  a  $h_3 = h_4$ . Poslední rovnost plyne z toho, že daná termodynamická změna je izoentalpická.

Výchozím bodem tepelného oběhu je stav 1, což odpovídá syté páře. Pro tento bod se určí jako první entalpie  $h_1$  ze znalosti teploty výparné teploty  $t_o$ . Z tabulek se také odečte pro stav 1 entropie  $s_1$ . Pro určení stavu 2 se vychází z toho, že komprese je izoentropická, pak jeho entropie  $s_2 = s_1$ . Bod 2 také leží na izobare kondenzačního tlaku  $p_k$ , který přísluší kondenzační teplotě  $t_k$ . Z těchto údajů se určí entalpie  $h_2$ . Pro určení entalpie  $h_4$  se využije rovnost

$h_4 = h_3$ . Entalpie  $h_3$  odpovídá bodu 3, který je na levé mezní křivce, tedy ve stavu syté kapaliny.

Před vlastním určením entalpií je nutné stanovit výparnou teplotu  $t_o$ . Ta odpovídá teplotě přiváděné chlazené vody  $t_{chlaz}$  snížené o teplotní spád  $\Delta t_o$  ve výparníku, který slouží k uskutečnění přenosu tepla. Obdobně se určí kondenzační teplota  $t_k$ , která vychází z teploty přiváděné chladicí vody  $t_{chlاد}$ . Ta je ještě zvýšena o teplotní spád  $\Delta t_k$  v kondenzátoru, který má stejnou funkci jako  $\Delta t_o$ .

$$t_o = t_{chlaz} - \Delta t_o \quad (6.11)$$

$$t_k = t_{chlاد} + \Delta t_k \quad (6.12)$$

Pro oběh byly určeny následující teploty:

$$t_{chlaz} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_o = 12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{chlاد} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_k = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

Potom tedy:

$$t_o = 12 - 12 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_k = 27 + 10 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$$

Stanovení termodynamických vlastností uvažovaného chladiva R410A bylo provedeno z tabulek získaných ze softwaru Solkane 8. V příloze č. 8 je uveden příslušný  $p - h$  diagram chladiva.

Stav 1 má následující hodnoty:

$$h_1 = h_1'' = 421,23 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$s_1 = s_1'' = 1,81 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Stav 2 pak jako průsečík izoentropie  $s_1 = 1,81 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a izobary  $p_k = 2,254 \text{ MPa}$ :

$$h_2 = 449,55 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Stavu 3 odpovídá entalpie syté kapaliny při kondenzační teplotě  $t_k = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$h_3 = 260,73 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Stav 4 má stejnou hodnotu entalpie jako stav 3:

$$h_4 = 260,73 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Po dosazení do (6.10):

$$\varepsilon_{ch} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$
$$\varepsilon_{ch} = \frac{421,23 - 260,73}{449,55 - 260,73} \cong 5,68$$

## 6.2. Absorpční chlazení

Pro výpočet účinnosti absorpčního chlazení budou využity diagramy, které uvádí daný výrobce u svých jednotek. Tento výpočet bude aplikován na již dříve zmiňovanou variantu D.

Diagram, který je uveden na obr. 6-4, platí pouze pro jednostupňové absorpční jednotky, které jako zdroj tepelné energie využívají horkou vodu. V případě jiného typu zařízení je potřeba využít tomu odpovídající diagram. Žlutou čarou jsou vyznačeny referenční hodnoty, které však jsou odlišné od návrhu varianty D. Jednotlivé uvedené popisky odpovídají černě vyznačeným údajům, modře je pak vždy uvedena příslušná účinnost COP.

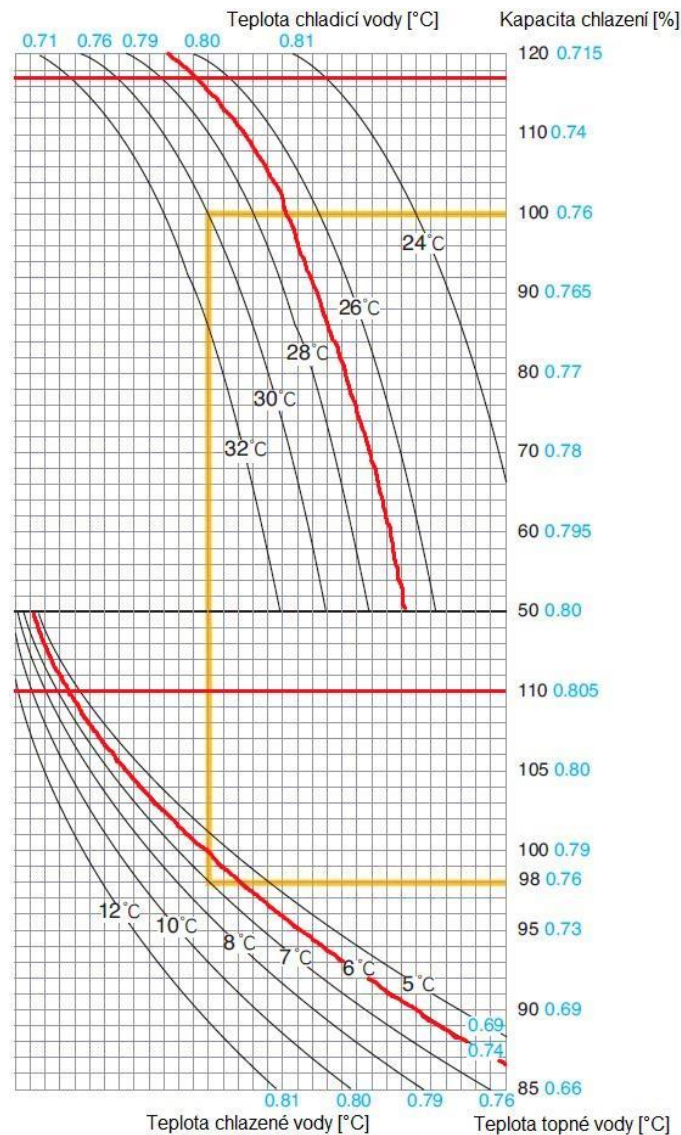
Pro návrh zařízení dle diagramu se postupuje následujícím způsobem. Protože diagram zobrazuje závislost celkem čtyř parametrů – kapacita chlazení, teplota chladicí vody, teplota chlazené vody, teplota topné vody – je potřeba zvolit 3 parametry a čtvrtý potom na základě příslušných křivek odvodit z diagramu. Takto lze postupovat v uvedeném rozsahu na obr. 6-4. V případě specifických podmínek jsou však některé jednotky navrhovány přímo techniky výrobce. To je případ varianty C, kdy teplota topné vody je 80 °C, díky čemuž nelze použít uvedený diagram.

Pojem kapacita chlazení, uvedená v procentech, je údaj, který udává výkon ve vztahu k jednotlivým výkonovým modelům daného typu absorpční jednotky. Při uvažování návrhových parametrů dle tab. 6-1 by kapacita chlazení byla příliš vysoká, mimo rozsah doporučený výrobcem zařízení. Z tohoto důvodu je nutné zvolit jednotku o větším nominálním výkonu, což povede při požadovaném výkonu na nižší kapacitní využití. V tomto konkrétním případě je kapacita chlazení na hodnotě 117 %. Jedná se tedy o provoz za specifických podmínek, kdy byly všechny čtyři požadované provozní parametry zvoleny na sobě zcela nezávisle, což odporuje již dříve uvedenému popisu postupu. Pro variantu D tudíž nedojde k vzájemnému protnutí křivek, jak je zobrazeno červeně na obr. 6-4. Výpočet účinnosti bude proto pouze přibližný vzhledem k vzájemnému nesouladu parametrů.

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

Tab. 6-1: Návrhové parametry pro absorpční jednotku varianty D

Obecně při znalosti všech čtyř vzájemně si odpovídajících parametrů, tj. získaných z diagramu, se účinnost stanoví jako aritmetický průměr čtyř COP hodnot. Tyto hodnoty jsou vždy zobrazeny modře hned vedle hodnoty příslušného parametru.



Obr. 6-4: Diagram pro výpočet účinnosti [12]

### Stanovení účinnosti

Ve variantě D byly zvoleny všechny čtyři parametry, těm přísluší určité hodnoty COP, jak je uvedeno v tab. 6-2. Ty byly odečteny z diagramu na obr. 6-4 buď přímo, nebo v případě potřeby interpolací na základě dvou sousedních hodnot.

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

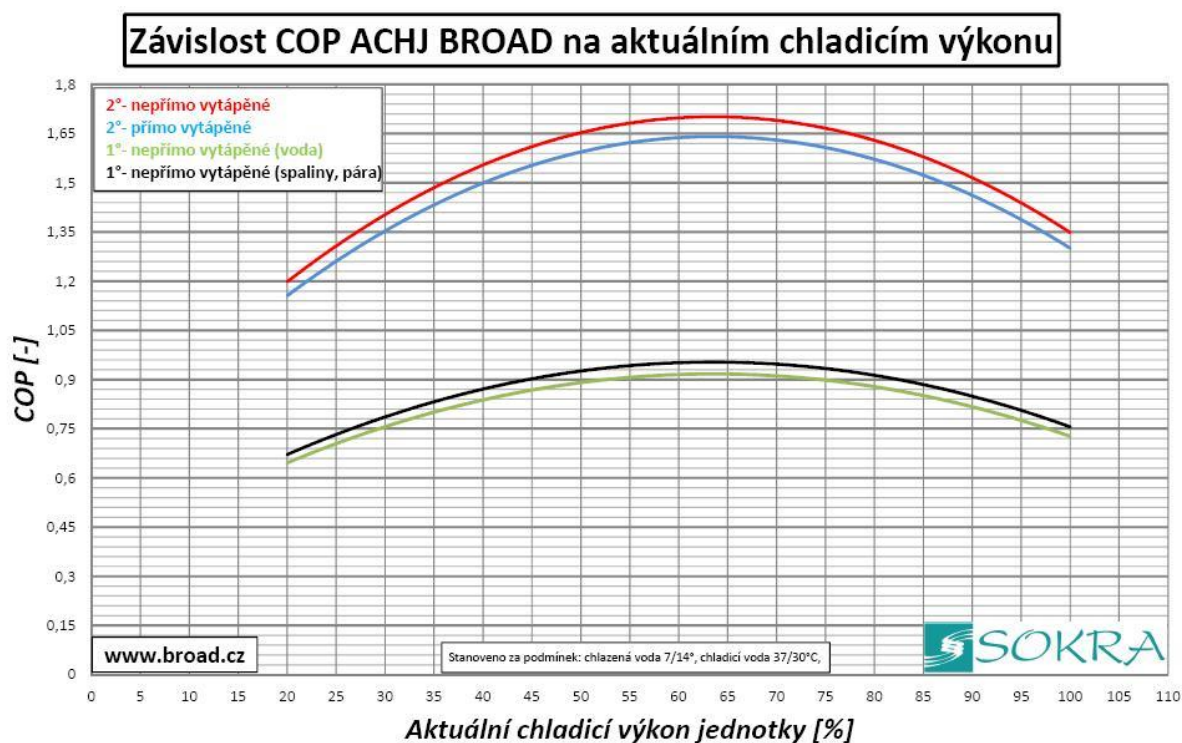
Tab. 6-2: Hodnoty COP pro absorpční jednotku varianty D

Výsledná přibližná hodnota COP:

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

Jak je patrné z výpočtu, tak na celkovou účinnost absorpčního chlazení mají především vliv následující čtyři parametry:

1. Stupeň zatížení. Podle aktuálního chladicího výkonu jednotku se odvíjí i hodnota účinnosti. Již dříve počítaná, ale i výrobce udávaná hodnota odpovídá plnému 100 % zatížení. Nicméně, jak je možné si povšimnout na obr. 6-5, tak nejvyšší účinnosti při zachování ostatních parametrů lze dosáhnout při nižším zatížení.



Obr. 6-5: Ilustrace závislosti účinnosti na chladicím výkonu [4]

2. Teplota chladicí vody. Dle diagramu na obr. 6-4 je patrné, že s rostoucí teplotou chladicí vody klesá účinnost výroby chladu absorpční jednotkou. Je to obdobné jako vliv kondenzační teploty chladiva u kompresorové jednotky. Zejména si lze všimnout značného rozdílu účinnosti pro teplotu chladicí vody 30 °C a 32 °C, kdy v prvním případě je dílčí hodnota COP 0,76 a ve druhém 0,71
3. Teplota chlazené vody. Obdobně jako chladicí vody také produkovaná chlazená voda ovlivňuje celkovou účinnost. S vyšší teplotou vody je také efektivita chlazení vyšší. Srovnatelně tomu odpovídá výparná teplota chladiva u kompresorové jednotky. Výrazný rozdíl je mezi teplotou 5 °C a 6 °C, téměř odpovídá COP po řadě 0,69 a 0,74. Zvýšení této teploty při zachování vstupní teploty chlazené vody ovšem vede ke snížení výkonu chlazení. Pro zachování výkonu je třeba následně zvýšit průtok chlazené vody.
4. Teplota topné vody. Tato teplota je především závislá na možnostech dodavatele topné vody – z CZT, průmyslové výroby, kogenerační jednotky nebo solárních panelů. V praxi lze při konkrétním umístění tento parametr ovlivnit jen zřídka. Zcela zásadní je pak použití teplé vody o nižší teplotě, kdy klesá také celková účinnost.

## Účinnost zařízení

Při výpočtu účinnosti zařízení lze použít i specializovaný software poskytovaný přímo výrobcem. Ten je pak buď volně dostupný online na webových stránkách výrobce, nebo ho může mít k dispozici prodejce. Takto získané hodnoty účinnosti se pak blíží daleko více těm skutečným. V následující tabulce 6-3 je uvedeno porovnání účinností všech variant na základě technických listů a dvě vypočítané hodnoty z předchozí části.

Označení varianty	Zdroj chladu	Účinnost daná výrobcem EER/COP	Účinnost počítaná
A	Kompresorová jednotka LEW 636 DS	5,11	5,68
B	Kompresorová jednotka LSE 658 CS	2,78	-
C	Absorpční jednotka BDH52X-100	0,57	-
D	Absorpční jednotka BDH52X-50	0,755	0,766

Tab. 6-3: Účinnosti všech zařízení

Rozdíl v účinnosti danou výrobcem a počítanou hodnotou u varianty A je dán zjednodušeným výpočtem, který zcela nezahrnoval reálný oběh chladiva v cyklu. Také v případě absorpční varianty D byl výpočet přibližný.

### Varianta A / Varianta B

Tyto dvě kompresorové jednotky se liší ve způsobu chlazení kondenzátoru. V prvním případě to je voda, ve druhém vzduch. Odlišná je také navrhovaná teplota těchto médií. Z fyzikální podstaty je přenos tepla intenzivnější ve vodě, z čehož plyne lepší účinnost vodou chlazené jednotky.

### Varianta C / Varianta D

U absorpčních jednotek má na rozdílnost účinností vliv pouze teplota použité topné vody, neboť ostatní parametry jsou shodné.

## 7. Náklady na jednotlivé varianty

V následující kapitole budou zhodnoceny jednotlivé varianty z pohledu investičních a provozních nákladů. Společným rysem všech variant je počet provozních hodin za rok, který bude uvažován ve stejné výši pro všechny jednotky a rok provozu. Cena za elektrickou energii a dodané teplo, oboje včetně všech nezbytných poplatků, bude také brána jako v čase neměnná, ačkoli tomu tak ve skutečnosti není. To ale nijak zásadně nesnižuje vzájemné porovnání jednotlivých variant. Uvažované zatížení bude maximální možné, tedy ve výši výkonu 600 kW<sub>ch</sub>. U absorpčních jednotek je tento výkon maximální možný. Kompresorové jednotky mají ovšem maximální výkon o něco vyšší, a tak budou veškeré náklady u těchto variant přepočítány na porovnávací základnu 600 kW<sub>ch</sub>.

V investičních nákladech je kromě ceny (bez DPH) vlastního zařízení zahrnuta i cena (bez DPH) všech potřebných pomocných zařízení, což je u některých variant položka chladicích věží. Protože některé ceny jsou vedeny v měně EUR, bude v těchto případech přepočítána aktuálním kurzem stanoveným ČNB ke dni 23.5. K tomuto dni byl kurz ve výši 27,44 Kč/Eur. Během provozu se může vyskytnout i potřeba provedení servisních úkonů či dokonce výměna některých dílů za náhradní, avšak tato skutečnost nebude v kalkulaci reflektována. Pro modelovou situaci provozu zařízení, a tím i určení provozních nákladů, je potřeba znát roční hodinový provoz. Předpokladem pro modelový případ je podnik s odpovídající potřebou výroby chladu při plném výkonu po dobu 8 hodin za den po celý rok. Z výše uvedeného vyplývá roční provoz 2920 hodin.

Jako dodavatel elektrické energie byla vybrána společnost ČEZ, a.s. Na základě předpokládané roční spotřeby elektrické energie byla dle ceníku pro podnikatele dostupného na webových stránkách této firmy stanovena v tarifu C45d jednotková cena 2,67 Kč / kWh. Uvedená cena je bez DPH a zahrnuje veškeré nezbytné poplatky spojené s podporou výroby z OZE, včetně daně z elektřiny a poplatku za distribuci.

Sazba pro dodané teplo ve formě teplé vody byla stanovena dle platného ceníku Plzeňské teplárenské, a.s. Pro rok 2014 činí cena dle sazby 220 hodnoty 305,10 Kč / GJ.

Kurz měny	27,44 Kč / Eur	Dle kurzu ČNB ze dne 23.5.
Roční provoz	2920 hod.	Na základě denního provozu 8 hodin
Cena za kWh elektrické energie	2,67 Kč / kWh	Tarif C45d společnosti ČEZ, a.s.
Cena za GJ dodaného tepla	305,10 Kč / GJ	Dle ceníku Plzeňské teplárenské, a.s. pro rok 2014
Pozn.	Ceny jsou bez DPH	

Tab. 7-1: Údaje pro kalkulaci nákladů

### Varianta A

V tomto případě se jedná o kompresorovou jednotku s vodou chlazeným kondenzátorem. Jednotka je tak ještě doplněna chladicí věží. Cena této věže je zahrnuta v investičních nákladech. Propočet provozních nákladů pak vychází z elektrického příkonu kompresorové jednotky a chladicí věže násobený ročním provozem a jednotkovou cenou za elektrickou energii dle tab. 7.1. V tab. 7-2 je kromě nákladů také uvedena výše předpokládané životnosti.

Investiční náklady	Celkový elektrický příkon	Spotřeba elektrické energie	Provozní náklady	Životnost
[Kč]	[kW]	[kWh / rok]	[Kč / rok]	[roky]
2 163 123	138,4	404 128	1 079 022	12

Tab. 7-2: Provozní údaje při nominálním výkonu

Pro vzájemné porovnání jednotlivých variant bylo nutné dané náklady vztáhnout na jednotný výkon 600 kW<sub>ch</sub>. Tento přepočet zohledňuje tab. 7-3.



Uvažovaný výkon [kW]	Investiční náklady [Kč]	Provozní náklady [Kč / rok]
660,1	2 163 123	1 079 022
<b>600</b>	<b>1 966 178</b>	<b>980 780</b>

Tab. 7-3: Náklady vztažené na 600 kW<sub>ch</sub>

### Varianta B

V této druhé kompresorové variantě je navržena jednotka se vzduchem chlazeným kondenzátorem. Pro svůj provoz už tedy nepotřebuje další externí chladicí věž. Propočet provozních nákladů pak vychází z elektrického příkonu kompresorů a ventilátorů instalovaných na této jednotce násobený ročním provozem a jednotkovou cenou za elektrickou energii dle tab. 7-1. V tab. 7-4 je také kromě nákladů uvedena i výše předpokládané životnosti.

Investiční náklady	Celkový elektrický příkon	Spotřeba elektrické energie	Provozní náklady	Životnost
[Kč]	[kW]	[kWh / rok]	[Kč / rok]	[roky]
2 058 521	227,5	664 300	1 773 681	12

Tab. 7-4: Provozní údaje při nominálním výkonu

Pro vzájemné porovnání jednotlivých variant bylo nutné dané náklady vztáhnout na jednotný výkon 600 kW<sub>ch</sub>. Tento přepočítání zohledňuje tab. 7-5.

Uvažovaný výkon [kW]	Investiční náklady [Kč]	Provozní náklady [Kč / rok]
632,9	2 058 521	1 773 681
<b>600</b>	<b>1 951 513</b>	<b>1 681 480</b>

Tab. 7-5: Náklady vztažené na 600 kW<sub>ch</sub>

### Varianta C

U tohoto návrhu je daná absorpční jednotka poháněna teplou vodou o teplotě 80 °C. Zdrojem k pohonu je tak tepelná energie, avšak do provozních nákladů je také započítána spotřeba elektrické energie externí chladicí věží, ale i absorpční jednotkou. Investiční výdaje pak v sobě zahrnují náklady spojené s pořízením obou zařízení. Cena elektrické energie je stejná jako pro kompresorové varianty ve výši 2,67 Kč / kWh a pro spotřebu tepla byla vzata sazba 305,10 Kč / GJ, jak bylo uvedeno již dříve. Náklady jsou zobrazeny v tab. 7-6.

Investiční náklady	Celkový elektrický příkon	Potřebný příkon v teple	Provozní náklady	Životnost
[Kč]	[kW]	[kW]	[Kč / rok]	[roky]
<b>8 268 138</b>	27,7	1053	<b>3 593 154</b>	25

Tab. 7-6: Náklady na variantu C

## Varianta D

V této variantě je absorpční jednotka poháněna teplou vodou o teplotě 110 °C. Zdrojem k pohonu je tedy opět tepelná energie. Do provozních nákladů je kromě ceny tepelné energie také započítána spotřeba elektrické energie externí chladicí věže, ale i absorpční jednotky. Investiční výdaje pak v sobě zahrnují náklady spojené s pořízením obou zařízení. Ceny obou forem energií jsou stejné jako u varianty C, které vycházejí z tab. 7-1.

Investiční náklady	Celkový elektrický příkon	Potřebný příkon v teple	Provozní náklady	Životnost
[Kč]	[kW]	[kW]	[Kč / rok]	[roky]
<b>3 924 579</b>	21,6	795	<b>2 718 135</b>	25

Tab. 7-7: Náklady na variantu D

## Zhodnocení

Dosud byly kalkulovány pouze náklady zvlášť jako investiční a na druhé straně oddělené provozní náklady. V následujícím zhodnocení všech variant bude počítáno i s odlišnou životností zařízení. Poslední sloupec Roční náklady v tab. 7-8 pak reflektuje tuto skutečnost, kdy k provozním nákladům je ještě připočítána poměrná část z investičních nákladů podle délky životnosti.

	Investiční náklady	Provozní náklady	Životnost	Roční náklady
	[Kč]	[Kč / rok]	[roky]	[Kč / rok]
Varianta A	1 966 178	980 780	12	<b>1 144 628</b>
Varianta B	1 951 513	1 681 480	12	<b>1 844 106</b>
Varianta C	8 268 138	3 593 154	25	<b>3 923 880</b>
Varianta D	3 924 579	2 718 135	25	<b>2 875 118</b>

Tab. 7-8: Zhodnocení nákladů

Jak je patrné, tak za dané situace tj. za všech uvažovaných podmínek a parametrů provozu je finančně nejvýhodnější varianta A. Důvodem je vyšší účinnost než u varianty B a také příznivá cena za jednotku spotřebované elektrické energie. Varianta C je poměrně nákladná, což zapříčinila nižší teplota topné oproti variantě D. To vedlo k použití větší a tudíž dražší jednotky, ale také k nižšímu chladicímu faktoru ve vztahu k druhé absorpční jednotce, která je ve variantě D. Celkově vzato pak byla pro absorpční jednotky nepříznivá uvažovaná cena za dodané teplo, která vycházela z ceníku za dodávku z CZT.

## 8. Závěr

Cílem této práce mělo být porovnání účinnosti výroby chladu. Pouhým jednoduchým srovnáním chladicích faktorů lze dospět k závěru, že kompresorové jednotky mají v průměru asi 5x vyšší účinnost. To se však jedná pouze o účinnost na daném zařízení, do kterého vstupuje z větší části buď elektrická energie anebo energie tepelná. Tyto dvě formy energií jsou také produkovány s určitou ale hlavně vzájemně rozdílnou účinností. Podstatnější věcí je však cel-


kové ekonomické hodnocení, tedy finanční výhodnost provozování navrženého systému. Jak vyplynulo při uvažování cen energií, tak jako nevýhodnější vyšla kompresorová jednotka chlazená externí chladicí věží. Absorpční jednotky se v tomto porovnání jeví jako nevýhodné. Je však nutné zmínit, že v případě možnosti využití odpadního tepla a uvažování nulové ceny za dodané teplo by se celá situace změnila. Provozní náklady absorpční jednotky by pak byly tvořeny jen cenou za spotřebovanou elektrickou energii. V této práci byla ovšem uvažována dodávka tepla z CZT, to se tedy ukázalo ve srovnání s kompresorovými jednotkami jako nevýhodné. V případě jiného systému napojení s nižšími či dokonce nulovými náklady na dodané teplo by bylo možné provozovat absorpční jednotky za provozních nákladů kompresorových. V tomto smyslu je provedeno například napojení absorpčních chladicích jednotek na CZT v Plzni, kde dle dostupných informací [13] poskytuje Plzeňská teplárenská, a.s. pro aplikace chlazení s absorpční chladicí jednotkou v létě výrazně nižší cenu 102,5 Kč/GJ, což je 3x méně, než bylo uvažováno v této práci pro výpočet provozních nákladů, které jsou uvedeny v tab. 7-8. V tomto případě by pak již systém s absorpční chladicí jednotkou dosahoval návratnosti asi 11 let při předpokládané životnosti 25 let. Dalším levným zdrojem tepelné energie jsou po nutné počáteční investici solární kolektory. Podle informací získaných od dodavatele absorpčních jednotek [14] byl již takovýto systém o menším výkonu v rámci ČR instalován na několika místech. Avšak stále se jedná o ojedinělé případy. V řadě dalších běžně používaných zdrojů stojí teplá voda, která je produkována kogenerační jednotkou. Potom se tento kombinovaný systém výroby označuje pojmem trigenerace. V ČR se však používají i jiné způsoby napojení [14]. Správný výběr zdroje chladu z finančního pohledu bude vždy záviset na konkrétní aplikaci. Proto je nutné uvažovat více variant možného řešení pro pokrytí potřeb výroby chladu. Ekonomická výhodnost závisí především na ceně zdrojové energie, potřebě chladu, chladicím výkonu a době provozu.


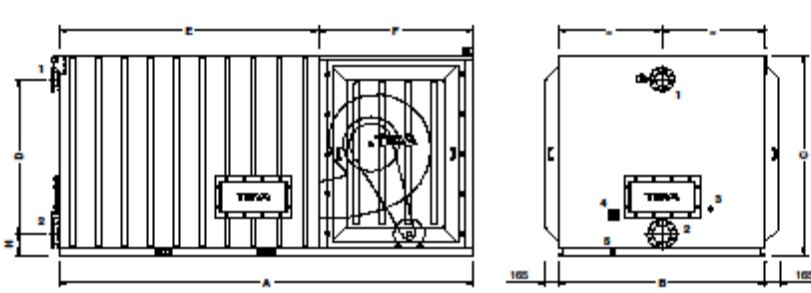
## Seznam literatury a použitých zdrojů

- [1] KARAFIÁT, J. *Centralizované zásobování chladem*. Pardubice: Teplárenské sdružení ČR, 2005.
- [2] SULTRADE. *Kompresorové chladicí jednotky se šroubovými kompresory Bitzer*.  
<http://en.sultrade.cz/industrial-cooling-and-air-conditioning/kompresorove-chladici-jednotky-se-sroubovymi-kompresory-bitzer/271-1026-s-oddelenym-kondenzatorem-split.htm>.
- [3] ŽITEK, P. *Přednášky Základy stavby energetických strojů*.
- [4] BROAD.  
<http://broad.cz>
- [5] MATUŠKA, T. *Využití sluneční energie pro chlazení a klimatizaci v budovách*. In *Stavebnictví a interiér*. 2007, s. 18-21.
- [6] THERMAX. *Katalogy výrobce*.  
<http://www.gbconsulting.cz/index.html>.
- [7] AERMEC. *Katalogy výrobce*.  
<http://www.completecz.cz>.
- [8] JDK, spol. s r.o. *Komponenty chladicího okruhu*.  
<http://www.jdk.cz/cs/produkty/komponenty-chladiciho-okruhu>.
- [9] JDK, spol. s r.o. *Expanzní ventily*.  
<http://www.jdk.cz/cs/produkty/expanzni-ventily>.
- [10] ŠKORPÍK, J. *Tepelné oběhy a jejich realizace*.  
<http://www.transformacni-technologie.cz/tepelne-obehy-a-jejich-realizace.html>.
- [11] KUČYHNKA, L. *AC Heating. Faktory ovlivňující účinnost tepelných čerpadel*.  
<http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9147-ac-heating-faktory-ovlivnujici-ucinnost-tepelnych-cerpadel>.
- [12] BROAD. *Firemní katalog*.  
<http://broad.com>.
- [13] BEGENI, M., ZMRHAL V. *Možnosti využití absorpčního chlazení pro klimatizaci budovy*. In *21. konference Klimatizace a větrání 2014*.
- [14] SOKRA.  
<http://www.broad.cz/broad2013/reference.php#5>

## **PŘÍLOHA č. 1**

### **Technický list chladiče kapalin chlazeného vodou LEW 636 DS a chladičí věže TVC 601**


Chladič kapalin voda / voda		
Technický list		
<b>Model</b>		<b>LEW 636 DS</b>
Chlazení @ 12/6°C; 35/40°C;		
Chladicí výkon	kW	666,1
Průtok vody přes výparník	l/h	94439
Tlaková ztráta výparníku	kPa	44
Průtok vody přes kondenzátor	l/h	135453
Tlaková ztráta kondenzátoru	kPa	79
Celkový příkon	kW	129,2
Celkový proudový odběr	A	207,2
EER		5,11
Max. proudový odběr bez příslušenství	A	424
Startovací proudový odběr	A	621
Hladina akustického výkonu Lw	dB(A)	85
Hladina akustického tlaku Lp v 10 m, Q=2	dB(A)	57
Počet kompresorů/okruhů		6/2
Napájení		400 / 3+N / 50
Chladivo		R410A
Rozměry [DxŠxV]	mm	3534 x 1199 x 1583
Hmotnost bez příslušenství	kg	2100

		<b>Technická data zařízení : TVC 601</b>						<b>Vs..5.00</b>		
<b>Požadované parametry:</b>			<b>Technická charakteristika zařízení:</b>							
Teplota mokrého teploměru: 21,0 °C Vstupní teplota vody : 32,0 °C Výstupní teplota vody: 27,0 °C Průtok vody : 36,31 l/s Odvedené teplo : 760,0 kW Počet věží: 1			Počet ventilátorů/dílů: 2 Počet a výkon motorů: 1 x 9,2 kW Průtok vzduchu: 18,5 m <sup>3</sup> /s Akustický tlak v 15 metrech: 50 dB(A)			Typ trysek: 20C Tlaková ztráta kapaliny: 22,4 kPa Odpařená voda + úlet: 0,31 l/s Transportní hmotnost: 1310 kg Provozní hmotnost: 3815 kg				
										
<b>Rozměry:</b>			A	B	C	D	E	F	G	H
			4200	2400	2380	1865	2400	1800	—	230
<b>Připojení:</b>			1. Vstup vody: DN 150 PN 10 2. Výstup vody: DN 150 PN 10		3. Doplnění vody: 1"závit 4. Přepad: 2 1/2 "závit		5. Vypouštění: 1"závit			
<b>Technická specifikace:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eaš s výměníkem a vana je vytvořena z vysoce kvalitního, sklem vyztuženého, polyesteru (GRP) v jednom kuse bez nutných šroubovaných spojů pro zamezení úniku kapaliny. Polyester je vyztužen tužidlem, které zabezpečuje maximální tvrdost obalu. Opláštění je vybaveno inspekčními dveřmi pro snadnou údržbu a servis.</li> <li>Vnější povrch je dokončen pružným nátěrem a vnitřní povrch tvrdým vodoodpudivým nátěrem.</li> <li>Výplo chladicí věže je vyrobena z laminárního vakuem formovaného PVC materiálu, který je kožený oazen a slepen dohromady. Zvolená dispozice zvišuje turbulenci vody i vzduchu, a tak zajistí vitiší vypaovavcí efekt. PVC materiál je samozhášecí, bez rizika koroze nebo biologické agrese.</li> <li>Výplo chladicí věže je vyztužena profily z nerezové oceli.</li> <li>Ventilátorová komora je vyrobena z GRP materiálu, celá obložena akusticky tlumícími panely snižující hladinu hluku. Radiální ventilátor je umístěn uvnitř ventilátorové komory. Spirálová komora ventilátoru je vyrobena z materiálu GPR, ocelové oběžné kolo. Použitá automatická mazání kulíkových ložisek prodlužuje jejich životnost a snižuje hladinu hluku.</li> <li>Pohon zajišřuje tořízavý elektromotor s krytím IP55 umístěným na posuvném rámu pro snadné napínání oemenu.</li> <li>Použitá lichoběžníkové oemeny jsou navřzeny na 160 % nominálního výkonu.</li> <li>Vstupní mořž zabraouje nasáti jakéhokoliv poedmitu. Je vytvořena z galvanicky pokovené ocelové síti.</li> <li>Distribuení potrubí cirkulaení vody je vyrobeno z pozinkované oceli a rozvádící potrubí je vyrobeno z PVC (popoipadí z PP pro vyšší teploty kapaliny).</li> <li>Rozstoikovavcí trysky jsou vyrobeny z pryže a jsou radiálního provedení s průměrem otvoru 15mm.</li> <li>Eliminátory kapek jsou vyrobeny z vakuoví tvarovaných PVC listů o speciálním profilu se etyromi zminami smíru proudů vzduchu. Úeinností eliminátoru je vyšší než 99,999 % zadržěných kapek cirkulaení vody.</li> </ul>										

## **PŘÍLOHA č. 2**

### **Technický list chladiče kapalin chlazeného vzduchem LSE 658 CS**

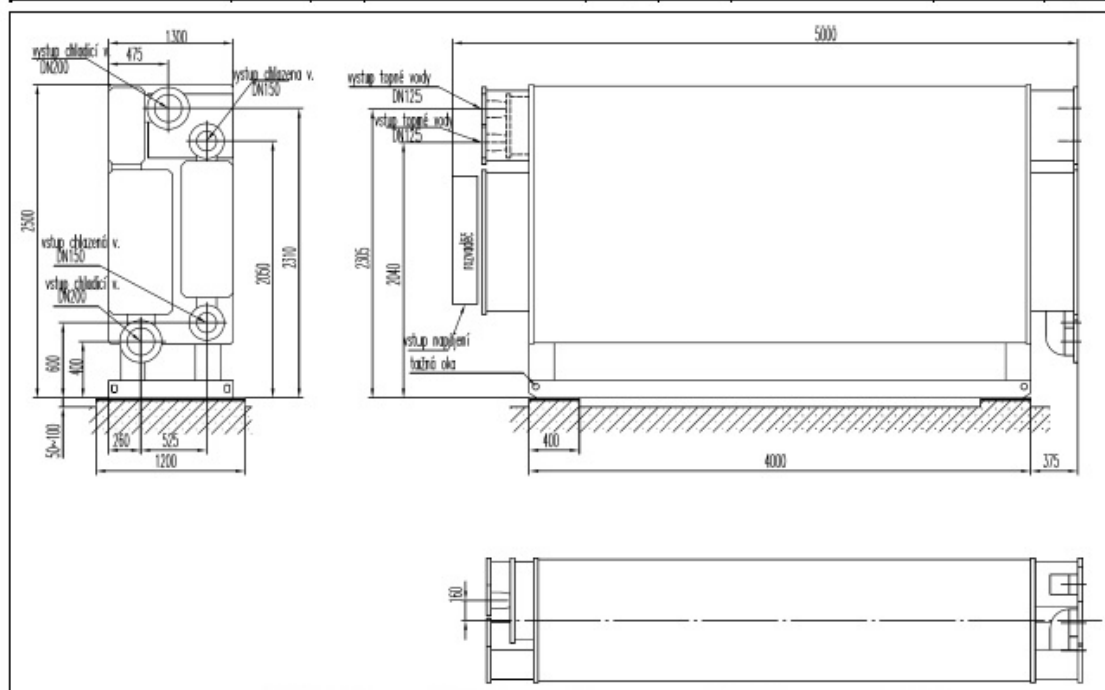


Chladič kapalin vzduch / voda		
Technický list		
<b>Model</b>		<b>LSE 658 CS</b>
Chlazení @ 12/6°C; 35°C;		
Chladicí výkon	kW	632,9
Průtok vody přes výparník	l/h	90548
Tlaková ztráta výparníku	kPa	34
Celkový příkon	kW	227,5
Celkový proudový odběr	A	379,8
Příkon kompresorů	kW	210
Proudový odběr kompresorů	A	336,8
EER		2,78
ESEER		4,09
Externí dopravní tlak čerpadla – LP (volitelné)	kPa	268
Externí dopravní tlak čerpadla – HP (volitelné)	kPa	266
Externí dopravní tlak čerpadla – LP AND LOGIC	kPa	185
Externí dopravní tlak čerpadla – LP AND LOGIC	kPa	305
Max. proudový odběr bez příslušenství	A	506
Startovací proudový odběr	A	648
Hladina akustického výkonu Lw	dB(A)	92
Hladina akustického tlaku Lp v 10 m, Q=2	dB(A)	64
Průtok vzduchu přes kondenzátor	m <sup>3</sup> /h	199974
Počet ventilátorů		10
Příkon ventilátorů	kW	17,5
Proudový odběr ventilátory	A	43
Počet kompresorů/okruhů		8/4
Zásobníková nádrž (volitelné)	l	1040
Napájení		400 / 3+N / 50
Chladivo		R410A
Rozměry [DxŠxV]	mm	5065 x 2250 x 2650
Hmotnost bez příslušenství	kg	4482

## **PŘÍLOHA č. 3**

### **Technický list absorpční jednotky BDH 52X-100 a chladicí věže TGA 610**

 <b>BROAD AIR CONDITIONING</b> <b>ABSORPČNÍ JEDNOTKY PRO CHLAZENÍ A VYTÁPĚNÍ</b>		<b>Technická data zařízení:</b> <b>BDH52X60/80-32/27-6/12-100</b> <b>Akce:</b> <b>Nabídka:</b>	
<b>Požadované parametry:</b>		<b>Technická specifikace</b>	
Typ zařízení:	Teplovodní	Průtok chladicí vody:	86 m <sup>3</sup> /h
Výkon chlazení:	600 kW	Tlaková ztráta:	60 kPa
Teplota chladicí voda:	6/12 °C	Účinnost chlazení COP:	0,57
Teplota topná voda:	32/27 °C	Průtok topná voda:	47,6 m <sup>3</sup> /h
Teplota topná voda:	60/80 °C	Spotřeba tepla:	1053 kW
Dostupné teplo:	--- kW	Tlaková ztráta:	80 kPa
Počet zařízení:	1	Maximální tlak:	0,8 MPa
		Průtok chladicí voda:	284,2 m <sup>3</sup> /h
		Tlaková ztráta:	85 kPa
		Odvedené teplo:	1 653 kW
		Příkon:	5,7 kW
		Napájení:	400/50/3 V/Hz/f
		Transportní hmotnost:	10500 kg
		Provozní hmotnost:	11500 kg





<b>Připojení:</b>	Chladicí voda:	DN200	Topná voda:	DN125	Kondenzát:
	Chlazená voda:	DN150			Parovodní stroje

**Základní technický popis zařízení:**

- \* Výměníky chladicí a chlazené vody jsou tvořeny tenkostěnnými měděnými trubkami se zaválcovaným koncem do čel trubkovic zaručující naprostou těsnost a pevnost po celou dobu životnosti stroje.
- \* Čerpadla roztoku jsou hermetická, vybavena grafitovými ložisky. Na sání čerpadel jsou instalovány sítka se samočisticím efektem. Výkon absorpčního a chladivového čerpadla je řízen frekvenčním měničem.
- \* Všechny teplé a studené povrchy jsou již ve výrobě opatřeny tepelnou izolací odpovídající charakteristiky.
- \* Zařízení je vybaveno PLC logikou OMRON, která zabezpečuje bezporuchový chod se vzdáleným dohledem.
- \* Jednotky BROAD jsou dodávány s regulačním ventilem na topné vodě zajišťující regulaci výkonu absorpčního stroje (na výkrese není znázorněn).


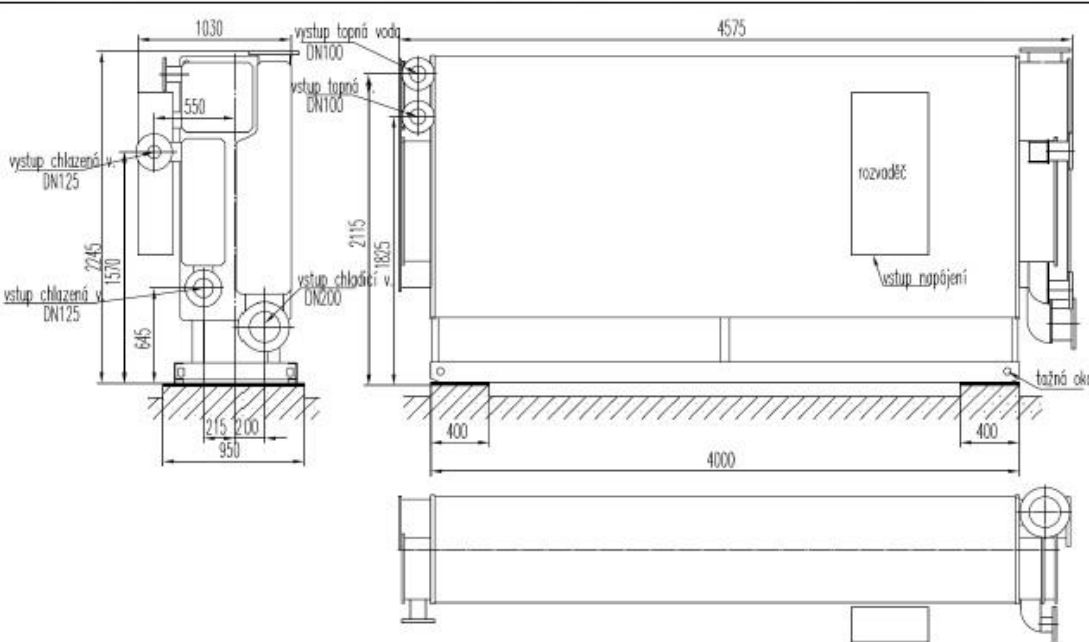
Dodavatel: <b>SOKRA, s.r.o.</b>			Razítko a podpis:	
Vypracoval:	Radek Begeni	Dne:	13.1.2014	


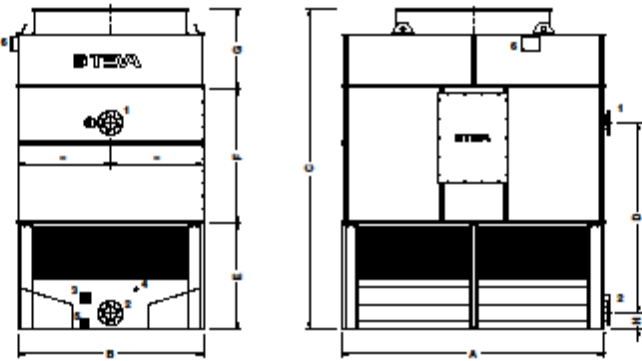
Poznámka: Všechny rozměry jsou uvedeny v mm, výše uvedená data jsou předběžná a budou v případě objednání upřesněna výrobcem zařízení

		<b>Technická data zařízení : TGA 610</b>		Vs.:5.00					
<b>Požadované parametry:</b>		<b>Technická charakteristika zařízení:</b>							
Teplota mokrého teploměru:	21,0 °C	Počet ventilátorů/dílů:	2	Typ trysek:	20C				
Vstupní teplota vody :	32,0 °C	Počet a příkon motorů:	2 x 11 kW	Tlaková ztráta kapaliny:	35,4 kPa				
Výstupní teplota vody:	27,0 °C	Průtok vzduchu:	36,4 m <sup>3</sup> /s	Odpařená voda + úlet:	0,68 l/s				
Průtok vody :	78,98 l/s	Akustický tlak v 15 metrech:	67 dB(A)	Transportní hmotnost:	2595 kg				
Odvedené teplo :	1653,0 kW			Provozní hmotnost:	5015 kg				
Počet věží:	1								
									
<b>Rozměry:</b>		A	B	C	D	E	F	G	H
		4880	2180	4040	2450	1480	1650	940	220
<b>Připojení:</b>		1. Vstup vody: DN150 PN 10 2. Výstup vody: DN200 PN 10		3. Doplnění vody: 3"z ávit 4. Přepad: 2"z ávit		5. Vypouštění: 2"z ávit 6. Elektrické připojení motorů			
<b>Technická specifikace:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Samostatný kryt je vytvořen z panelů ocelového plechu s tlustou vrstvou pozinkování. Panely jsou sešroubované, spoje panelů těsně proti úniku kapaliny. Panely jsou z vnější strany odmašťiny, opakování je naneseno několik ochranných fotosférických vrstev, dno je opatřeno epoxidovým lakem a vše je zakryto dvěma nátiy emailové barvy.</li> <li>Vodní nádrž je vyrobena z tenkých ocelových panelů z dostatečně silnou vrstvou galvanického pokovení sešroubovaných k sobě a utisňujících proti úniku kapaliny. Vany je vyspárována pro snadné vypouštění a čištění.</li> <li>Vstupní mořiz je tvořena tvarovanými vakuovými PVC listy hustě zasazenými do ocelového rámu, který umožní její vysazení a snadný přístup k nádrži. Tento typ síti zamezuje prostupu slunečního záření, a tím omezuje růst oas a jiných mikroorganismů.</li> <li>Výplo chladicí věže je vyrobena z laminárního vakuem formovaného PVC materiálu, který je kořžení oazen a spleen dohromady. Zvolená dispozice zviřuje turbulenci vody i vzduchu, a tak zajistí vtiřší vypaovací efekt. PVC materiál je samozhášecí, bez rizika koroze nebo biologické agrese.</li> <li>Ventilátorová komora je složena z pozinkovaných ocelových plechu. Axiální ventilátory s peeliví vyváženým oběžným kolem a nastavitelným sklonem lopatek pro vysokou aerodynamickou účinnost. Oběžné kolo je formováno ze speciálního polypropylenu zeeilněného skelným vláknem, odolné proti odiru. Hoidel je vyrobena z hliníkových slitin. Oběžné kolo je napoímno napojeno na hoidel elektromotoru, eimž je poedejito problémum s poenosem energie.</li> <li>Ochrana síř ventilator je vyrobena z galvanicky pokovené oceli.</li> <li>Tořízový elektrický motor Q (IC 418) se nerezovými šrouby a krytím IP55 (EN-60034-4). Napoímno spojen s vrtulí ventilátoru a vybaven vnitním vyhoidáváním, které zabrání kondenzaci. Motor je konstruován speciální pro použití v chladicích vřizích. Elektrická rozvodná skoito je na vnijřší strani chladicí vřize.</li> <li>Distribuení potrubí cirkulaení vody je vyrobena z pozinkované oceli a rozvádící potrubí je vyrobena z PVC (popoipadí z PP pro vyšřší teploty kapaliny). Rozstoikovací trysky jsou vyrobena z pryže a jsou radiálního provedení s průmírem otvoru 15mm.</li> <li>Eliminátory kapek jsou vyrobena z vakuoví tvarovaných PVC listu o speciálním profilu se etyomi zminami smíru proudy vzduchu. Účinností eliminátoru je vyšřší než 99,999 % zadržených kapek cirkulaení vody.</li> </ul>									

## **PŘÍLOHA č. 4**

### **Technický list absorpční jednotky BDH 52X-50 a chladičí věže TGA 530**

 <b>BROAD AIR CONDITIONING</b> <b>ABSORPČNÍ JEDNOTKY PRO CHLAZENÍ A VYTÁPĚNÍ</b>		<b>Technická data zařízení: BDH52X90/110-6/12</b> <b>-32/27-50</b>	
		<b>Akce:</b>	<b>Nabídka:</b>
<b>Požadované parametry:</b>		<b>Technická specifikace</b>	
Typ zařízení:	horkovodní	Průtok chlazena voda:	86,7 m <sup>3</sup> /h
Výkon chlazení:	600 kW	Tlaková ztráta:	75 kPa
Teplota chlazena voda	6/12 °C	Účinnost chlazení COP:	0,755
Teplota chladicí voda:	32/27 °C	Množství teplé vody:	34,4 m <sup>3</sup> /h
Teplota topné vody:	90/110 °C	Spotřeba tepla	795 kW
Dostupné teplo:	-- kW	Tlaková ztráta:	100 kPa
Počet zařízení:	1	Max. tlak ve výměnících:	0,8 MPa
		Průtok chladicí voda:	241,7 m <sup>3</sup> /h
		Tlaková ztráta:	150 kPa
		Odvedené teplo:	1395 kW
		Příkon:	3,1 kW
		Napájení:	400/50/3 V/Hz/f
		Transportní hmotnost:	6500 kg
		Provozní hmotnost:	7000 kg
			
<b>Připojení:</b>		Chladicí voda:	DN200
		Chlazena voda:	DN125
		Topná voda:	DN100
		Kondenzát:	---
<b>Základní technický popis zařízení:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Výměníky chladicí a chlazena vody jsou tvořeny tenkostěnnými měděnými trubkami se zaválcovaným koncem do čel trubkovnic zaručující naprostou těsnost a pevnost po celou dobu životnosti jednotky.</li> <li>* Čerpadla roztoku jsou hermetická, vybavena grafitovými ložisky. Na sání čerpadel jsou instalovány síta se samočisticím efektem. Výkon absorpčního a chladivového čerpadla je řízen frekvenčním měničem.</li> <li>* Všechny teplé a studené povrchy jsou již ve výrobě opatřeny tepelnou izolací odpovídající charakteristiky.</li> <li>* Zařízení je vybaveno PLC logikou OMRON, která zabezpečuje bezporuchový chod se vzdáleným dohledem.</li> <li>* V rozvaděči absorpční jednotky jsou umístěny stykače vnitřního okruhu absorpční jednotky, tak jako relátka pro beznapětové ovládání stykačů čerpadel příslušného hydraulického okruhu.</li> <li>* Jednotky BROAD jsou dodávány s regulačním ventilem s havarijní funkcí na přívodu teplé vody zajišťující regulaci výkonu absorpční jednotky (na výkrese není znázorněn).</li> </ul>			
<b>Limity provozu (dle uvedené specifikace):</b>			
Průtok chlazena voda:	61% - 142%	Nastavitelný výkon:	5% - 115%
Průtok chladicí voda:	18% - 100%	Koncentrace LiBr:	50%
Průtok topné voda:	42% - 220%	Min. tep. chladicí vody:	18 °C
		Max. teplota topné vody:	110 °C
		Teplota ve strojovně:	+5 až +43 °C
		Vlhkost vzduchu:	Max. 85%
Dodavatel: <b>SOKRA</b> , s.r.o.		Razítko a podpis:	
Vypracoval:	Radek Begeni	Dne:	9.1.2013
<small>Poznámka: Všechny rozměry jsou uvedeny v mm, výše uvedená data jsou předběžná a budou v případě objednání upřesněna výrobcem zařízení</small>			

		<b>Technická data zařízení : TGA 530</b>		<b>Vs.:5.00</b>					
<b>Požadované parametry:</b>		<b>Technická charakteristika zařízení:</b>							
Teplota mokrého teploměru:	21,0 °C	Počet ventilátorů/dílů:	1	Typ trysek:	20C				
Vstupní teplota vody :	32,0 °C	Počet a příkon motorů:	1 x 18,5 kW	Tlaková ztráta kapaliny:	28,9 kPa				
Výstupní teplota vody:	27,0 °C	Průtok vzduchu:	29,9 m <sup>3</sup> /s	Odpařená voda + úlet:	0,58 l/s				
Průtok vody :	66,65 l/s	Akustický tlak v 15 metrech:	66 dB(A)	Transportní hmotnost:	1935 kg				
Odvedené teplo :	1395,0 kW			Provozní hmotnost:	3395 kg				
Počet věží:	1								
									
<b>Rozměry:</b>		A	B	C	D	E	F	G	H
		3680	2480	3890	2310	1280	1700	940	185
<b>Připojení:</b>		1. Vstup vody: DN150 PN 10 2. Výstup vody: DN150 PN 10		3. Doplnění vody: 2 1/2" závit 4. Přepad: 2" závit		5. Vypouštění: 2" závit 6. Elektrické připojení motorů			
<b>Technická specifikace:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Samostatný kryt je vytvořen z panelů ocelového plechu s tlustou vrstvou pozinkování. Panely jsou sešroubované, spoje panelů těsně proti úniku kapaliny. Panely jsou z vnější strany odmašťiny, opakování je naneseno několik ochranných fotosférických vrstev, dno je opatřeno epoxidovým lakem a vše je zakryto dvěma nátiy emailové barvy.</li> <li>Vodní nádrž je vyrobena z tenkých ocelových panelů z dostatečně silnou vrstvou galvanického pokovení sešroubovaných k sobě a utišiných proti úniku kapaliny. Vany je vypárována pro snadné vypouštění a eištění.</li> <li>Vstupní mořiz je tvořena tvarovanými vakuovými PVC listy husti zasazenými do ocelového rámu, který umožní její vysazení a snadný poístup k nádrži. Tento typ síti zamezuje prostupu slunečního záření, a tím omezuje růst oas a jiných mikroorganismu.</li> <li>Výplo chladicí věže je vyrobena z laminárního vakuem formovaného PVC materiálu, který je kořzení oazen a spleen dohromady. Zvolená dispozice zvišuje turbulenci vody i vzduchu, a tak zajistí vtiší vypaovací efekt. PVC materiál je samozhášeci, bez rizika koroze nebo biologické agrese.</li> <li>Ventilátorová komora je složena z pozinkovaných ocelových plechu. Axiální ventilátory s peeliví vyváženým oběžným kolem a nastavitelným sklonem lopatek pro vysokou aerodynamickou úeininnost. Oběžné kolo je formováno ze speciálního polypropylenu zeeileneého skelným vláknem, odolné proti odiru. Hoidel je vyrobena z hliníkových slitin. Oběžné kolo je napoímno napojeno na hoidel elektromotoru, eimž je poedejito problémum s poenosem energie.</li> <li>Ochrana sí? ventilator je vyrobeny z galvanicky pokovené oceli.</li> <li>Tořízový elektrický motor Q (IC 418) se nerezovými šrouby a krytím IP55 (EN-60034-4). Napoímno spojen s vrtulí ventilátoru a vybaven vnitním vyhoiváním, které zabrání kondenzaci. Motor je konstruován speciální pro použití v chladicích vřizích. Elektrická rozvodná skoito je na vnější strani chladicí vřize.</li> <li>Distribuení potrubí cirkulaení vody je vyrobena z pozinkované oceli a rozvádící potrubí je vyrobena z PVC (popoipadí z PP pro vyšší teploty kapaliny). Rozstoikovací trysky jsou vyrobeny z pryže a jsou radiálního provedení s průměrem otvoru 15mm.</li> <li>Eliminátory kapek jsou vyrobeny z vakuoví tvarovaných PVC listu o speciálním profilu se etyomi zminami smiru proudy vzduchu. Úeinností eliminátoru je vyšší než 99,999 % zadrženeých kapek cirkulaení vody.</li> </ul>									

## **PŘÍLOHA č. 5**

**p – h diagram chladiva R410A**



