

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Zhodnocení provozu trigenerační jednotky

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

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

Jméno a příjmení: **Oldřich KUČERA**
Osobní číslo: **E09B0014P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Zhodnocení provozu trigenerační jednotky**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Popište princip trigenerace, zejména funkci absorpčního čerpadla.
2. Analyzujte možnosti nasazení trigeneračních jednotek.
3. Popište jednotku pracující v objektu FEL Plzeň.
4. Zhodnoťte dosavadní provoz jednotky z energetického hlediska.
5. Diskutujte přínos jednotky.

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


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Jindra**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**



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



Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na celkové zhodnocení provozu trigenerační jednotky. Obsahuje vysvětlení principu trigenerace, analýzu možností nasazení trigeneračních jednotek, popis konkrétní jednotky pracující v objektu FEL Plzeň a zhodnocení provozu této jednotky z energetického hlediska.

Klíčová slova

Trigenerační jednotka, princip trigenerace, absorpční čerpadlo, chlazení

Abstract

The present thesis is focused on the overall assessment of the trigeneration unit. Includes explanation of the principle of trigeneration, analysis, deployment options of trigeneration units, description of specific units working in the building of FEL Pilsen and valorization the operation of the unit from the energetical point of view.

Key words

Trigeneration unit, principle of trigeneration, absorption chiller, cooling

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem tuto práci na téma „Zhodnocení provozu trigenerační jednotky“ zpracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

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

V Plzni dne 5.6.2013

Oldřich Kučera

.....

Seznam symbolů a zkratek

COP	[-]	chladicí faktor
E_{EL}	[W]	elektrický výkon
M_w	[m ³ /h]	objemový průtok
n	[1/min]	počet otáček
P_{EL}	[W]	elektrický příkon
Q	[J]	tepelná energie
Q_{CH}	[W]	chladicí výkon
T_{max}	[s]	doba využití maxima
V	[m ³]	objem
ACHS		absorpční chladicí stanice
ČHMÚ		Český hydrometeorologický ústav
TUV		teplá užitková voda

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	7
OBSAH	8
ÚVOD	9
1 TRIGENERACE, ABSORPČNÍ ČERPADLO	10
1.1 PRINCIP TRIGENERACE	10
1.2 SORPČNÍ OBĚHY	11
1.3 JEDNOSTUPŇOVÝ ABSORPČNÍ OBĚH	12
2 MOŽNOSTI NAsAZENÍ TRIGENERAČNÍCH JEDNOTEK	13
2.1 CENTRALIZOVANÁ PRODUKCE CHLADU	13
2.2 DECENTRALIZOVANÁ PRODUKCE CHLADU	14
2.3 KONKRÉTNÍ MOŽNOSTI NAsAZENÍ	15
3 TRIGENERAČNÍ JEDNOTKA V OBJEKTU FEL PLZEŇ	16
3.1 ÚVOD	16
3.2 POPIS ZAŘÍZENÍ	17
3.2.1 Absorpční chladicí jednotka	17
3.2.2 Oběhová čerpadla	18
3.2.3 Chladicí věž	19
3.2.4 Doplnovací čerpadlo	20
3.2.5 Expanzní nádoba	21
3.2.6 Otevřená beztlaková nádoba	21
3.2.7 Úpravna vody	21
4 ZHODNOCENÍ DOSAVADNÍHO PROVOZU JEDNOTKY Z ENERGETICKÉHO HLEDISKA ..	22
4.1 VLASTNÍ ZHODNOCENÍ PROVOZU JEDNOTKY	22
4.2 ALTERNATIVA K ABSORPČNÍMU CHLAZENÍ	24
4.2.1 Princip kompresorového chlazení	24
4.2.2 Návrh kompresorového chlazení	25
ZÁVĚR	26
TRIGENERACE OBECNĚ	26
TRIGENERACE V OBJEKTU FEL PLZEŇ	27
POUŽITÁ LITERATURA	28
PŘÍLOHY	29

Úvod

Samotná existence trigeneračních systémů a obecně chladících zařízení je podmíněna potřebou produkce chladu, která v poslední době neustále vzrůstá společně s rostoucími požadavky na vnitřní klima budov. S potřebou chladu se setkáváme v řadě oborů, primárně je chladu potřeba při skladování potravin, dále při provozu vybraných technologií nebo zajištění tepelné pohody v administrativních a obchodních centrech. Právě vnitřní klima budov představuje odvětví, které prochází intenzivním rozvojem a značným nárůstem potřeby chlazení. Tento vývoj má několik důvodů. Prvním je stavba moderních budov s vysokými tepelnými zisky, které jsou ve velké míře způsobeny vysokým podílem prosklení na zdech budov. Toto je žádoucí v zimních měsících, kdy vyšší tepelné zisky pomáhají kompenzovat tepelné ztráty, ale v letních měsících dochází k ohřevům interiérů budov na teploty, které je již nutno nějakým způsobem regulovat.

Druhým důvodem je, stále se zvyšující počet vnitřních spotřebičů, např. ledniček, počítačů a dalšího kancelářského vybavení. Orientační hodnoty tepelného výkonu pro tyto spotřebiče se pohybují okolo 50 W u ledničky, 300 W u počítače a například u člověka se tato hodnota pohybuje od hodnoty 70 W během spánku až po hodnotu 700 W při intenzivní fyzické námaze.

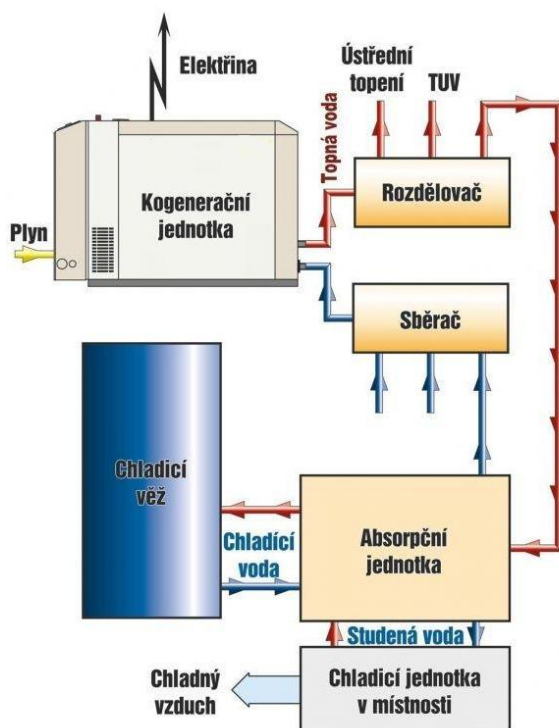
Dalším důvodem je, že ruku v ruce s celkovým pokrokem společnosti narůstají i nároky na komfort a pohodu vnitřního prostředí, což zajišťují klimatizační jednotky, které ke svému chodu potřebují dodávku chladu. Nové administrativní a obchodní budovy jsou dnes již výhradně projektovány s klimatizačním systémem a do starších budov jsou klimatizace postupně zaváděny také.

1 Trigenerace, absorpční čerpadlo

1.1 Princip trigenerace

Trigenerace je zvláštním případem kogenerace, což je kombinovaná výroba elektřiny a tepla, v případě trigenerace rozšířená o výrobu chladu, realizovanou absorpčním čerpadlem. Nevýhodou kogenerační technologie je, že vyrobené teplo zůstává mimo topnou sezonu ve velké míře nevyužito. Trigenerace tedy přináší možnost v létě využít teplo z kogenerační jednotky k výrobě chladu, což je velice výhodné, protože se tímto jednak prodlouží roční cyklus jednotky (ideálně nepřetržitý provoz), ale také se zlepšují ekonomické ukazatele provozu jednotky.

Není však nutné, aby všechny tři procesy probíhaly současně. Jako trigenerační označujeme tedy i zařízení umožňující variantní dodávku elektřiny a tepla nebo elektřiny a chladu. Spojení kogenerační jednotky s absorpčním čerpadlem je tedy nezávislé a fyzické propojení existuje pouze v místech tepelných výměníků.



Obr. 1 – Schéma zapojení absorpčního čerpadla a kogenerační jednotky [2]

1.2 Sorpční oběhy

Princip sorpčních oběhů popisuje Z. Dvořák: „*Základním principem sorpčních oběhů je nahrazení komprese tepelným pochodem, v němž se chladivo za nízkého tlaku pohlcuje vhodnou látkou (absorbentem), potom se roztok dopravuje do dalšího výměníku, pracujícího za vyššího tlaku, kde se přívodem tepla opět z roztoku varem uvolňuje (vypuzuje). Výsledkem je, zanedbáme-li drobné odchylky ve složení, opět pára o vyšším tlaku, odpovídající podmínkám kondenzace. Pochod v kondenzátoru a výparníku zůstává zpravidla, ne však nutně též jako u oběhu parního*“ (Z. Dvořák, Základy chladicí techniky, s. 80)

Do kategorie sorpčních oběhů spadá i absorpční oběh. Absorpční oběhy lze rozdělit podle počtu stupňů na jednostupňové a dvoustupňové. Jednostupňové jsou konstrukčně jednodušší, avšak i díky své nižší účinnosti zřídka využívané. Dvoustupňové zapojení je sice konstrukčně složitější, ale má lepší účinnost a v praxi se proto více využívá právě toto zapojení.

V absorpčním oběhu se pochodu absorpce a uvolňování (vypuzování) účastní chladivo a absorbent. Kondenzace a vypařování probíhají identicky jako u parního (kompresorového) oběhu.

Dvojice pracovních látek (chladivo a absorbent) se volí tak, aby:

- rozdíl jejich teplot varu byl co největší, aby se minimalizoval podíl vypařeného absorbentu
- byly neazeotropické (oddělitelné destilací) a neomezeně mísitelné s malým směšovací teplem v celém rozsahu teplot a tlaků

Mnoho dvojic bylo teoreticky i experimentálně ověřováno, ale jejich výhodnost pro praktické využití nebyla prokázána, v praxi se tak používají pouze dvě dvojice chladiva a absorbentu:

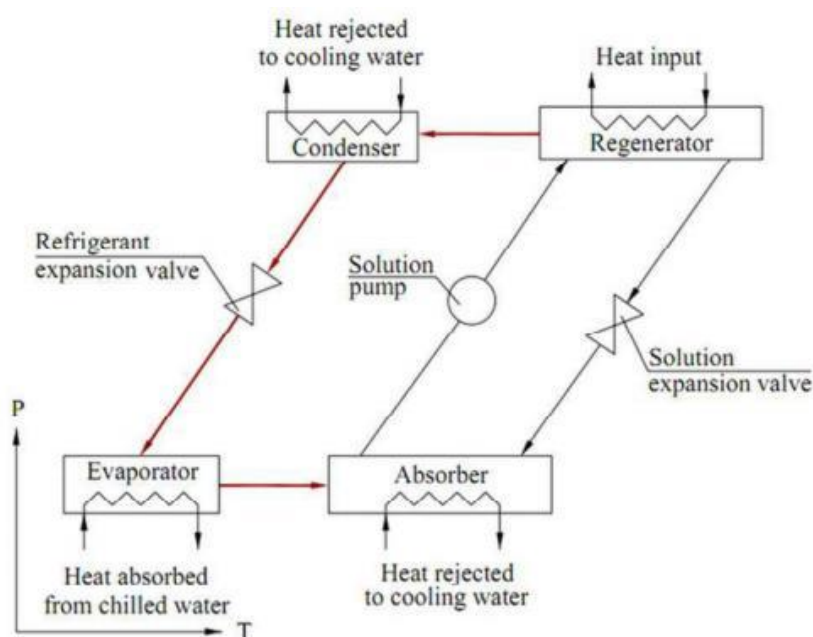
- čpavek jako chladivo a voda jako absorbent (NH_3 a H_2O)
- voda jako chladivo a bromid lithný jako absorbent (H_2O a LiBr)

1.3 Jednostupňový absorpční oběh

V oběhu absorpčního čerpadla kolují dvě látky – chladivo a absorpční látka. Ve výparníku se vypařuje roztok chladiva o vysoké koncentraci a páry dále putují do absorbéru, do kterého přichází roztok absorpční látky. Tento roztok však není zcela čistý, obsahuje malý podíl rozpouštěného chladiva, jedná se o tzv. chudý roztok. Absorpční látka pohlcuje páry chladiva a koncentrace roztoku roste na konečnou hodnotu a vytváří tzv. bohatý roztok. Teplo vznikající směřováním se odvádí chladicí vodou, aby roztok byl udržován ve stavu, kdy je schopen pohlcovat další páry.

Bohatý roztok se dále čerpadlem dopravuje do vypuzovače, kde za vysokého tlaku vře. Tímto se roztok rozdělí na dvě fáze, páry chladiva vypuzené z roztoku a chudý roztok absorbentu. Páry chladiva jsou vedeny do kondenzátoru, kde dochází ke zkapalnění, kapalně chladivo je následně vedeno do výparníku, kde opět dochází k vypaření. Chudý roztok absorbentu je veden zpět do absorbéru.

Takto realizovaný oběh by byl velice nevhodný, převážně díky tomu, že se ohřátý chudý roztok z vypuzovače musí nejprve ochladit, aby byl schopen pohlcovat páry, stejně tak jako musí být studený bohatý roztok ohřán do stavu varu. Pro zvýšení účinnosti se do oběhu zařazuje výměník tepla, který ochlazuje chudý roztok a předává teplo bohatému roztoku.



Obr. 2: Schéma jednostupňového absorpčního oběhu [9]

$$COP = \frac{Q_{CHL}}{E_{EL}} \quad [-]$$

Aby bylo možné hodnotit a porovnávat účinnost chlazení, byl zaveden chladicí faktor COP, který vychází z termodynamického popisu absorpčního cyklu. COP vyjadřuje poměr mezi chladícím výkonem a teplem dodaným do systému. V případě jednostupňového zapojení a teploty vstupní horké vody nad 90 °C je tato hodnota rovna 0,7. U dvoustupňového zapojení, kde se používají teploty nad 120 °C, se hodnota COP blíží 1,2.

[1] [9] [2]

2 Možnosti nasazení trigeneračních jednotek

Protože rozdíl mezi kogeneračním a trigeneračním systémem spočívá v tom, že je kogenerační jednotka rozšířena o výrobu chladu pomocí absorpčního čerpadla, možnosti nasazení trigenerace jsou velice podobné jako u kogeneračních jednotek.

Trigenerační jednotky mohou být využity jako centrální výroba elektřiny, tepla a chladu. V tomto případě jsou všechny tři druhy energie spotřebovávány v místě výroby. Další a mnohem rozšířenější variantou je centrální výroba energií a jejich následná distribuce mezi koncové uživatele. Distribuce chladu z trigeneračních jednotek může být realizována označována jako dálkové chlazení. Rozlišujeme dva typy dálkového chlazení, prvním typem je centralizovaná výroba a distribuce chladu. Druhým typem je lokální výroba chladu v absorpčních jednotkách, využívajících jako hnací sílu teplo z dálkového rozvodu.

2.1 Centralizovaná produkce chladu

V případě centralizované produkce chladu je přímo v místě energetické centrály umístěn zdroj chladu, který díky absenci dálkového přenosu tepla může pracovat s vyšší tepelnou energií, než je tomu u koncových větví dálkového rozvodu tepla. Vyšší teplota topného média umožňuje nasazení chladicí jednotky s vyšší účinností produkce chladu. Vychlazená voda je následně distribuována ke koncovým zákazníkům.

Nevýhodou tohoto způsobu distribuce je nutnost vybudovat dálkové rozvody chladné vody. Přenos chladné vody sice nevyžaduje velké nároky na tepelnou izolaci, protože teplotní diference mezi zemí a chladnou vodou je daleko menší, než je tomu u horkovodů, ale rozvod chladné vody o teplotách přibližně 6°C/12°C klade větší nároky na průřez potrubí. Dále je nutno zamezit nežádoucímu ohřátí chladné vody u koncového připojení k uživateli.

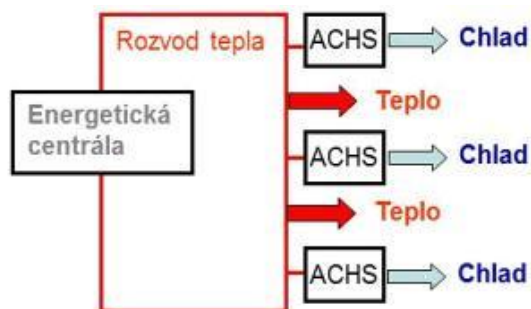


Obr. 3: Schéma dálkového chlazení s centralizovanou produkcí chladu [2]

2.2 Decentralizovaná produkce chladu

V případě decentralizované produkce chladu je využito lokálních absorpčních stanic s napojením na dálkový rozvod tepla z energetické centrály. Vzhledem k možnosti využití již existujících rozvodů dálkového zásobování teplem, vyžaduje toto řešení menší investiční náklady. Další výhodou decentralizované produkce chladu je i lepší zachování parametrů chladné vody předávané uživateli. Délka potrubí mezi absorpční jednotkou a koncovým bodem je oproti centralizované produkci minimální.

Nevýhodou naopak je, nutnost použití menších lokálních absorpčních jednotek, které pracují s nižší teplotou přívodní horké vody, a proto dosahují nižší účinnosti než velké centrální chladicí jednotky. Další nevýhodou tohoto řešení je nutnost udržovat i v letních měsících v celé rozvodné větvi dostatečně vysokou teplotu vody, nutnou pro zajištění chodu absorpčních chladících jednotek. Nízké množství předávané energie z rozvodů udržovaných při vysokých teplotách vytváří prostor pro tepelné ztráty, což může mít zásadní vliv na ekonomické ukazatele tohoto řešení.



Obr. 4: Schéma dálkového chlazení s decentralizovanou produkcí chladu [2]

2.3 Konkrétní možnosti nasazení

Souhrnně lze říci, že trigenerační systém může být realizován tam, kde bude zajištěn odběr pro všechny produkty trigenerace, tzn. chlad, teplo a elektřinu. Vzhledem k finančním, prostorovým a energetickým nárokům se jedná o systém nevhodný pro malé aplikace, např. rodinné domy nebo chlazení jednotlivých místností. Naopak je systém vhodný pro větší aplikace, kde je dostatečný potenciál pro větší odběr energií. Jako nejefektivnější využití principu trigenerace vidím decentralizovanou produkci chladu, tedy centrální výrobu tepla a jeho rozvod do lokálních absorpčních stanic. Tento způsob je využit i na jednotce ZČU.

Pro názornost uvádím rozsah chladicích výkonů dodávaných absorpčních chladicích jednotek od vybraných dodavatelů působících na českém trhu. Z tabulky je patrné, že nejvíce pokryté pásmo výkonů jsou stovky až tisíce kW chladicího výkonu. Firma BROAD, jako jedna z mála na trhu, nabízí i kompaktní absorpční jednotky s výkonem pod 100 kW, určené pro menší aplikace.

Tab. 1 Výběr dodavatelů absorpčních jednotek

Výrobce	Carrier	TEDOM	BROAD
Chladicí výkon [kW]	264 - 5300	173 - 1423	23 - 11630

Zdroj: [3] [10] [11]

Seznam možných nasazení trigeneračních jednotek:

- Hotely a penziony
- Nemocnice
- Aquaparky, bazény
- Průmyslové haly
- Obchodní centra, banky
- Školy

3 Trigenerační jednotka v objektu FEL Plzeň

3.1 Úvod

Stanice chladu slouží jako zdroj chladicího média pro klimatizační zařízení poslucháren a místností v 5. podlaží v objektech FEL Plzeň. Klimatizační zařízení je ovládáno samostatným řídicím systémem ZČU, odebírané množství chladu v jednotlivých větvích okruhu je řízeno regulačními ventily chladících výměníků v klimatizačních jednotkách.

Komunikace řídicího systému stanice chladu a řídicího systému univerzity je realizována pomocí logických signálů. Řídicím systémem ZČU je vygenerován binární signál, který řídicí systém stanice chladu vyhodnotí jako požadavek na spuštění stanice.

Odběratelem chladu a vlastníkem objektů je ZČU, dodavatelem tepla a vlastníkem technologického zařízení je Plzeňská teplárenská a.s.

Zdrojem chladu je absorpční chladicí jednotka od firmy Carrier, instalovaný chladicí výkon je 420 kW. Chladivem v absorpčním oběhu je demineralizovaná voda, jako absorbent je použit roztok bromidu lithného. Součástí chladicího zařízení je uzavřená chladicí věž se sprchováním chemicky upravenou pitnou vodou. Topným médiem je horká voda z horkovodní přípojky.

Provoz stanice probíhá automaticky s možností ručního řízení, provoz a stav technologie je monitorován na centrální dozorně Plzeňské Teplárenské.

3.2 Popis zařízení

3.2.1 Absorpční chladicí jednotka

Technické údaje	
Typ	Carrier 16 JB 021
Chladivo	roztok glykolu (nemrznoucí kapalina)
Absorbent	LiBr (bromid lithný)
Chlazené médium	demineralizovaná voda
Počet regulačních stupňů	plynulá regulace výkonu od 15 % do 100 %
Chladicí výkon	$Q_{CH} = 420 \text{ kW}$
P_{EL}	8 kW (3 x 380 V / 50 Hz)

Obíhající kapaliny			
	chladicí médium	chlazené médium	topné médium
obíhající množství	172 m ³ /h	62 m ³ /h	35,6 m ³ /h
vstupní teplota	28 °C	12 °C	100 °C
výstupní teplota	33,2 °C	6 °C	85,6 °C
tlaková ztráta	62,8 kPa	53 kPa	26,9 kPa

Jako zdroj chladu je instalována absorpční chladicí jednotka Carrier 16 JB 021 o chladicím výkonu 420 kW při pracovních teplotách chladicího média přibližně 12/6 °C (vstupní teplota média je 12°C, výstupní teplota 6°C). Chladicí jednotka umožňuje plynulou regulaci výkonu v rozmezí od 15 do 100%. Chlazeným médiem je chemicky upravená demineralizovaná voda, chladicí kapalinou v uzavřeném chladicím okruhu kondenzátoru a absorbéru je nemrznoucí roztok glykolu.

Jako topné médium je použita horká voda o vstupní teplotě 100 °C a výstupní teplotě 85,6 °C, obíhající v množství 35,6 m³/h. Topná voda je k jednotce přiváděna potrubním rozvodem z horkovodní přípojky pro ZČU. Přívodní potrubí je vybaveno regulačním ventilem tlaku topné vody, uzavíracími armaturami, zkratem a vypouštěním. Pro měření spotřeby pro vnitřní potřeby dodavatele chladu je potrubí vybaveno samostatným měřením spotřeby tepla.

Chladicí výkon jednotky je ovládán regulačním ventilem na vstupu topné vody do generátoru, ovládaným řídicím systémem jednotky, jehož nastavení je závislé na vypařovací teplotě v zařízení.

Zdrojem elektrické energie pro celý systém je přípojka 0,4 kV, je vedena kabelovým vedením z transformační stanice ZČE č. 01001556 a ukončena elektroměřovým rozvaděčem na objektu strojovny chlazení. Odtud jsou přes silový rozvaděč napájeny spotřebiče v objektu strojovny chladu.

Pro měření a fakturaci dodávaného chladu je ve strojovně umístěné úředně ověřené měřidlo.



Obr.4 Absorpční chladicí jednotka Carrier 16 JB 021

3.2.2 Oběhová čerpadla

3.2.2.1 Oběhové čerpadlo chlazené kapaliny

Typ: KSB Trialine Z 65-160 GN11

M_w = 62,3 m³/h

n = 2900 1/min

P_{EL} = 5,5 kW (3 x 380 V/50 Hz)

Součástí chladicí jednotky je zdvojené oběhové čerpadlo chlazeného média. Jedno čerpadlo slouží jako provozní a druhé jako 100% rezerva s automatickým spuštěním.

Oběhové čerpadlo chlazeného média udržuje konstantní hodnotu průtoku $62 \text{ m}^3/\text{h}$ ze sběrače $12 \text{ }^\circ\text{C}$ do rozdělovače $6 \text{ }^\circ\text{C}$ a dále do konkrétních klimatizačních jednotek v objektech ZČU a nazpět.

3.2.2.2 Oběhové čerpadlo chladicí kapaliny

Typ:	KSB Etaline Z 150-250/1504.1
M_w	= $172 \text{ m}^3/\text{h}$
N	= 1450 1/min
P_{EL}	= 15 kW (3 x 380 V/50 Hz)

Další zdvojené oběhové čerpadlo dopravuje chladicí kapalinu přes absorbér a kondenzátor do uzavřené chladicí věže a zpět průtokem $172 \text{ m}^3/\text{h}$. Toto čerpadlo typu KSB Etaline Z 150-250/1504.1 pracuje při otáčkách 1450 ot/min a jeho výkon činí 15 kW . Stejně jako čerpadlo chlazené kapaliny má k dispozici 100% rezervu a spouštěno je automaticky.

3.2.3 Chladicí věž

Typ:	Baltimore Aircoil VXI 145-2
Q_{CH}	= $989,1 \text{ kW}$
P_{EL} ventilátoru	= $45/11 \text{ kW}$ (3 x 380 V/50 Hz)
P_{EL} sprchového čerpadla	= 4 kW (3 x 380 V/50 Hz)
P_{EL} topných těles ve vaně	= $2 \times 4 \text{ kW}$ (3 x 380 V/50 Hz)

Uvnitř chladicí věže se nachází otevřený okruh věžové vody, který sprchováním ochlazuje chladicí médium v uzavřeném chladicím okruhu. Z vany pod chladicí věží je voda čerpána do potrubí v horní části věže, odkud jsou sprchovány trubky chladiče, ve kterých je chladicí médium ochlazen z teploty 33°C na teplotu $28 \text{ }^\circ\text{C}$. Pro udržení nízké koncentrace minerálů jsou zde žádoucí ztráty odluhem. Další ztráty jsou odparem a tyto ztráty jsou kompenzovány plovákovým ventilem ve vaně nádrže.

Sprchové čerpadlo je spínáno automaticky spolu se startem celé chladicí jednotky. Jako ochrana před chodem naprázdno je instalován snímač minimální hladiny vody ve vaně.

Pro větší účinnost chlazení je věž zespondu profukována ventilátory, pro jejich pohon jsou instalovány dva motory. Hlavní motor o výkonu 45 kW je vybaven plynulým regulátorem otáček pomocí frekvenčního měniče, druhý motor umístěný na druhém konci hřídele, má výkon 11 kW slouží jako záložní v případě poruchy hlavního motoru. V tomto režimu je provoz věže omezen na cca 60 %.

Uzavřený věžový chlazený okruh naplněný nemrznoucí směsí glykol je vybaven automatickým doplňováním solenoidovým ventilem, reagujícím na pokles tlaku v okruhu. Ztráty v okruhu jsou minimální a mohou být v podstatě způsobeny jen netěsností (poruchou).

3.2.4 Doplnovací čerpadlo

Typ:	KSB Multichrom C33
M_w	= 2 m ³ /h
n	= 2900 1/min
P_{EL}	= 0,7 kW (3x380 V/50 Hz)

Samonasávací odstředivé čerpadlo slouží k doplnění kapaliny do uzavřených okruhů. Čerpadlo je ovládáno z řídicího systému, požadavek na spuštění a doplnění kapaliny do příslušného chladicího okruhu generuje systém expanzní nádoby. Ochrana čerpadla proti chodu naprázdno je realizována pomocí snímače minimální hladiny v zásobní nádrži.

Zdroj pro doplňovací vodu je přípojka pitné vody v objektu VS ZČU, vybavená cejchovaným vodoměrem pro měření a vyúčtování služeb.

3.2.5 Expanzní nádoba

Typ: Pneumatex PAC 200
 $P_{EL} = 0,37 \text{ kW} \quad (230 \text{ V}/50 \text{ Hz})$

Expanzní nádoba slouží k zachycení změny objemu tlaku v soustavě, čímž zabraňuje přetlaku v soustavě. Pro každý uzavřený okruh je k dispozici jedna expanzní nádoba. Nádoba je plynotěsně svařovaná z oceli, uvnitř nádoby je plynotěsný butylový vak sloužící k zachycení a vyrovnání změn objemu. Tlak vzduchu v nádobě okolo vaku je udržován na požadované hodnotě pomocí regulátoru, který ovládá kompresor (pro zvětšení tlaku) a odvzdušňovací ventil (pro zmenšení tlaku). Doplnění kapalin zpět do příslušného okruhu přes solenoidový ventil zajišťuje doplňovací čerpadlo.

3.2.6 Otevřená beztlaká nádoba

Typ: N_{xk} – 221
 $V = 1500 \text{ dm}^3$

Otevřená nádoba slouží jako expanzní, vypouštěcí a zásobní nádoba pro okruhy s nemrznoucí kapalinou. Oba okruhy s nemrznoucí kapalinou jsou chráněny pojišťovacími ventily s vyústěním do otevřené nádoby.

3.2.7 Úpravna vody

Typ: Betz Deaborn
 $M_w = 4 \text{ m}^3/\text{h}$

Zařízení je instalováno k přesnému dávkování chemických přípravků do sprchové vody, pro potlačení biologické aktivity a omezení tvorby usazenin. Spolu s automatickým odluhováním zajišťuje požadovanou kvalitu vody.

Sledování kvality sprchové vody zajišťuje vlastní řídicí jednotka s kontinuálním měřením vodivosti vodivostní sondou v rozsahu 0 – 20 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a automatickou tepelnou kompenzací od 0 do 80°C. Dávkování chemických přípravků funguje plně automaticky a je závislé na chodu jednotky a na chodu sprchového čerpadla.

4 Zhodnocení dosavadního provozu jednotky z energetického hlediska

4.1 Vlastní zhodnocení provozu jednotky

Při zhodnocení provozu jednotky v objektu FEL Plzeň mohou vycházet pouze z hodnot dodané tepelné energie, které jsou k dispozici na dispečinku jednotky.

Tab. 2 Množství odebírané energie v jednotlivých rocích provozu jednotky

Rok 2010			Rok 2011			Rok 2012		
měsíc	Q [GJ]	Cena	měsíc	Q [GJ]	Cena	měsíc	Q [GJ]	Cena
leden	0	0	leden	0	0	leden	0	0
únor	0	0	únor	0	0	únor	0	0
březen	0	0	březen	0	0	březen	0	0
1. kvartál	0	0	1. kvartál	0	0	1. kvartál	0	0
duben	14	3 485,-	duben	0	0	duben	0	0
květen	31	7 716,-	květen	75	19 133,-	květen	141	37 407,-
červen	47	11 698,-	červen	60	15 306,-	červen	86	22 816,-
2. kvartál	92	22 899,-	2. kvartál	135	34 439,-	2. kvartál	227	60 223,-
červenec	87	21 654,-	červenec	65	16 582,-	červenec	124	32 897,-
srpen	22	5 476,-	srpen	59	15 051,-	srpen	82	21 755,-
září	13	3 236,-	září	48	12 245,-	září	36	9 551,-
3. kvartál	122	30 366,-	3. kvartál	172	43 878,-	3. kvartál	242	64 203,-
říjen	0	0	říjen	11	2 806,-	říjen	0	0
listopad	0	0	listopad	0	0	listopad	2	451,-
prosinec	0	0	prosinec	0	0	prosinec	0	0
4. kvartál	0	451,-	4. kvartál	11	2 806,-	4. kvartál	2	451,-
celkem/rok	214	53 265,-	celkem/rok	318	81 123,-	celkem/rok	471	124 877,-

Zdroj: data na dispečinku jednotky

Protože nejsou k dispozici údaje o vstupních a výstupních teplotách vody, teplotě vzduchu nebo procentuální využití chladicího výkonu, celý systém zidealizujeme a budeme uvažovat vždy maximální využití chladicího výkonu. Z hodnot dodané energie a známého jmenovitého výkonu chladicí jednotky lze vyjádřit dobu, po kterou musí jednotka pracovat, aby dodala ve sledovaném období stejné množství energie jako jednotka pracující s časově proměnným zatížením. Tuto dobu označíme jako dobu využití maxima T_{max} .

$$T_{max} = \frac{Q}{Q_{CH}}$$

S pomocí tohoto vztahu určíme dobu využití maxima v jednotlivých měsících, kvartálech a rocích:

Tab. 3 Doba využití maxima v jednotlivých rocích provozu jednotky

Rok 2010		Rok 2011		Rok 2012	
měsíc	T_{\max} [h]	měsíc	T_{\max} [h]	měsíc	T_{\max} [h]
leden	0	leden	0	leden	0
únor	0	únor	0	únor	0
březen	0	březen	0	březen	0
1. kvartál	0	1. kvartál	0	1. kvartál	0
duben	9.26	duben	0	duben	0
květen	20.50	květen	49.6	květen	93.25
červen	31.08	červen	39.68	červen	56.88
2. kvartál	60.84	2. kvartál	89.28	2. kvartál	150.13
červenec	57.54	červenec	42.99	červenec	82.01
srpen	14.55	srpen	39.02	srpen	54.23
září	8.60	září	31.75	září	23.81
3. kvartál	80.69	3. kvartál	113.76	3. kvartál	160.05
říjen	0	říjen	7.28	říjen	0
listopad	0	listopad	0	listopad	1.32
prosinec	0	prosinec	0	prosinec	0
4. kvartál	0	4. kvartál	7.28	4. kvartál	1.32
celkem/rok	141.53	celkem/rok	210.32	celkem/rok	311.51

Dobu využití maxima můžeme porovnat s údaji o teplotách v jednotlivých měsících, získaných z ČHMÚ, pro každý měsíc je k dispozici údaj o dlouhodobém normálu teploty, o teplotě v daném roce a odchylce mezi těmito hodnotami. Z těchto údajů můžeme odhadnout do jaké míry je provoz klimatizace závislý na venkovní teplotě.

Z grafů v příloze A, B a C je na první pohled patrné, že v 1. a 4. kvartálu není chlazení využíváno vůbec, nebo jen minimálně. Průměrná teplota se v zimním období pohybuje v hodnotách do 5 °C, jedinou výjimku v těchto dvou kvartálech tvoří měsíc říjen, jehož dlouhodobý normál teploty je 7,5 °C.

V roce 2010 hodnota T_{\max} přibližně odpovídá průběhu teploty vnějšího vzduchu, v dubnu je chlazení poprvé spuštěno a hodnota T_{\max} v dalších měsících exponenciálně stoupá až do července. Od července následuje naopak strmý exponenciální pokles. V srpnu byla měsíční průměrná hodnota téměř identická jako v červnu, ale patrně z důvodu nižšího vytížení místností v budově FEL je hodnota T_{\max} nižší, než v červnu. V září již je chlazení využíváno jen minimálně a v říjnu, bylo chlazení odstaveno.

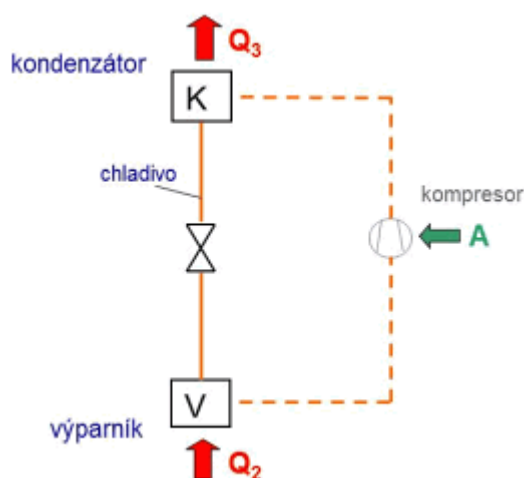
V roce 2011 je využití klimatizace v zimních měsících opět minimální, jednotka je poprvé spuštěna v květnu a vlivem vyšších říjnových teplot, je provoz je ukončen až v listopadu. V teplotně nadprůměrném květnu je nejvyšší hodnota T_{\max} , pravděpodobně z důvodu vysoké obsazenosti místností v období zápočtů a zkoušek. Následně v červnu je využití klimatizace nižší, ačkoliv průměrná teplota okolního vzduchu je výrazně vyšší než v květnu. Toto může být způsobeno například vyšší oblačností, což snižuje tepelné zisky ze slunečního záření. Dalším důvodem může být skutečnost, že místnosti již nejsou využívány k pravidelné výuce. Od července do října pak hodnota T_{\max} lineárně klesá a v listopadu již jednotka není v provozu.

Rok 2012 je ve všech letních měsících teplotně nadprůměrný. Teplota v dubnu sice překročila teplotní normál pro daný měsíc, ale požadavek na chlazení přišel až v květnu, kdy je hodnota T_{\max} nejvyšší z celého roku. Po ukončení výuky přichází v červnu pokles a v červenci opět mírný vzestup. Od července pak následuje lineární pokles a v říjnu již jednotka není v provozu.

4.2 Alternativa k absorpčnímu chlazení

4.2.1 Princip kompresorového chlazení

Jako možnou alternativu k absorpčnímu chlazení jsem vybral kompresorové tepelné čerpadlo. Kompresorové chlazení pracuje na stejném principu jako absorpční chlazení, tedy na principu přenosu tepelné energie z nižší teplotní hladiny na teplotní hladinu vyšší. U tepelného čerpadla je však použit kompresor, sloužící ke stlačování par chladiva.



Obr.4 Schéma kompresorového chladičího oběhu [2]

Kompresorové chlazení může být využito v aplikacích s omezeným prostorem, obecně má kompresorová jednotka menší rozměry než absorpční chladič. S tím jsou spojené i nižší počáteční náklady. Nevýhodou naopak je nižší spolehlivost a životnost, protože na rozdíl od absorpčního chlazení jsou v kompresoru pohyblivé části, které postupem času podléhají opotřebení. Problémem je i čistě elektrický provoz zařízení, spotřeba el. energie kompresorové jednotky je mnohem větší, než u srovnatelné absorpční jednotky. Díky tomu i provoz jednotky je finančně náročnější. S čistě elektrickým provozem souvisí i další nevýhoda kompresorového chlazení. V letních měsících přichází hromadné spouštění klimatizačních jednotek, čímž dochází ke vzniku špiček v odběru elektrické energie a může dojít k velkému zatížení el. sítě.

4.2.2 Návrh kompresorového chlazení

Vzhledem k poměrně nízkému využití plného výkonu současného systému chlazení jsem se rozhodl pro jednotku s nižším výkonem. Přesný výpočet potřebného chladicího výkonu vychází z tepelných zisků a ztrát budovy, jedná se o poměrně složitý výpočet, který není předmětem této práce.

Již instalovaná absorpční jednotka je od firmy Carrier, pro tento návrh bude použita jednotka od stejného výrobce. Jedná se o model 30HXC-090 o chladicím výkonu 315 kW.



Obr.5 Kompresorové tepelné čerpadlo Carrier 30HXC [12]

Teplota výstupní chladicí vody z výparníku je 7 °C, což je o 1 °C více než v případě instalované absorpční jednotky. Tento fakt, spolu s nižším maximálním chladícím výkonem, bude mít pravděpodobně za následek nutnost spínat chlazení dříve a delší dobu provozu na plný výkon. Provozní náklady budou z důvodu vyšší ceny elektřiny pravděpodobně vyšší, než v případě absorpčního chlazení.

Dalším způsobem chlazení by mohlo být použití menších mobilních klimatizačních jednotek do každé místnosti. Toto řešení by zahrnovalo nejnižší počáteční náklady, ale zároveň by bylo nejméně efektivní. Umístění jednoho chladicího zařízení v rohu, nebo na zdi, poměrně velké místnosti by mohlo mít za následek vznik teplotní nepohody vlivem teplotní difference v různých částech místnosti.

Závěr

Trigenerace obecně

Obecně považuji absorpční jednotky za velice vhodné doplnění kogenerační technologie. Samotná kogenerační jednotka slouží mimo topnou sezónu pouze k ohřevu TUV, což je poměrně neefektivní. Absorpční chlazení řeší dva problémy najednou, prvním je zajištění chodu kogenerační jednotky i v letních měsících, a tím zvýšení efektivity provozu a zlepšení ekonomických ukazatelů. Druhým velkým kladem je nízký elektrický příkon, který se pohybuje v řádech jednotek procent v porovnání s elektrickým příkonem klasického tepelného čerpadla s kompresorem. To představuje nejen finanční úsporu z pohledu uživatele, ale především nižší špičkové zatížení elektrické sítě, které může představovat značné nebezpečí. Jako nejefektivnější využití principu trigenerace bych označil decentralizovanou produkci chladu, rozvody horké vody již bývají zbudovány, nebo pokud budou nově budovány, mají využití i v zimních měsících jako rozvod horké vody určené k vytápění. V tomto případě tedy zákazník investuje pouze do koncového chladicího zařízení. Samotné absorpční jednotky vykazují velmi vysokou spolehlivost díky minimu pohyblivých součástí, nevýhodou může být možnost přerušení dodávky horké vody, porucha v potrubí zastaví dodávku do celé větve. K těmto haváriím dochází téměř výhradně v zimních měsících, tudíž více ohrožené je zimní vytápění, než letní chlazení.

Trigenerace v objektu FEL Plzeň

Přínos této jednotky může být poněkud diskutabilní. Není sice pochyb o tom, že chlazení v objektu je potřeba, ale vzhledem k poměrně nízké době využití maxima T_{\max} , která se i v letních měsících pohybuje kolem hodnot 50 h/měsíc, vyvstává otázka, jestli je takto navržený systém tou nejlepší variantou. Jako alternativy k absorpčnímu chlazení se nabízejí klasické kompresorové jednotky, nebo menší mobilní jednotky do každé z uvažovaných místností. Jejich vysoký elektrický příkon a s tím spojené vyšší náklady na provoz však tyto jednotky znevýhodňují. Absorpční technologii, pokud je k dispozici vhodný zdroj energie, považují za výhodnější způsob výroby chladu. Zařízení v objektu FEL Plzeň je připojeno na již existující horkovodní přípojku, z tohoto pohledu se tedy volba absorpční technologie zdá logická. Dalším bodem je volba absorpční jednotky, na trhu v dnešní době působí celá řada firem, nabízejících širokou škálu produktů v rozsahu výkonů od desítek po desítky tisíc kW. Volba padla na výrobek od renomované firmy Carrier, která patří mezi největší výrobce chladících zařízení na světě. Chladící výkon jednotky v objektu FEL Plzeň je 420 kW. Slovy technika, obsluhujícího chladící zařízení na ZČU, však jednotka pracuje na plný výkon průměrně přibližně 10 dní v roce, což potvrzují poměrně nízké měsíční hodnoty T_{\max} . Proto zastávám názor, že k uchlazení místností v současném rozsahu by stačila jednotka o nižším výkonu. Ze stejné řady jednotek např. 16 JB 018 o výkonu 370 kW, nebo 16 JB 014 o výkonu 270 kW. Obě tyto jednotky mají dostatečný výkon k ochlazení objektů poslucháren a místností v 5. podlaží na požadovanou teplotu a jejich pořizovací náklady jsou nižší než u 420kW jednotky.

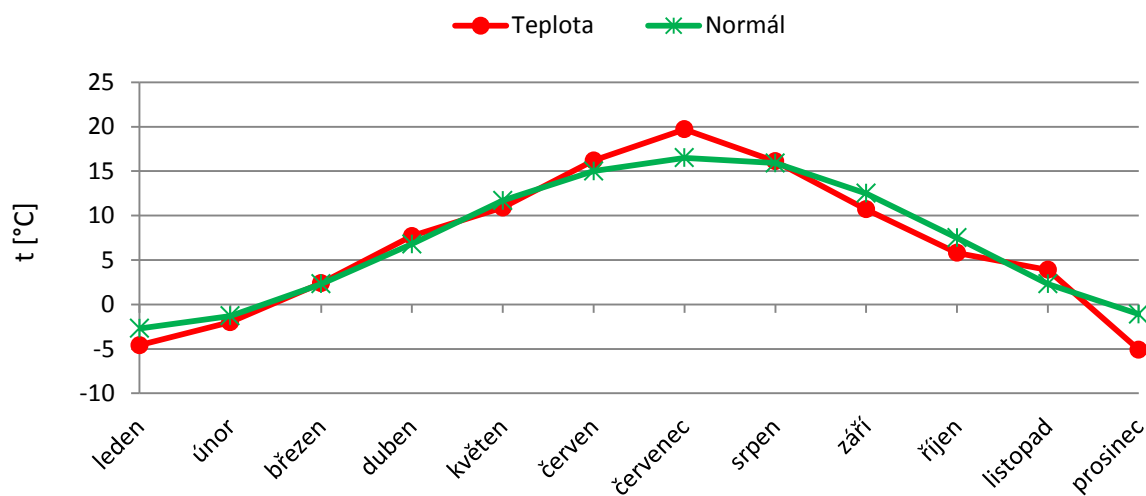
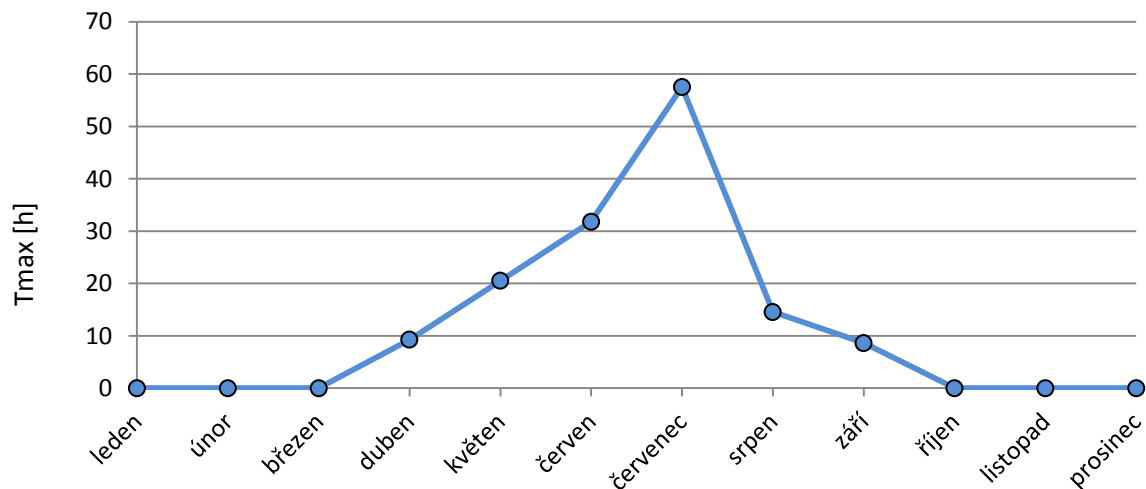
Teplotu uvnitř budov však lze ovlivnit i jinak než chlazením či vytápěním. Tím nejdůležitějším prvkem pro zajištění tepelné pohody uvnitř budov je vhodná tepelná izolace budov. Kvalitní izolace dokáže ve velké míře omezit tepelné zisky a ztráty budovy. Budova FEL je vybavena například venkovními okenními žaluziemi, které zachycují velké množství slunečního záření, které by jinak procházelo okny a zahřívalo vnitřní prostor. Toto může být jeden z důvodů poměrně nízké potřeby chlazení. Objekty poslucháren venkovními žaluziemi vybaveny nejsou, jejich instalace by z estetického hlediska nebyla ideálním řešením, ale z energetického hlediska by byly velkým přínosem. Otázkou tedy zůstává, jestli by se vyšší počáteční investice při stavbě budovy nevyplatila více, než následné investice do chlazení objektu. Z mého pohledu se jako ideální řešení jeví investice do kvalitní tepelné izolace objektu a s tím spojené co nejnižší požadavky na chlazení.

Použitá literatura

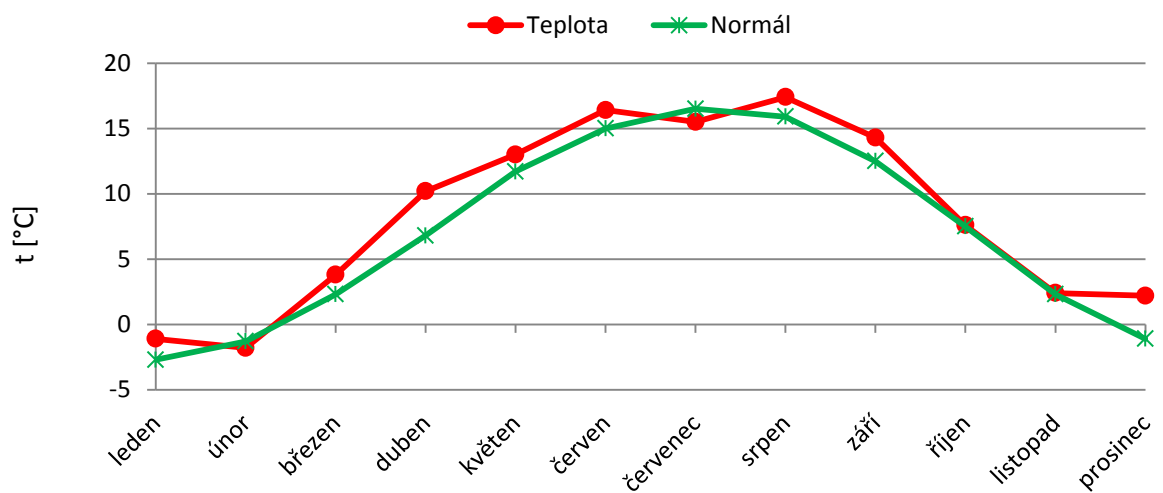
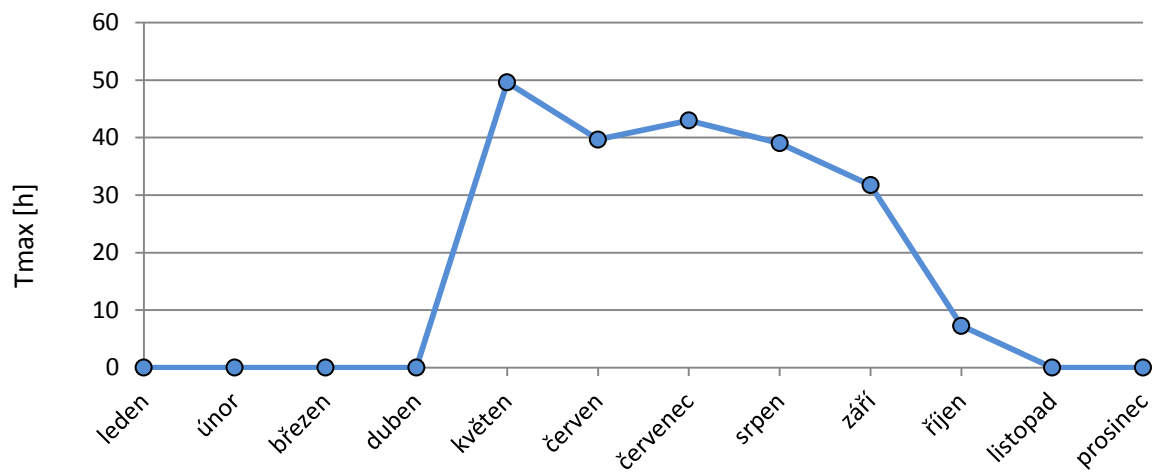
- [1] DVOŘÁK, Zdeněk. *Základy chladicí techniky*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986, 247 s.
- [2] POSPÍŠIL, Jiří. *Chladicí oběhy, trigenerace, dálkové chlazení*. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/7910-chladici-obehy-trigenerace-dalkove-chlazení>
- [3] *Trigenerace*. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/trigenerace.html>
- [4] *HLAVNÍ PŘEDNOSTI A VÝHODY ABSORPČNÍCH CHLADÍCÍCH SYSTÉMŮ*. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.gbconsulting.cz/chlazení-prednosti.html>
- [5] *PRACOVNÍ PRINCIP*. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.gbconsulting.cz/chlazení-prednosti.html>
- [6] *Absorpční tepelná čerpadla BROAD*. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.broad.cz/broad2013/box7.php>
- [7] ZÁHOŘÍK, Pavel. *Provozní předpis: Stanice chladu ZČU - Zelený trojúhelník*. Praha, 2004.
- [8] PEJCL, J. *Absorpční tepelná čerpadla pro malé aplikace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Mastný, Ph.D.
- [9] HADRABA, J. *Spalinový výměník trigenerační jednotky se spalovacím motorem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 93 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D..
- [10] CARRIER. *Water cooled chillers*. Dostupné z: http://www.broad.cz/broad2013/Data/Technicka_data_ACHJ_Broad.pdf
- [11] BROAD. *Absorpční jednotky: Technická data*. Dostupné z: http://www.broad.cz/broad2013/Data/Technicka_data_ACHJ_Broad.pdf
- [12] Územní teploty. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_4_Uzemni_teploty&last=false
- [12] Carrier: *Tepelná čerpadla*. [online]. [cit. 2013-05-13]. Dostupné z: <http://www.carrierpm.cz/tepelná-čerpadla/prumyslova-tepelná-čerpadla-chladice/30hxc/>

Přílohy

Příloha A: Doba využití maxima a teplota okolního vzduchu v roce 2010



Příloha B: Doba využití maxima a teplota okolního vzduchu v roce 2011



Příloha C: Doba využití maxima a teplota okolního vzduchu v roce 2012

