



Měření charakteristik tepelného čerpadla voda - voda

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Tay Tran Xuan**
Vedoucí práce: doc. Ing. Václav Dvořák, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

Bachelor thesis

Study programme: B2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301R000 – Mechanical Engineering

Author: **Tay Tran Xuan**
Supervisor: doc. Ing. Václav Dvořák, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tay Tran Xuan**
Osobní číslo: **S12000395**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**
Název tématu: **Měření charakteristik tepelného čerpadla voda - voda**
Zadávací katedra: **Katedra energetických zařízení**

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

Proměrování výkonových charakteristik tepelného čerpadla voda - voda v prostorách laboratoří KEZ.

1. Popište teorii oběhu tepelného čerpadla a uveďte základní vztahy.
2. Popište tepelné čerpadlo typu voda-voda umístěné v laboratořích KEZ.
3. Navrhněte okruh tepelného čerpadla a experimentální zapojení.
4. Proměřte charakteristiky čerpadla, tj. výkon při různých průtocích vody a při různých teplotách.
5. Měření zpracujte a vyhodnoťte topný a chladicí faktor, měření vyneste do přehledných diagramů.
6. Formulujte závěry.

Rozsah grafických prací: 10
Rozsah pracovní zprávy: 35 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná
Seznam odborné literatury:

[1] CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. et al., 1993. *Větrání a klimatizace, Technický průvodce (31)*. Praha: SNTL.

[2] ŠVARC, P., SEIDL, J., DVOŘÁK, V., 2013. *Experimental study of influence of inlet geometry on thermal stratification in thermal energy storage during charging process. EPJ Web of Conferences (67) 02114.*

[3] DVOŘÁK, Z., KLAZAR, L., PETRÁK, J., 1987. *Tepelná čerpadla. Praha: SNTL.*

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Václav Dvořák, Ph.D.**

Katedra energetických zařízení

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Petr Švarc**


Katedra energetických zařízení

Datum zadání bakalářské práce: **2. března 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2016**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




doc. Ing. Václav Dvořák, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 2. března 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

3/7/2015

Podpis:



Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Václavu Dvořákovi, Ph.D. a Ing. Petru Švarcovi za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích bakalářské práce.

Měření charakteristik tepelného čerpadla voda – voda

Anotace :

Tématem práce je proměřování výkonových charakteristik tepelného čerpadla voda - voda v prostorách laboratoří KEZ. Měření bude zaměřeno na zjištění závislosti topného faktoru a výkonů tepelného čerpadla na teplotách chladicí a ohřívání vody. Během práce byla provedena 5krát měření. Pro vyrovnání výsledků měření, byly naměřené hodnoty vyneseny pro bezrozměrnou teplotu T^* , bezrozměrný průtok V^* a bezrozměrný příkon P_o^* . Z vypočtených údajů jako výkony, faktory chladících a topných byly vypracovány grafy pro všech 5krát měření a pak vyhodnocení výsledky.

Measuring characteristics of heat pump water – water

Anotation :

The central theme is measurement of the performance characteristics of heat pump water - water in areas KEZ laboratories. Measurements will be investigated to determine the dependence of heat factor and heat pump performance at temperatures of cooling and warming water. During the work was done 5 times measurements. To compensate the measurement results, the measured values were plotted for the dimensionless temperature T^* , the dimensionless flow V^* and the dimensionless input after P_o^* . From the calculated data, such as performance, cooling and heating factors were drawn graphs for all measuring 5 times and then evaluate the results.

Seznam symbolů a jednotek

η	Účinnost	
\dot{m}_A	Měrná hmotnost ohřívané kapacity u kruhu teplé vody	[kg/s]
\dot{m}_B	Měrná hmotnost ohřívané kapacity u kruhu studené vody	[kg/s]
\dot{V}_A	Průtok u tepelné a teplé vody	[l/min]
\dot{V}_B	Průtok u tepelné a studené vody	[l/min]
\dot{Q}_k	Měrné teplo u okruhu teplé vody	[W]
\dot{Q}_v	Měrné teplo u okruhu studené vody	[W]
$t_{v1} = t_{k1}$	Začátní teplota vody	[°C]
t_{v2}	Teplota studeného okruhu vody	[°C]
t_{k2}	Teplota tepelného okruhu vody	[°C]
P	Tepelný výkon kondenzátoru (užité teplo)	[J/s = W]
P_0	Příkon kompresoru	[W]
c_p	Měrná tepelná kapacita vody	[J/K.kg]
ρ_v	Hustota vody	[kg/m ³]
ε_k	Topný factor	[-]
ε_v	Chladicí factor	[-]
$\partial T_{stř}$	Chyby středního teploty	[°C]
∂T_{tep}	Chyby teplého teploty	[°C]
∂T_{st}	Chyby studeného teploty	[°C]
ϑ_{Vst}	Chyby studeného průtoku	[l/min]
ϑ_{Vtep}	Chyby teplého průtoku	[l/min]
$\vartheta_{Vstř}$	Chyby středního průtoku	[l/min]
ϑ_{Qst}	Chyby studeného výkonu	[W]
ϑ_{Qtep}	Chyby teplého výkonu	[W]

$\delta_{\varepsilon_{st}}$	Chyby studeného faktoru	[-]
$\delta_{\varepsilon_{tep}}$	Chyby teplého faktoru	[-]
ϑ_P	Chyby příkonu	[W]

Seznam indexů

1; 2;...;n	číslo vrstvy
Tč	tepelného čerpadla
Tj	to je
4x	čtyři krát
TUV	teplá užitková voda
POE	Power Over Ethernet
Min	minimální
Max	maximální

Obsah

1. Úvod	10
2. Tepelné čerpadlo	11
2.1. Princip funkce	11
2.2. Princip tepelného čerpadla [3]	12
2.3. Carnotův cyklus	13
2.4. Druhy tepelného čerpadla	15
2.4.1. Země – voda.....	15
2.4.2. Vzduch – voda.....	16
2.4.3. Vzduch – vzduch.....	18
2.4.4. Voda – voda	19
2.5. Aplikace tepelného čerpadla.....	20
3. Tepelné čerpadlo voda – voda v laboratoři	21
3.1. Přístroj použití	22
3.1.1. ALMEMO 2290-3:	22
3.1.2. Wattmetr DW 6092	23
3.1.3. DEWE-5000-FGEN	24
3.1.5. Tepelné čerpadlo JDK-Dixell-XR20CX	27
3.2. Popis tepelného čerpadla	29
4. Návrh okruh tepelného čerpadla	30
4.1. Zadání.....	30
4.2. Popis zařízení.....	30
4.3. Postup měření	30
4.4. Výpočty	32
5. Výsledky a vyhodnocení	35
6. Závěr	47

1. Úvod

Teplo je základní lidská potřeba. Stále více lidí přemýšlí, jak ekonomicky tak především ekologicky. Tepelné čerpadlo využívá energii z okolního prostředí a přeměňuje ji na teplo. Používá se nejenom na vytápění budov, ale i k ohřevu vody. Náklady na vytápění je možné snížit použitím tepelného čerpadla i ve stávajících zástavbách. Nejefektivnějším a nejobjektivnějším hodnocením čerpadla je vlastní měření provozu.

První myšlenka na vznik tepelného čerpadla se objevila již v roce 1852. Avšak první tepelné čerpadlo bylo sestaveno až o mnoho let později, tj. ve 40. letech 20. Století. Jeho vynálezcem byl Američan Robert C. Webber. V současné době je největším výrobcem přístrojů na elektrický ohřev vody a elektrické vytápění německá firma Stiebel Eltron, která vstoupila na světový trh s tepelnými čerpadly v době ropné krize roku 1974, na český trh pak počátkem 80. let.

Cílem bakalářské práce je v první části provést rešerši provozních charakteristik tepelných čerpadel voda–voda. Ve druhé části budeme počítat topný faktor a výkon tepelného čerpadla.

Toto měření bude provedeno v laboratorních prostorách Katedry energetických zařízení v časovém rozsahu leden 2015 do dubna 2015. Měření bude orientováno na zjištění závislosti topného faktoru a výkonů tepelného čerpadla na teplotách chladící a ohřívání vody.



Obr. 1. Prostor v laboratoři KEZ technické univerzity

2. Tepelné čerpadlo

Tepelná čerpadla patří k alternativním zdrojům energie. Tepelná čerpadla mají schopnost převzít nízko potencionální teplo z okolního prostředí jako je vzduch, země nebo voda a převést ho na vyšší teplotní úroveň a účelně ho využít pro ohřev teplé užitkové vody a vytápění. Většinou se skládá ze dvou částí, a to z vnitřní a venkovní. Vnitřní jednotka se dá kvůli svému tvaru snadno splést s plynovým kotlem nebo ohříváčem vody. Tato jednotka není náročná na umístění a velikost prostoru a její primární funkcí je předání tepla do topného systému. Venkovní část naopak odebírá nízko potencionální teplo z okolního zdroje (voda, země a vzduch). Velikost a podoba venkovní části závisí na tom, z jakého zdroje se teplo získává. [1]

2.1. Princip funkce

Princip tepelného čerpadla byl popsán již v 19. století anglickým fyzikem lordem Kelvinem, který formuloval svoji druhou větou termodynamiky, která říká, že teplo se šíří vždy ve směru od teplejší ke studenější části, jejíž princip tepelné čerpadlo využívá. První tepelné čerpadlo však bylo sestrojeno zcela náhodě, a to když Robert C. Weber prováděl pokusy s nízkými teplotami. Při jeho pokusu pravděpodobně došlo k popálení, když se Weber dotkl výstupního potrubí mrazicího stroje. Tato skutečnost ho přivedla na nápad použít teplo pro vytápění svého domu. [2]

Oběhová práce tepelného čerpadla pracuje na principu uzavřeného chladicího okruhu obdobně jako chladnička, ale využívá se jako zdroj tepla. Teplo se na jedné straně odebírá a na druhé předává. Vzhledem k tomu, že ve vodě, ve vzduchu a v zemi je obsaženo velké množství tepla, které však vzhledem k jeho nízké teplotní hladině nemůžeme použít k přímému vytápění nebo k ohřevu vody, musíme teplo převést na teplotu vyšší. Vodní čerpadlo umožňuje přečerpávat vodu z nižší hladiny na vyšší. Tepelné čerpadlo funguje podobně, jen přečerpává teplo na vyšší hladinu. Zjednodušeně můžeme říci, že tepelné čerpadlo spotřebovává přibližně jednu třetinu svého výkonu ve formě elektrické energie. Zbývající dvě třetiny tvoří teplo, které je odnímáno z ochlazované látky (tj. ze vzduchu, země a vody). Pro přečerpání tepla na vyšší teplotní hladinu, tedy k tomu, abychom uvedli tepelné čerpadlo do provozu, je třeba dodat určité množství energie. [1]

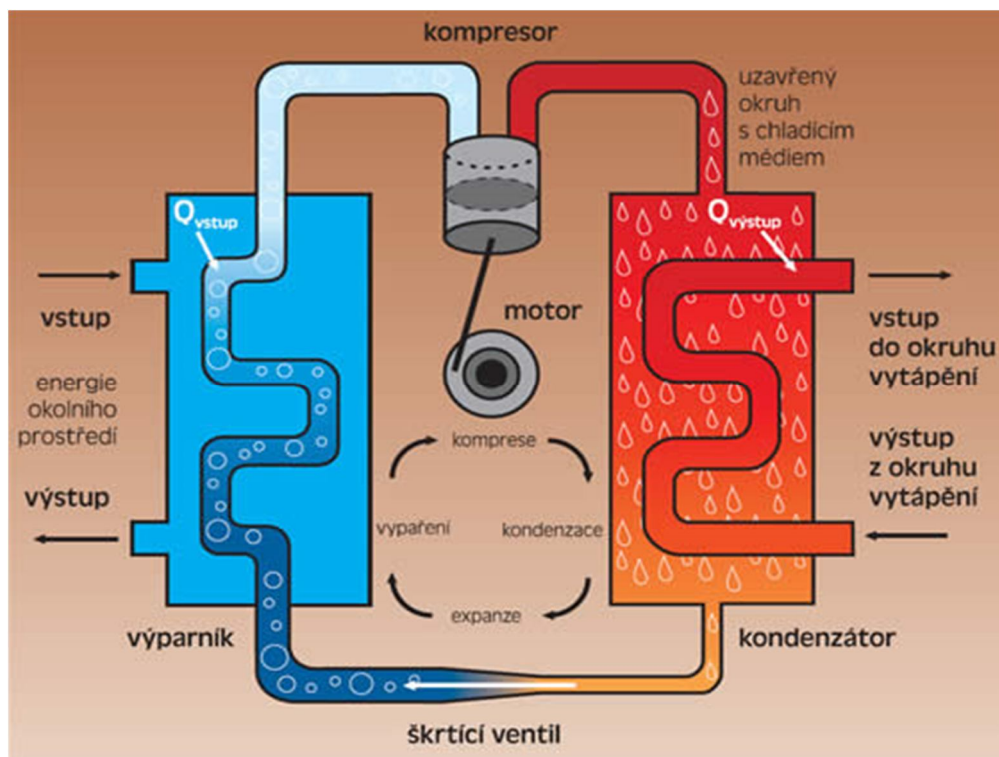
2.2. Princip tepelného čerpadla [3]

Tepelné čerpadlo obsahuje čtyři základní části chladicího okruhu: výparník, kompresor, škrťící ventil a kondenzátor. Výparník je výměník tepla, kde se ohřívá pracovní médium (chladiivo). Výparník i kondenzátor jsou deskové výměníky napojené na vodní okruh, tedy deskové výměníky chladiivo/voda. Voda se přivádí do výparníku z okolního prostředí. Dodané teplo způsobí, že se chladiivo začne vypařovat a páry chladiiva se tak stanou nositelem tepelné energie, kterou převádějí do kompresoru. Zdroj tepla se tím pádem o několik stupňů ochladí.

Kompresor dokáže nasát páry z výparníku, které stlačí a vytlačí do kondenzátoru, kde se zvětší jeho tlak, a tím pádem stoupne také jeho teplota. Práce, kterou kompresor použije na pohon, se přemění na teplo, které se přičítá k teplu přivedenému ve výparníku.

Energie přivedená do kondenzátoru párami chladiiva z výparníku a kompresoru se převádí do sekundárního okruhu tepelného čerpadla, kde cirkuluje topné médium, které se tímto přivedeným teplem ohřívá.

Škrťící ventil má za úkol vstříkovat do výparníku kapalné chladiivo, které v kondenzátoru při vyšším tlaku zkondenzovalo, aby se zde znovu při nižším tlaku vypařilo a celý oběh se mohl opakovat.



Obr. 2. Princip funkce tepelného čerpadla. [4]

Chladivo se vlivem nízkého tlaku vypařuje i při nízké teplotě okolí. Přejde do plynného stavu a je stlačeno kompresorem. Tím se jeho teplota zvýší. Ohřáté chladivo je vpuštěno do kondenzátoru, kde předá své teplo topnému médiu. Tím se jeho teplota sníží a chladivo opět přejde do kapalného stavu, opět pokračuje do kompresoru a celý cyklus se opakuje.

Chladicí jednotky patří k nejdůležitějším součástem v tepelném čerpadle. Chladivo převádí v uzavřeném chladicím okruhu energii získanou z nízko potenciálního zdroje do topné soustavy. Chladiva musí splňovat určité požadavky pro správnou funkčnost a to požadavky nejen ze strany fyzikálních vlastností, ale i z hlediska ekologického.

V následujících odstavcích uvádíme nejpoužívanější druhy chladiv v tepelných čerpadlech.

Chladivo R407c:

Toto chladivo je směs R32/R125/R134a v poměru 23/25/52 %. Lze ho používat v kombinaci s oleji POE. Při atmosférickém tlaku je bod varu $-43,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Provozní tlaky jsou vyšší než u chladiva R22. V současné době se používají u tepelných čerpadel země – voda, voda – voda.

Chladivo R410a:

Jedná se o směs R32/R125 v poměru 50/50 %. Tento druh čerpadel můžeme používat jen v kombinaci s oleji POE. Při atmosférickém tlaku je bod varu $-51,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Požadavky na provozní tlaky jsou až 4 MPa. Je to látka, která je nehořlavá, nevýbušná a která není jedovatá.

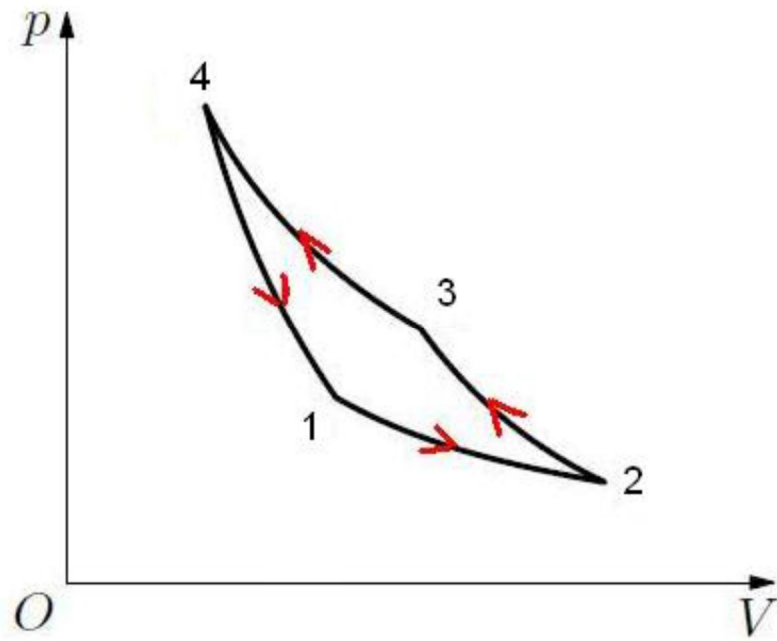
Chladivo R404a:

Je to směs R125/R134a/R143a v poměru 44/52/4 %. Lze je používat jen v kombinaci s oleji POE. Při atmosférickém tlaku je bod varu $-46,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nahrazují chladiva R22 a R502. Čerpadla se používají většinou u tepelných čerpadel vzduchu – voda. [25]

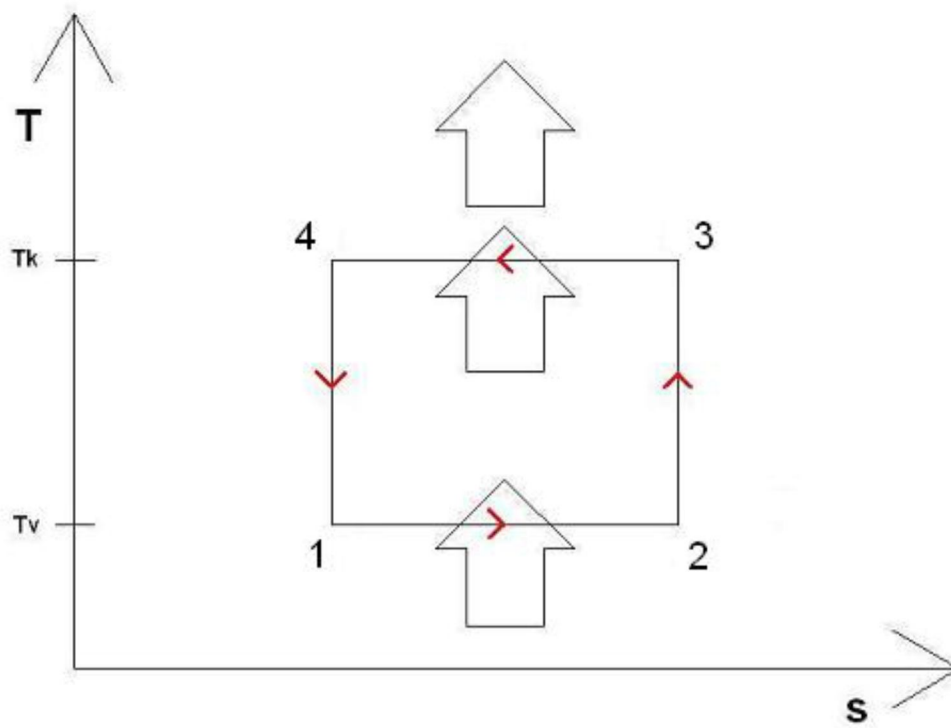
2.3. Carnotův cyklus

V Carnotově cyklu probíhají dva děje: 2 Izotermické děje a 2 Adiabatické děje. Jde o adiabatický kruhový děj, který se skládá ze čtyř vratných procesů:

1. Z bodu 1 do bodu 2 izotermická expanze : vykonává práci, která je rovna odebranému teplu.
2. Z bodu 2 do bodu 3 adiabatická komprese : je vykonávána práce, při které stoupá teplota.
3. Z bodu 3 do bodu 4 izotermická komprese : je dodávána práce do systému, kde je teplo z kondenzátoru je odváděno do okolí.
4. Z bodu 4 do bodu 1 adiabatická expanze : návrat na začátek cyklu a pokles teploty.
5. Pak se opakuje bod 1. a děj pokračuje dál.



Obr. 3 : Carnotův cyklus p-V diagram



Obr. 5 : Carnotův cyklus T-s diagram

T_k – teplota kondenzátoru

T_v – teplota výparníku

Účinnost se dá vyjádřit i pomocí teplot T_1 a T_2 :

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

2.4. Druhy tepelného čerpadla

V této kapitole uvádíme základní rozdělení tepelných čerpadel:

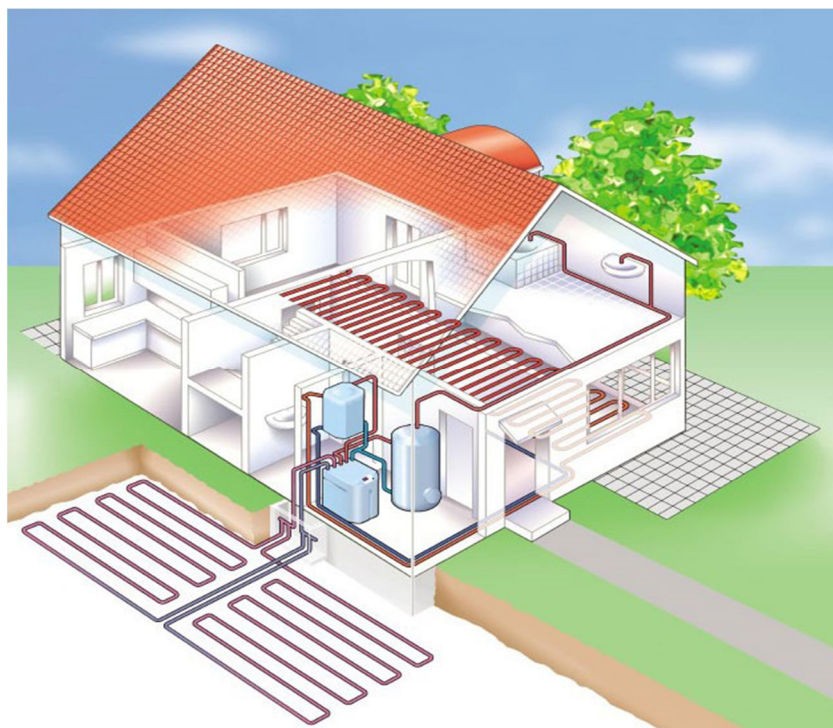
- Země-voda
- Vzduch-voda
- Vzduch-vzduch
- Voda-voda

2.4.1. Země – voda

Principem tepelného čerpadla země-voda je využívání stálé teploty, která se nachází pár metrů pod zemí. Tato teplota je konstantní po celý rok, a tak může být čerpadlo používáno během celého roku. Základním zdrojem tepla pro tento typ čerpadla je teplo odebírané ze země, a to buď formou plošného zemního kolektoru nebo hlubinného vrtu. [6]

Na obrázku můžeme vidět tepelné čerpadlo, které odebírá teplo z plochy zahrady. Pod povrchem zahrady jsou uloženy plastové hadice naplněné nemrznoucí směsí, jež přenáší teplo mezi zemí a tepelným čerpadlem. Tepelné čerpadlo s plošným kolektorem odebírá ze země pod sebou zhruba 2 % energie, zbylých 98 % energie je odebíráno z vrstvy zeminy nad sebou, kde je akumulovaná solární energie ze slunce. V okruhu je zařazen kompresor pro dosažení požadované vysoké teploty. [5]

Tepelné čerpadlo země - voda lze použít pro vytápění rodinného domu, jako zdroj teplé vody či pro ohřev vody v bazénu. V letních měsících můžeme vrty využívat jako pasivní zdroj chlazení s téměř nulovými náklady na provoz. [6]



Obr. 3. Systém tepelného čerpadla země – voda. [7]

2.4.2. Vzduch – voda

Stále častějším způsobem jak vytápět objekty a ohřívat vodu je využití tepelných čerpadel vzduch - voda. Tento druh čerpadel se používá k vytápění objektů a ohřevu vody stále častěji. K životnímu prostředí jsou velmi šetrná, neboť dokážou vyprodukovat více energie, než kolik se ukrývá v uhlí pod zemí, a to ještě předtím, než se ho dotkla lidská ruka. Tepelná čerpadla

Vzduch- voda jsou světovým trendem. A to především ze dvou hlavních důvodů – ekologického i ekonomického. [8]

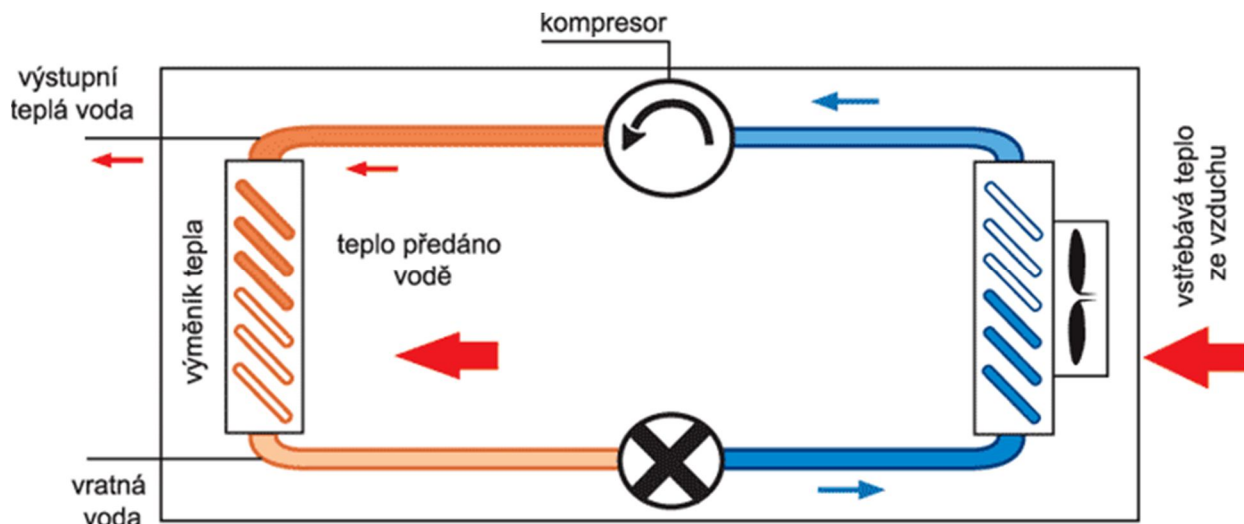
Tepelné čerpadlo vzduch - voda odebírá teplo z venkovního vzduchu. Vzduch je nasáván přímo do tepelného čerpadla a získané teplo je použito pro ohřev vody v topném systému nebo v zásobníku teplé vody. energii získanou při nízké teplotě přečerpá na vyšší a předává ji do topné vody. Elektrická energie je spotřebovávána jen k pohonu kompresoru a ventilátoru tepelného čerpadla. To tvoří přibližně třetinu energie, kterou tepelné čerpadlo dodá pro ohřev topné vody. Průměrný topný faktor systému tepelného čerpadla vzduch - voda v celé topné sezóně se příliš neliší od systému čerpadla země - voda. U tepelného čerpadla vzduch - voda je topný výkon závislý na venkovní teplotě. Při dimenzování je třeba zohlednit.[9]

Čerpadlo vzduch - voda se vyskytuje buď v kompletním provedení (celé tepelné čerpadlo může stát venku nebo uvnitř objektu). Skládá se ze dvou jednotek, a to venkovní a vnitřní. Venkovní jednotka nasává vzduch a je většinou umístěna v jižní části domu nebo na střeše, vnitřní jednotka zajišťuje ohřev TUV a topného systému. Existují také vzduchová čerpadla, která mají vnitřní provedení. U takového typu je nutné propojit jednotku vhodným vzduch technickým potrubím přes obvodovou zeď s vnějším prostředím k zajištění přívodu a odvodu využívaného venkovního vzduchu. Množství vzduchu, který jím protéká, je řádově v tisících m³/h. [2]

Výhodou tohoto systému je snadná instalace a univerzálnost. Čerpadlo lze namontovat prakticky na jakoukoliv stavbu za relativně nízké pořizovací náklady. Nevýhodou tohoto systému je, že výkon se mění s teplotou venkovního vzduchu. To znamená, že když vzrůstá teplota venkovního vzduchu, roste i výkon tepelného čerpadla a naopak. Z tohoto důvodu jsou tepelná čerpadla vzduch-voda výhradně provozována v bivalentním provozu. Tím je myšleno, že pod bod bivalence je připínán doplňkový zdroj tepla (zpravidla elektrický kotel) a dodávku tepla zajišťují oba zdroje současně. [2]

Tepelné čerpadlo vzduch-voda lze použít pro vytápění rodinného domu, teplé vody či ohřev bazénu. Nedoporučuje se použití v horských oblastech nebo na místech s nízkou průměrnou roční teplotou. Naopak velmi vhodné je užití tepelných čerpadel vzduch-voda pro ohřev vody ve venkovním bazénu v přechodném období, kdy teplota vzduchu bývá kolem +15° C a teplota vody +28° C. Za těchto podmínek dosahují tepelná čerpadla vzduch-voda účinnosti až 6:1. [8]

Princip, na kterém chladiivo funguje, je ten, že se vlivem nízké teploty při styku s okolním prostředím vypařuje. Když se dostane do plynného stavu, je stlačeno kompresorem, čímž se jeho teplota zvýší na úroveň použitelnou k vytápění nebo ohřevu vody. Ohřáté chladiivo je vpuštěno do kondenzátoru, kde předá své teplo topnému médiu. Tím se jeho teplota sníží a chladiivo opět přejde do kapalného stavu. Poté opět pokračuje do kompresoru a celý cyklus se opakuje.



Obr. 4. Schéma tepelného čerpadla vzduch – voda. [10]

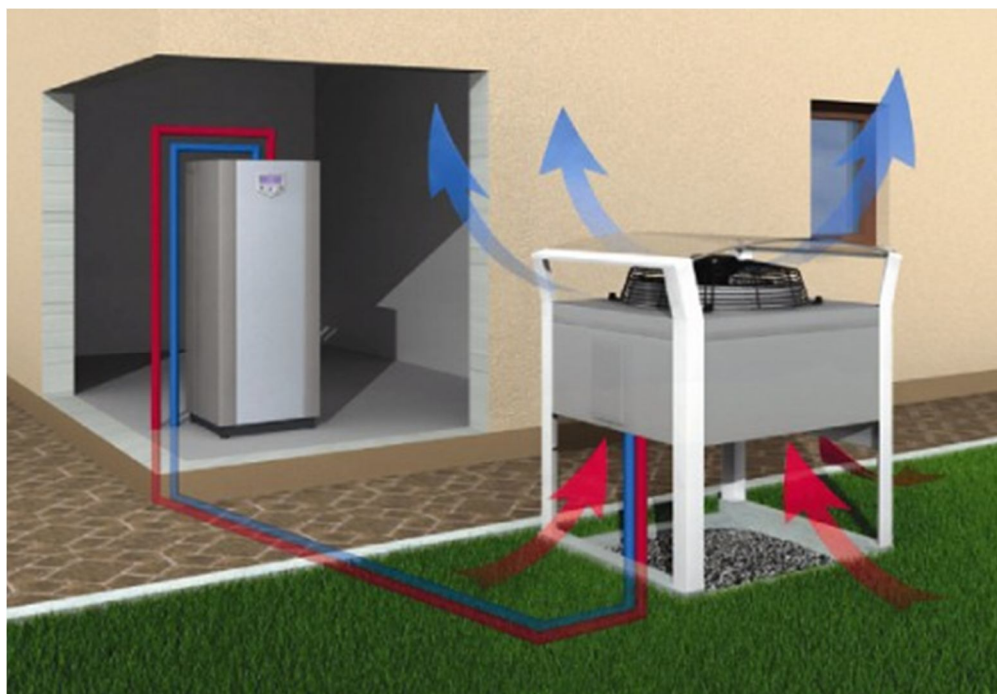
2.4.3. Vzduch – vzduch

Systémy vzduch - vzduch jsou na stejném principu jako čerpadla vzduch-voda, jen s malým rozdílem, že tepelný výkon předávají vnitřnímu vzduchu objektu. Toto tepelné čerpadlo vytápí nemovitost teplým vzduchem - využívá vzduchové rozvody nebo ventilačních jednotky umístěné v každé místnosti. Jako každé tepelné čerpadlo i toto vyrobí až 4x více energie než kolik spotřebuje [2].

Tepelné čerpadlo odebírá teplo z venkovního vzduchu. Vzduch je pak nasáván do venkovní jednotky tepelného čerpadla, kde se z něj získává teplo, které je následně použito pro ohřev vzduchu uvnitř vytápěné budovy. Tepelné čerpadlo s jednou vnitřní jednotkou funguje podobně jako krb. Vytápí jednu místnost, ale teplo se přirozeně šíří po celém domě. Díky tomu, že toto tepelné čerpadlo ohřívá vzduch v místnosti přímo bez topného systému, dosahuje výrazně lepších topných faktorů než klasická tepelná čerpadla vzduch-voda a země-voda [11].

K pozitivním vlastnostem tohoto čerpadla patří jeho jednoduchá a rychlá instalace. Tepelná čerpadla vzduch – vzduch mají velmi nízké pořizovací náklady. Nevýhodou tohoto systému je, že čerpadlo má obvykle jen jednu vnitřní jednotku. Dále že systém vzduch - vzduch není vhodný do domů a bytů s větším počtem malých místností a posledním negativním aspektem je skutečnost, že toto tepelné čerpadlo nedokáže ohřívát vodu [11].

Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch je ideální pro doplnění domů a bytů vytápěných elektrickými přímotopy nebo elektrickými kotli [11].



Obr. 5. Tepelné čerpadlo vzduch – voda. [12]

2.4.4. Voda – voda

Tepelné čerpadlo voda-voda patří spolu s ostatními druhy tepelných čerpadel k levným a ekologickým zdrojům tepla. Velkou výhodou těchto tepelných čerpadel jsou nízké náklady na jeho údržbu. Čerpadlo voda-voda zajišťuje také velice komfortní provoz. [13]

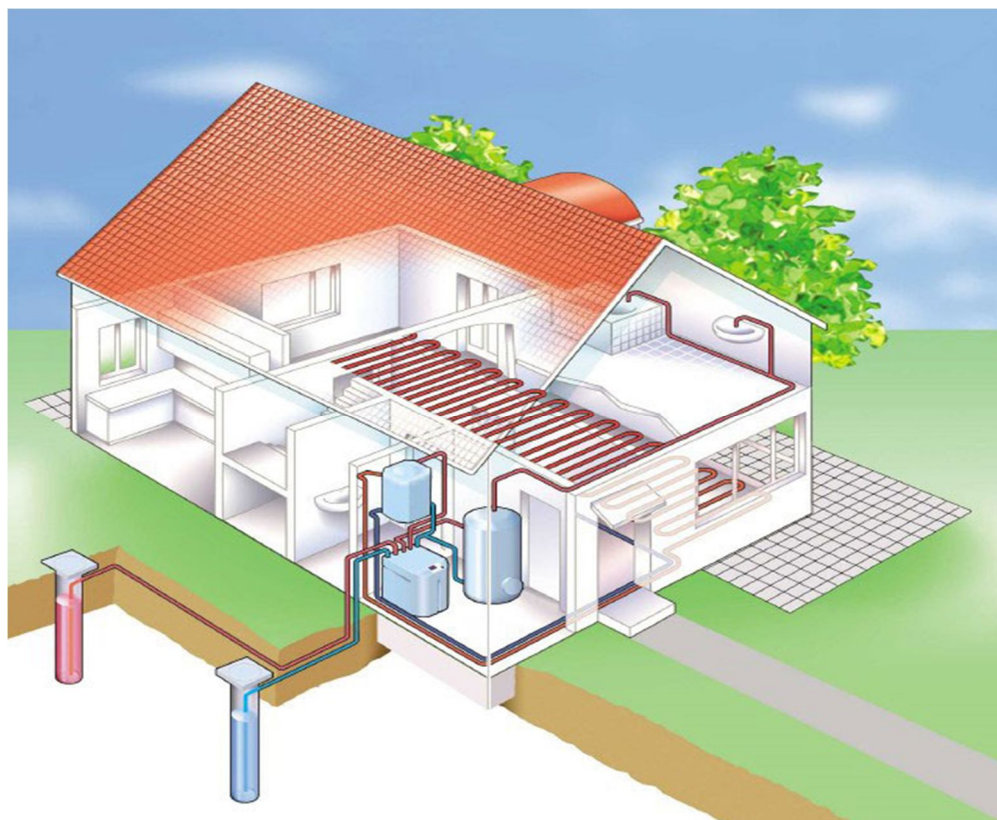
V České republice je tento systém není tak dostupný zejména z důvodu nedostatku vody a kvůli problémům spojeným se získáním povolení od správce vodní lokality (jezera, rybníky, nádrže, řeky apod.) odkud chceme teplo čerpat. Řešením může být použití dvou studen nebo vrtů. Z první studny se vyčerpá spodní voda do tepelného čerpadla, tam se ochladí a vrací se do druhé studny, kde se vsákne zpět do země.

Tepelné čerpadlo odebírá teplo ze spodní nebo z geotermální vody. Voda je obvykle čerpána ze studny do výměníku tepelného čerpadla a následně se vrací zpět do země. Podmínky pro instalaci takového čerpadla jsou velice náročné. Z počátku je třeba vybudovat dvě studny, čerpací a vsakovací, které musí být umístěny na stejném prameni, ale v dostatečné vzdálenosti od

sebe. Následně je potřeba dodat čerpadlu určité množství elektrické energie. Tepelná čerpadla voda - voda lze využít i pro využití odpadního tepla v technologických procesech. [14]

Toto čerpadlo má dvě výhody, z nichž první jsou relativně nízké investiční náklady v porovnání s tepelnými čerpadly, které vyžadují vrty. Druhou výhodou je skutečnost, že systémy voda – voda dosahují nejvyšších topných faktorů.

Nevýhodou je, že využití čerpadel je možné jen v lokalitách s dostatkem spodní vody nebo s vhodným zdrojem technologické či geotermální vody. Tepelná čerpadla voda – voda navíc ve většině případů pracují s otevřeným systémem, jenž vyžaduje pravidelnou údržbu filtrů a výměníků. Vysoké jsou také náklady na servis a údržbu čerpadla.



Obr. 6. Tepelné čerpadlo voda – voda. [15]

2.5. Aplikace tepelného čerpadla

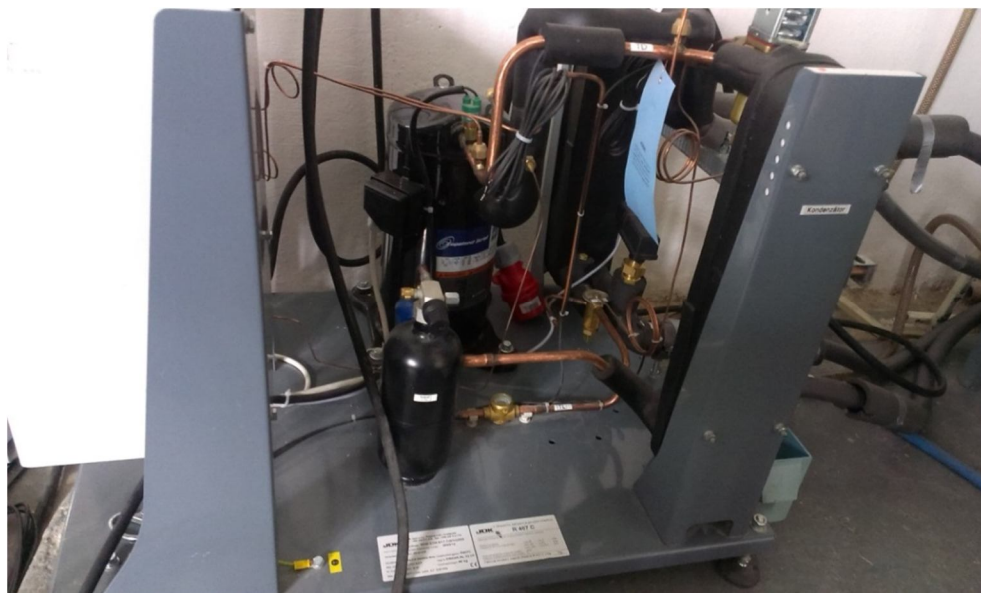
Tepelné čerpadlo je stroj, který čerpá teplo z jednoho místa na jiné. Obvykle je to z chladnějšího místa na teplejší. Nejčastějším typem je kompresorové tepelné čerpadlo, které pracuje na principu obráceného Carnotova cyklu. Chladivo je v plynném stavu stlačeno kompresorem a

poté vpuštěno do kondenzátoru, kde odevzdá skupenské teplo. Zkondenzované chladivo projde tryskou expanzního ventilu do výparníku, kde skupenské teplo (při nižším tlaku a teplotě) přijme a odpaří se. Poté opět pokračuje do kompresoru a cyklus se opakuje. Vyjádřením efektivity práce tepelného čerpadla je topný faktor. [16]

Tepelná čerpadla je možné použít v celé řadě aplikací jak pro vytápění, chlazení a přípravu teplé vody, tak i pro technologické účely ohřevu nebo chlazení (například v kovozpracujících podnicích, v chovu hospodářských zvířat, v rozvodných zařízeních, strojovnách, elektrárnách, lihovarech, lázních, nemocnicích nebo domovech důchodců). Nejlepšího sezónního topného faktoru můžeme dosáhnout u tepelného čerpadla voda-voda s podlahovým vytápěním bez přípravy teplé vody. Vhodných zdrojů pro tento typ není v České republice mnoho. Daleko častěji se tedy instalují tepelná čerpadla země-voda nebo vzduch-voda. Z ekonomického a technického hlediska je třeba vždy posoudit, jaká instalace je pro daný dům nejvhodnější. [17]

Průmyslovým chlazením rozumíme dodávku chladicí technologie ochlazování kapalin pro aplikace v průmyslu, především ve strojírenském, chemickém, ale i potravinářském. Další možností použití je vzduchotechnika a klimatizace. Během průmyslových procesů vzniká mnoho tepla, zvláště v prostředí sléváren, strojírenské a plastikářské výroby.

3. Tepelné čerpadlo voda – voda v laboratoři



Obr. 7. Tepelné čerpadlo v laboratoři

3.1. Použité měřicí přístroje

3.1.1 ALMEMO 2290-3:

Je inteligentní systém pro měření elektrických a jiných fyzikálních veličin. Přístroje je možné použít samostatně, nebo je zapojit do měřicích sítí, které jsou součástí systému. Inteligentní konektory umožňují měřit rozmanité fyzikální veličiny. Konektory propojí příslušný snímač s indikačním číslicovým přístrojem, který přečte parametry z paměti konektoru a nastaví potřebné funkce.

ALMEMO 2290-3, kterým disponuje Katedra energetických zařízení, je schopen indikovat hodnoty ze 4 vstupních kanálů. Vstupní konektory jsou vybaveny pamětí EEPROM, do které jsou uloženy parametry snímače.

Přístroj byl použit k měření průtoku u teplého a studeného okruhu.



Obr. 8. přístroj ALMEMO 2290-3

Technické údaje: [18]

- Rozměry: 180 x 85 x 33 mm
- Hmotnost: cca 370 g
- Povolená pracovní

- Teplota: -10 až +60°C
- Četnost měření: 3 měření/s
- Přesnost: ±0,03% z měření hodnoty ±1 digit

3.1.2. Wattmetr DW 6092

Třífázový wattmetr - analyzátor výkonu (1f/2w; 1f/3w; 3f/3w; 3f/4w)

True-RMS měření napětí a proudu (UAC: 10V ~ 600V; IAC: 0,2A ~ 1200A)

Činný výkon (KW MW GW); zdánlivý výkon (KVA MVA GVA); jalový výkon (KVAR MVAR GVAR); energie (WH SH QH PFH); Power faktor (PF); úhel fáze (ϕ); frekvence

Programovatelný poměr CT (1 až 600) a PT (1 až 1000)

Vstupní impedance pro měření UAC je 10MW

Vestavěné hodiny a kalendář, záznam dat na SD kartu v reálném čase

Napájení: 8 x AA 1,5 (alkalické) nebo pomocí 9V adaptéru [19]



Obr. 9. přístroj Wattmetr DW 6092

Technické údaje:

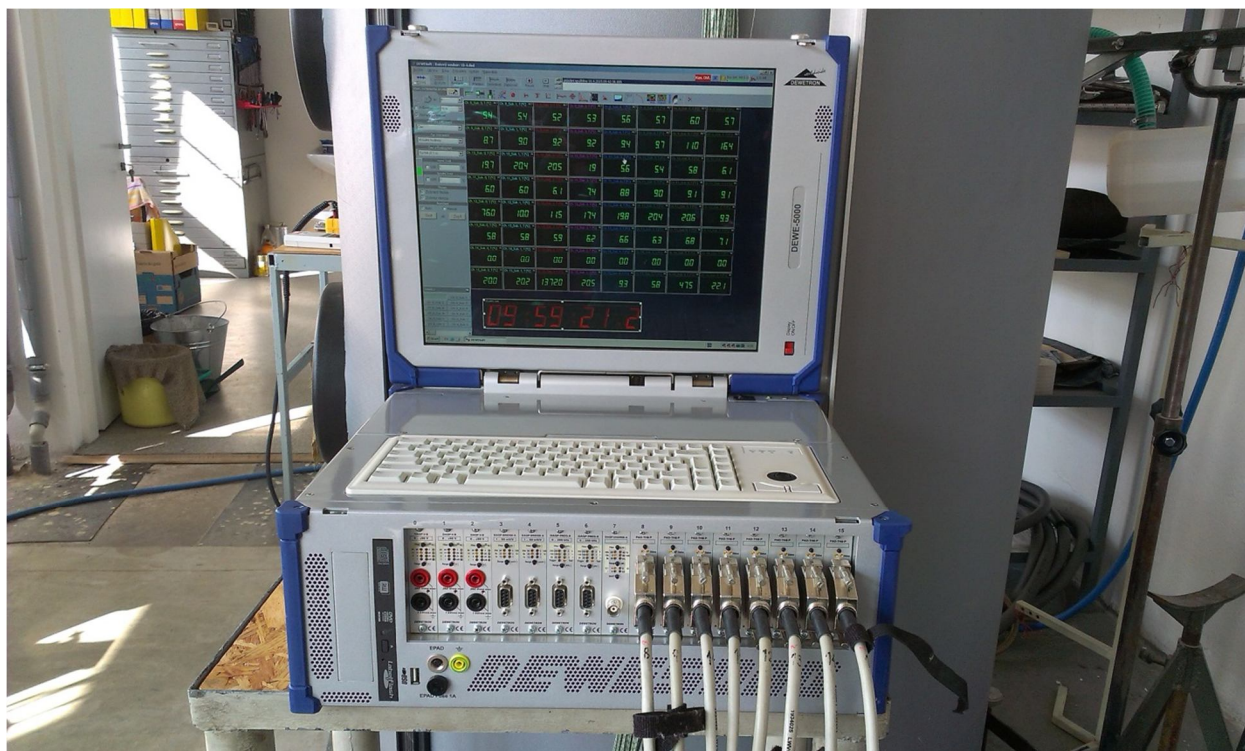
Parametr	Rozsah	Rozlišení	Přesnost
AC napětí	10-600 V	0,1 V	$\pm (0,5\% + 0,5 \text{ V})$
AC proud	20 A	1 m A pro $I < 10 \text{ A}$;	$\pm (0,5\% + 0,1 \text{ A})$
	200 A	10 mA pro $I < 100 \text{ A}$	$\pm (0,5\% + 0,5 \text{ A})$
	1200 A	0,1 A pro $I < 1000 \text{ A}$	$\pm (0,5\% + 5 \text{ A})$
Power faktor	0,00 ~ 1,00	0,01	$\pm 0,04$
Činný výkon	0,000 ~ 9,999 kW	0,001/0,01/0,1 kW	$\pm (1\% + 0,008 \text{ kW})$
Zdánlivý výkon	0,000 ~ 9,999 kVA	0,001/0,01/0,1 kVA	$\pm (1\% + 0,008 \text{ kVA})$
Jalový výkon	0,000 ~ 9,999 kVAR	0,001/0,01/0,1 kVAR	0,008 kVAR

3.1.3. DEWE-5000

DEWE nástroje funkčních generátorů s až 16 signálovými výstupy.

Klíčové vlastnosti : [20]

- Svévolné generace a přehrání signálu naměřených hodnot.
- Každý kanál s 16-bitovým D / A převodník pro simultánní výstupní signál.
- Pevná frekvence, lin / log SWEEP, roztržení, cvrlikání, STEP SINUS.
- Sine, čtverec, trojúhelník, rampa, hluk, šířka pásma hluk.
- Vysoká přesnost, 16, 22 nebo 24 bitové rozlišení.
- 16 kanály pro uživatele výměnných zásuvných modulů.
- Dynamické ISOLATION modulů, jednobaný, série DAQP.
- Statické ISOLATION modulů, více baný, série PAD.



Obr.10. DEWETRON 5000

Analogový výstup	Rozsah
Metoda výstupu	Simultánní výstup
Výstup rychlosti	1 MS/s na kanál
Rozlišení D/A převodník	16 bit
Programovatelná amplituda	Od ± 1 mV až ± 10 V
Rozlišení frekvence	0,1 MHz
Frekvenční stabilita	2 ppm

3.1.4. Kompresor Tě

Model ZR22K3E-TFD-522, typ chladivo R407C

Technické údaje:

Parametry	Rozsah
Elektrický zdroj	Ph3 50Hz 380-420V / 60Hz 460V
Kapacita	17500/20800 EER (Btu / Wh)
Výtlak	5,34 [m3/h]
Objem oleje	1,00 [l]
Rozměry (délka x šířka x výška)	242x242x363 [mm]
Hmotnost	22 [kg]
Hlučnost	54 [dBA]
Doporučené vyhřívací těleso	70 [W]



Obr. 11. Kompresor tepelného čerpadla

3.1.5. Tepelné čerpadlo JDK-Dixell-XR20CX

JDK, spol. S r.o., Pražská 2161, NYMBURK

Tell: +420 325 512 315, fax: + 420 325 514 718

Typ-Model : WDE-S1W-5/7 C(STD)/000

Výrobní číslo : 0695/12

Kompresor : ZR 22 K3E

Sousava : TN-C-S230/400V 50Hz

Chladivo : R407C

Max. Proud : 6,5 A

Olej : EMKAR.RL 32 CF

El. Kryt : IP 21

Hmotnost : 86kg

Max. – min. Tlak : 2,7 – 2,25 Mpa

V chladícím zařízení je použito chladivo : R 407 C

Obsahuje fluorované se nikové plyny uvedné v kjotském protokolu.

Chladivo R 407 C je směsí tří látek :

- HFC 32 ...CH₂F₂... 23%
- HFC 125 ... C₂HF₅... 25%
- HFC 134...CH₂FCF₃ ... 52%

Potenciál globálního oteplování (GWP) : 1530

Potenciál rozkladu ozonové vrstvy (ODP) : 0

Celkové množství náplně chladiva R 407 C v kg : 1kg

Modely XR20CX jsou termostaty s pasivním odtáváním osazené mikroprocesorem, vhodné pro aplikace chlazení při normálních teplotách.

Hlavní funkce:

- Zobrazení údaje zadané hodnoty
- Změna zadané hodnoty
- Zahájení ručního odtávání
- Změna hodnoty libovolného parametru
- Skryté menu

Technické údaje: [21]

- Obal: samoshášitelný plast ABS
- Skříň: přední panel 32 × 74 mm, hloubka 60 mm,
- Montáž: do panelu s vyříznutým otvorem 71 × 29 mm
- Krytí čelního panelu: IP65
- Připojení: šroubovací svorkovnice pro vodiče do průřezu 2,5 mm²
- Napájecí napětí: 12,24 Vstř/ss, ±10%; 230,100 Vstř, ± 10% 50/60 Hz
- Příkon: 3 VA max.
- Displej: třímístný, červené LED, výška číslic 14,2 mm
- Vstupy: až 4 čidla PTC (-50 až 150 °C) nebo NTC (-40 až 110 °C)

- Další vstupy: digitální beznapěťový kontakt
- Výstupy relé: kompresor spínací relé 8(3),12 a 20(8) A, 250 Vstř
- odtávání přepínací relé 8(3) A; 250Vstř
- ventilátor spínací relé 5,8(3) A, 250 Vstř
- Paměť dat: EEPROM
- Rozsah pracovních teplot: 0 až 60 °C
- Rozsah teplot při skladování: -30 až 85 °C
- Relativní vlhkost: 20 až 85 % (nekondenzující)
- Měřicí a regulační rozsah: dle použitého čidla
- Krok: 0,1 °C nebo 1 °C nebo 1 °F (nastavitelné)
- Přesnost: (při teplotě okolí 25 °C): $\pm 0,7 \text{ °C} \pm 1 \text{ digit}$.

3.2. Popis tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo je uzavřený systém, který má 4 části: výparník, kompresor, kondenzátor a škrťací ventil.

1. Výparník je místo, kde se ohřívá pracovní médium (tj. chladivo). Chladivo přejde z kapalného do plynného stavu, který je převáděn do kompresoru.
2. Kompresor je část, jež nasává sytou páru chladiva a stlačuje ji. Kompresí se tak zvýší tlak a teplota chladiva.
3. Kondenzátor je oddíl, v němž se předává část tepla z chladiva do nádrže. Zde je další výměník, ve kterém pracovní médium odevzdá své získané teplo, přeneso část tepla z chladiva do nádrže a zbylá část pokračuje do ventilu v zkapalněném stavu.
4. Škrťací ventil je poslední součástí čerpadla, v níž se pracovní médium seškrťí na původní nízký tlak (tj. chladivo předalo své teplo do topné soustavy a má opět svoji prvotní nízkou teplotu), a oběh se opakuje.

K tepelnému čerpadlu náleží také izolovaný zásobník. Ten se skládá z izolovaného akumulacího zásobníku na 920 litrů vody, izolace je 100 mm molitanové pěny. V zásobníku je

57 termočlánků. Tyto termočlánky jsou rozmístěny do tří sloupců po devatenácti. Dále je termočlánek při vstupu vody do čerpadla a při výstupu studené vody z nádrže. Všechny termočlánky jsou napojeny na měřicí zařízení DEWE 5000.

4. Návrh zapojení tepelného čerpadla

4.1. Zadání

Proměřte teploty v teplém a studeném okruhu tepelného čerpadla při nabíjení vodního akumulčního zásobníku. Teploty budou zaznamenávány pomocí termočlánků rozmístěných v horním vstupu a dolním výstupu ze zásobníku. Nabíjení proveďte pomocí tepelného čerpadla pro průtok 400 (l/h). Z naměřených hodnot vypočítejte měrné teplo u okruhu tepla \dot{Q}_k a studeného okruhu \dot{Q}_v . Potom vypočítejte tepelný příkon kompresoru P_{komp} a topný faktor ϵ . Pomocí těchto hodnot vytvořte graf tepelného čerpadla, tj. závislost teploty na průtok \dot{V} v okruhu tepla a studena tepelného čerpadla. Vzniklou křivku popište a dále uveďte, jak by měla křivka ideálně vypadat, a uveďte důvody.

4.2. Popis zařízení

Tepelné čerpadlo má čtyři části, tj. výparník, kompresor, kondenzátor a ventil, které jsou v uzavřeném systému. Dále je součástí oběhové čerpadlo, regulační ventily, průtokoměr, nádrž, termočlánky a měřicí zařízení.

Voda přejde z nádrže do výparníku, kde je chladivo a přejde do kompresoru. V kompresoru se chladivo stlačuje do kondenzátoru, teplota se zvyšuje a část tepla vystoupí do horní nádrže potrubím a ostatní část pokračuje do ventilu a pak se přesune do výparníku a vystoupí do dolní nádrže skrz potrubí.

Termočlánky jsou v dolní, horní a uprostřed nádrže. Tyto termočlánky jsou napojeny k měřicímu a záznamovému přístroji DEWETRON 5000.

Z kondenzátoru tepelného čerpadla je voda oběhovým čerpadlem tlačena do potrubí.

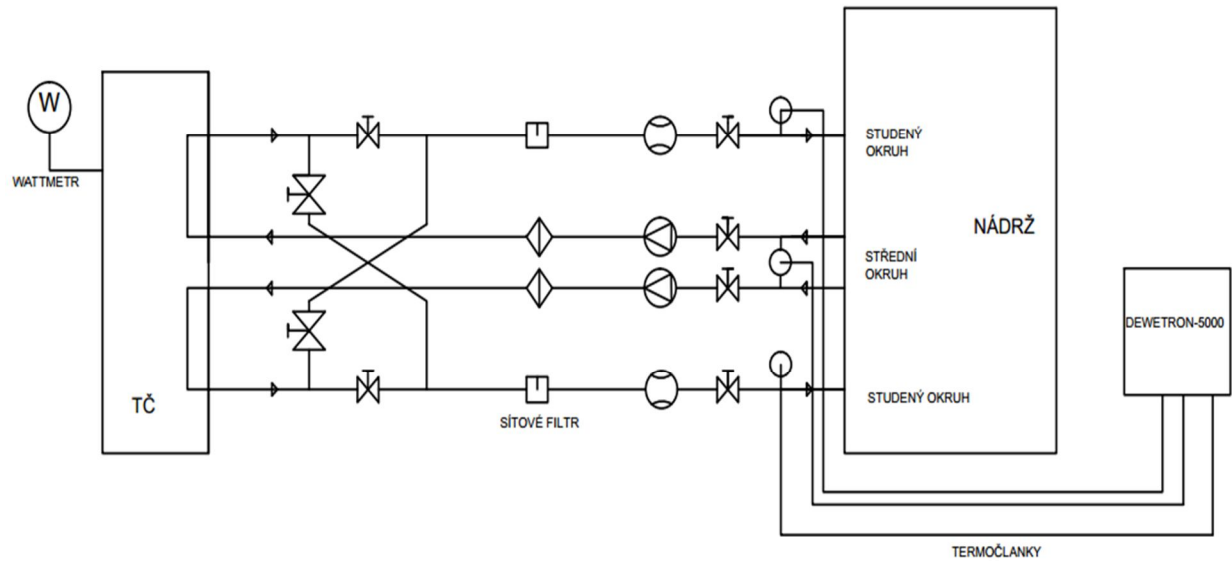
4.3. Postup měření

- Připravíme všechny nutné přístroje na měření:
 - a. Dewetron DEWE 500 – měření všech teplot
 - b. wattmetr DW 6092 – měření příkonu

c. průtokoměr Ahlborn ALMEMO 2290-3 – měření průtoků

- Zkontrolujeme všechny ventily, které musí být uzavřeny.
- Začneme napuštěním kumulačního zásobníku. Po naplnění vodu zavřeme (asi 20 min.).
- Zapneme počítač DEWETRON, zapojíme konektory do počítače a zapojíme všechny konektory termočlánků (57 termočlánků) se svorkovnicí počítače a také 3 termočlánky rníku vodních okruhů kondenzátoru a výparníku.
- Zapojíme 2 průtokoměry (průtokoměr Ahlborn) teplé vody a studené vody.
- Spojíme přístroj wattmetr DW 6092 s tepelným čerpadlem.
- Otevřeme ventily na místech, kde potřebujeme (oběhová čerpadla, teplý a studený okruh a ventily u tepelného čerpadla).
- Zapojíme počítač, tepelné čerpallo, oběhové čerpadlo a wattmetr DW 6092 do elektrické sítě a oběhové čerpadlo a čekáme, dokud se voda v nádrži nepromíchá.
- Začínáme měřit a sledujeme změnu teploty a průtoky podle čase.
- Na počítači DEWETRON se nám budou zobrazovat teploty ve všech částech akumulčního zásobníku a teploty v obou okruzích, to jsou získané hodnoty, které se dají ukládat na flash disk.
- Přístroj wattmetr bude měřit příkon na tepelném čerpadle, wattmetr nám ukazuje spoustu hodnot proudů a napětí na jednotlivých svorkách, dále nám umožňuje změřit zdánlivý (teoretický), nebo jalový příkon. Zpracováván bude pouze činný příkon, který wattmetr uloží na SD kartu.
- Z průtokoměru musíme odečítat naměřené hodnoty průtoků jednou za 5 minut.
- Po měření vypneme tepelné čerpadlo.
- Uložíme hodnoty měření do počítače DEWETRON a wattmetr pak vypneme.
- Vypojíme pouze průtokoměry, měřidla a tepelné čerpaldo, oběhové čerpadlo, počítač DEWETRON z elektrické sítě.
- Vypojíme konektory z počítače DEWETRON, termočlánky ze svorkovnice a dáme do původní polohy.
- Dáme ventily do správné polohy a vypustíme vodu z kumulačního zásobníku.
- Kontrolujeme a uklidíme všechna měřidla a okolí prostoru měření.

Schéma měření



4.4. Výpočty

- Měrná hmotnost ohříváné kapacity u okruhu teplé vody

$$\dot{m}_A = \frac{\dot{V}_A \cdot \rho}{60 \cdot 1000} \quad [\text{kg/s}]$$

- Měrné teplo u okruhu teplé vody

$$\dot{Q}_k = \dot{m}_A \cdot c_p \cdot (t_{k2} - t_{k1}) \quad [\text{W}]$$

- Měrná hmotnost ohříváné kapacity u okruhu studené vody

$$\dot{m}_B = \frac{\dot{V}_B \cdot \rho}{60 \cdot 1000} \quad [\text{kg/s}]$$

- Měrné teplo u okruhu studené vody

$$\dot{Q}_V = \dot{m}_B \cdot c_p \cdot (t_{V2} - t_{V1}) \quad [\text{W}]$$

- Tepelný výkon (užitné teplo) kondenzátoru

$$P = \dot{Q}_k - \dot{Q}_V \quad [\text{W}]$$

Kde:

P: tepelný výkon kondenzátoru (užitné teplo) [J/s = W]

\dot{m}_A, \dot{m}_B : hmotnost ohříváné kapaliny u tepelné a studené vody [kg/s]

c_p : měrná tepelná kapacita vody = 4180 [J/K.kg]

\dot{V}_A, \dot{V}_B : průtok u tepelné a studené vody [l/min]

ρ : hustota vody [kg/m^3]

$t_{k1} = t_{v1}$: začátní teplota vody [$^{\circ}\text{C}$]

t_{k2}, t_{v2} : teplota tepelného a studeného okruhu vody [$^{\circ}\text{C}$]

➤ Topný faktor:

Topný faktor (COP, Coefficient of performance) je podílem měrného tepla u okruhu teplé vody a příkonu tepelného čerpadla. Další definicí faktoru může být poměr tepla předaného teplonosné látce a vynaložené práce. Topný faktor v podstatě závisí na teplotě nízko potenciálního zdroje - čím je teplejší zdroj, tím je vyšší účinnost, čili

$$\varepsilon_k = \frac{\dot{Q}_k}{P_0}$$

Kde:

ε_k - topný faktor [-]

\dot{Q}_k - Měrné teplo u okruhu teplé vody [$\text{J}/\text{s}=\text{W}$]

P_0 - příkon kompresoru [W].

➤ Chladicí faktor :

Chladicí faktor je podílem Měrného tepla u okruhu studené vody a příkonu tepelného čerpadla.

$$\varepsilon_v = \frac{\dot{Q}_v}{P_0}$$

ε_v - chladicí faktor [-]

\dot{Q}_v - Měrné teplo u okruhu studené vody [$\text{J}/\text{s}=\text{W}$]

4.5. Chyby měření :

Uvedené fyzikální veličiny měříme nepřímou a výsledná veličina je funkcí několika přímo měřených veličin.

Vztahy chyby studeného okruhu :

$$\frac{\partial Q_{st}}{\partial V_{st}} = \rho \cdot c_p \cdot (T_{stř} - T_{st})$$

$$\frac{\partial Q_{st}}{\partial T_{stř}} = \rho \cdot c_p \cdot V_{st}$$

$$\frac{\partial Q_{st}}{\partial T_{st}} = -\rho \cdot c_p \cdot V_{st}$$

$$\vartheta_{Q_{st}} = \sqrt{\left(\frac{\partial Q_{st}}{\partial V_{st}} \cdot \vartheta_{V_{st}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_{st}}{\partial T_{stř}} \cdot \vartheta_{V_{stř}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_{st}}{\partial T_{st}} \cdot \vartheta_{V_{st}}\right)^2}$$

$$\delta_{\varepsilon_{st}} = \sqrt{\vartheta_{Q_{st}}^2 + \vartheta_P^2}$$

Vztahy chyby teplého okruhu:

$$\frac{\partial Q_{tep}}{\partial V_{tep}} = \rho \cdot c_p \cdot (T_{tep} - T_{stř})$$

$$\frac{\partial Q_{tep}}{\partial T_{tep}} = \rho \cdot c_p \cdot V_{tep}$$

$$\frac{\partial Q_{tep}}{\partial T_{stř}} = -\rho \cdot c_p \cdot V_{tep}$$

$$\vartheta_{Q_{tep}} = \sqrt{\left(\frac{\partial Q_{tep}}{\partial V_{tep}} \cdot \vartheta_{V_{tep}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_{tep}}{\partial T_{tep}} \cdot \vartheta_{V_{tep}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_{tep}}{\partial T_{stř}} \cdot \vartheta_{V_{stř}}\right)^2}$$

$$\delta_{\varepsilon_{tep}} = \sqrt{\vartheta_{Q_{tep}}^2 + \vartheta_P^2}$$

Kde:

$\frac{\partial Q_{st}}{\partial V_{st}}$: chyby studeného výkonu podle studeného průtoku

$\frac{\partial Q_{st}}{\partial T_{stř}}$: chyby studeného výkonu podle středního tepla

$\frac{\partial Q_{st}}{\partial T_{st}}$: chyby studeného výkonu podle studeného tepla

$\frac{\partial Q_{tep}}{\partial V_{tep}}$: chyby teplého výkonu podle teplého průtoku

$\frac{\partial Q_{tep}}{\partial T_{tep}}$: chyby teplého výkonu podle teplého tepla

$\frac{\partial Q_{tep}}{\partial T_{stř}}$: chyby teplého výkonu podle středního tepla

$\partial T_{stř}$: chyby středního teploty

∂T_{tep} : chyby teplého teploty

∂T_{st} : chyby studeného teploty

$\vartheta_{V_{st}}$: chyby studeného průtoku

$\vartheta_{V_{tep}}$: chyby teplého průtoku

$\vartheta_{V_{stř}}$: chyby středního teploty

$\vartheta_{Q_{st}}$: chyby studeného výkonu

$\vartheta_{Q_{tep}}$: chyby teplého výkonu

$\delta_{\varepsilon_{st}}$: chyby studeného faktoru

$\delta_{\varepsilon_{tep}}$: chyby teplého faktoru

ϑ_P : chyby příkonu

5. Výsledky a vyhodnocení

Během práci byla provedena 5krát měření a to je vyjádřeno na tabulkách 1-5 níže. Změny teploty pracovního oběhu tepelného čerpadla jsou znázorněny v následujících tabulkách a grafech.

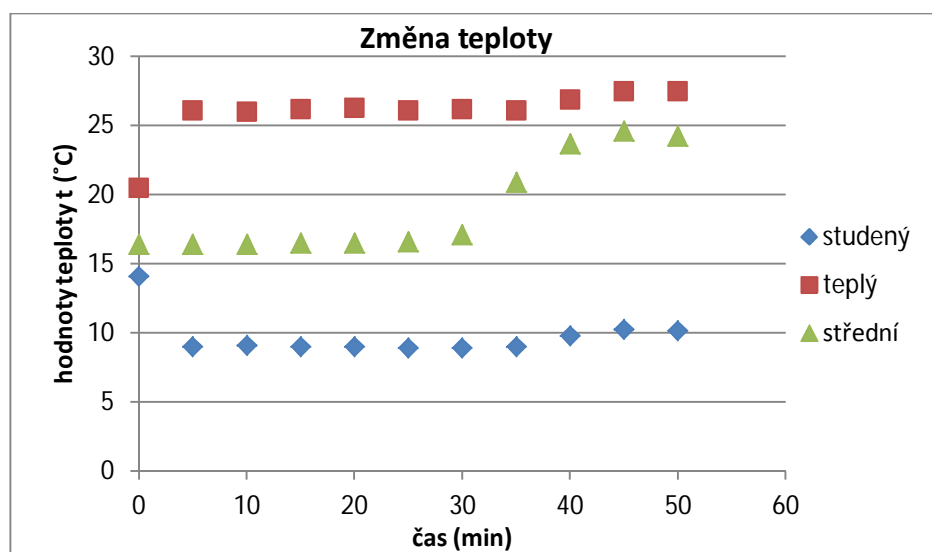
Tabulka 1: Pracovní oběh tepelného čerpadla o průměrném průtoku vody kondenzátorem 10,31 (l/min) a 10,88 (l/min) výparníkem.

Čas [min]	$V_{ohřev}$ [l/min]	$V_{studena}$ [l/min]	$t_{studena}$ [°C]	$t_{střední}$ [°C]	$t_{ohřev}$ [°C]	$Q_{studena}$ [W]	$Q_{ohřev}$ [W]	P [W]	P_0 [W]	$\varepsilon_{ohřev}$ [-]	$\varepsilon_{studena}$ [-]
0	10.3	10.95	14.1	16.4	20.5	1752.65	2938.84	1186.18	1006	2.9	1.7
5	10.29	10.92	9	16.4	26.1	5623.52	6946.10	1322.58	1036	6.7	5.4
10	10.32	10.9	9.1	16.4	26	5537.37	6894.54	1357.17	1031	6.7	5.4
15	10.3	10.88	9	16.5	26.2	5678.64	6952.85	1274.21	1032	6.7	5.5
20	10.31	10.88	9	16.5	26.3	5678.64	7031.35	1352.71	1033	6.8	5.5
25	10.34	10.87	8.9	16.6	26.1	5824.71	6835.94	1011.23	1029	6.6	5.7
30	10.32	10.86	8.9	17.1	26.2	6197.23	6535.45	338.21	1019	6.4	6.1
35	10.28	10.86	9	20.9	26.1	8993.55	3720.07	-5273.48	1033	3.6	8.7
40	10.33	10.86	9.8	23.7	26.9	10505.07	2300.41	-8204.66	1050	2.2	10.0
45	10.32	10.86	10.25	24.6	27.5	10845.16	2082.72	-8762.43	1060	2.0	10.2
50	10.31	10.88	10.15	24.25	27.5	10675.84	2331.83	-8344.02	1058	2.2	10.1

Proces měření začíná v okamžiku, kdy se rovnoměrně smíchá teplá a studená voda v nádrži čerpadlem. Pomocí termočlánků začneme měřit teplotu vody v jednotlivých okruzích. Naměřené hodnoty zaznamenáme a uložíme. Proces měření probíhá až do doby, kdy se tepelná hodnota ve středním okruhu přiblíží hodnotě v teplém okruhu. Poté je proces ukončen. Z tabulky je vidět, že průtok teplého a studeného okruhu vymění proměrně málo, příkon pracovního oběhu je taký stabilní.

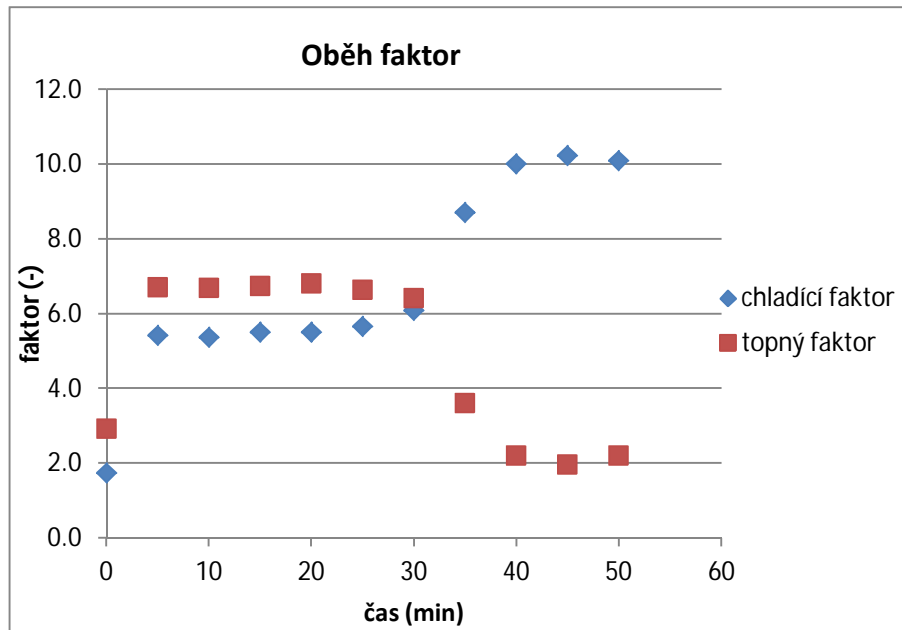
Výpočet chyby měření :

čas	$\delta_{V_{\text{ohrev}}}$	$\delta_{V_{\text{studena}}}$	$\delta_{t_{\text{studena}}}$	$\delta_{t_{\text{střední}}}$	$\delta_{t_{\text{ohrev}}}$	δ_{P_0}	$\delta_{Q_{\text{studena}}}$	$\delta_{Q_{\text{ohrev}}}$	$\delta_{\xi_{\text{ohrev}}}$	$\delta_{\xi_{\text{studena}}}$
[min]	[l/min]	[l/min]	[°C]	[°C]	[°C]	[W]	[W]	[W]	[-]	[-]
0	0.515	0.5475	0.2	0.2	0.2	10.06	592.04	522.05	0.52	0.59
5	0.5145	0.546	0.2	0.2	0.2	10.36	588.80	521.04	0.52	0.59
10	0.516	0.545	0.2	0.2	0.2	10.31	586.64	524.08	0.52	0.59
15	0.515	0.544	0.2	0.2	0.2	10.32	584.49	522.05	0.52	0.58
20	0.5155	0.544	0.2	0.2	0.2	10.33	584.49	523.07	0.52	0.58
25	0.517	0.5435	0.2	0.2	0.2	10.29	583.42	526.11	0.53	0.58
30	0.516	0.543	0.2	0.2	0.2	10.19	582.35	524.08	0.52	0.58
35	0.514	0.543	0.2	0.2	0.2	10.33	582.35	520.03	0.52	0.58
40	0.5165	0.543	0.2	0.2	0.2	10.5	582.35	525.10	0.53	0.58
45	0.516	0.543	0.2	0.2	0.2	10.6	582.35	524.08	0.52	0.58
50	0.5155	0.544	0.2	0.2	0.2	10.58	584.49	523.07	0.52	0.58



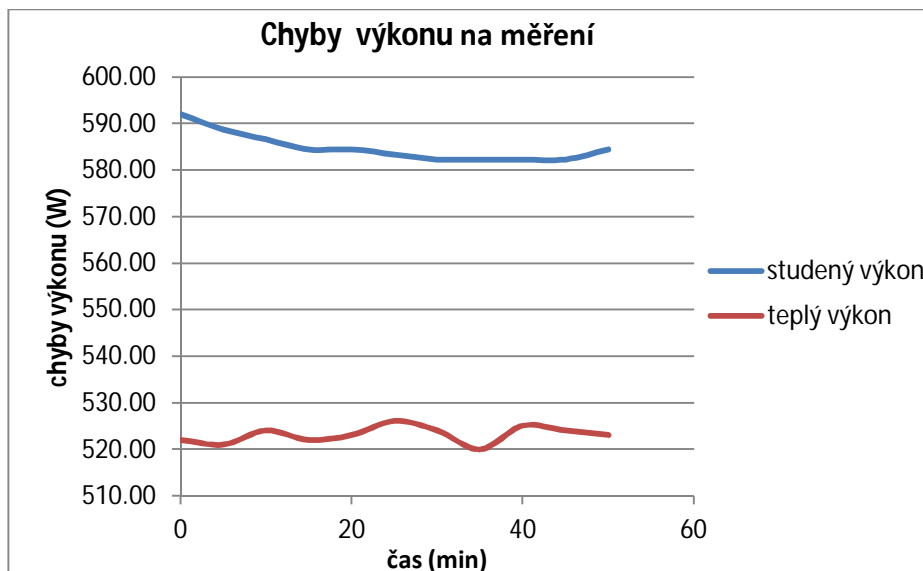
Graf 5.1 Změna hodnoty teploty oběhu pracovní tepelného čerpadla.

Na grafu 5.1 můžeme vidět, že teploty všech tří míst (studené, tepelné a střední) v čase rostou. Hodnoty teplot teplého a studeného místa se mění málo, ale teplota středního okruhu se zvyšuje hodně od 30 minut $t_{stř} = 17,1$ min a pak 35 minut $t_{stř} = 23,7$ (studený výkon je zvyšuje rychleji, ale teplý výkon je snižuje rychleji). Vidíme, že teplota vody zvyšuje na oběhu pracovní tepelného čerpadla. Když střední teplota nádrže roste a blíží se teplotě teplého okruhu, tak zastavíme proces měření. Měření trvá zhruba 1 hodinu.

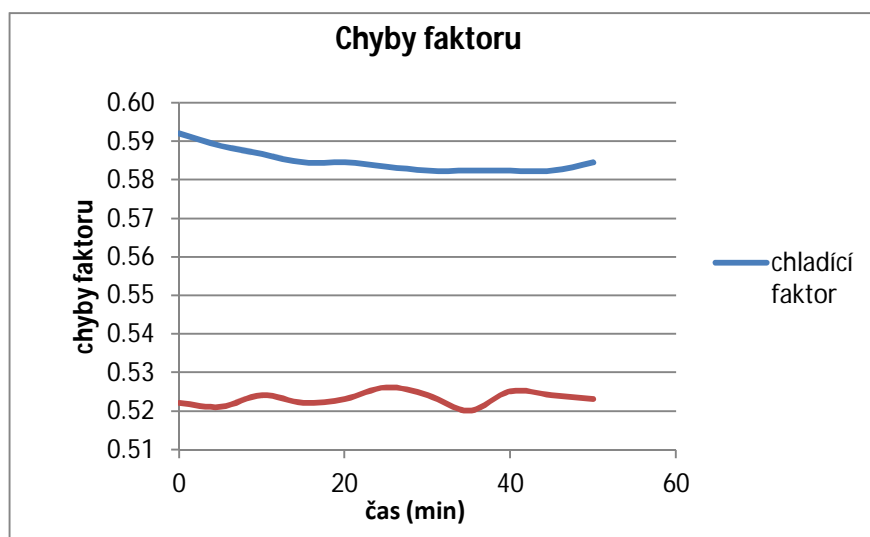


Graf 5.2 Změna topného a chladicího faktoru.

Hodnota obou faktorů, která je na začátku měření nízká, se začíná po prvních 5 minutách zvyšovat. Od začátku měření (cca do prvních 30 minut) je vždy hodnota topného faktoru vyšší než hodnota chladicího faktoru. Téměř stejné hodnoty oba faktory nabývají ve 30. minutě měření. Po 30 minutách se topný faktor začíná rychle snižovat (30 minut $\epsilon_{topný} = 6,4$ a 35 minut $\epsilon_{topný} = 3,6$ a 40 minut $\epsilon_{topný} = 2,2$). Naopak hodnota chladicího faktoru se zvyšuje (30 minut $\epsilon_{studený} = 6,1$, 35 minut $\epsilon_{studený} = 8,8$ a 40 minut $\epsilon_{studený} = 10$). Změna faktorů závisí na změně teplého a studeného výkonu tepelného čerpadla. Hodnota faktorů závisí na vstupní a výstupní teplotě, typu kompresoru a dalších okolnostech.



Graf 5.3 Chyby změna studeného a teplého výkonu



Graf 5.4 Změna chyby topného a chladicího faktoru.

Na graf 5.3 a graf 5.4 je vidět, že chyby měření jsou trochu vysoké. Chyby výkonu i faktoru jsou závislé teploty vody v nádrži a průtoky vody. Snadno vidíme, že hodnoty chyby chladicího výkonu a faktoru jsou větší než hodnoty chyby topného výkonu a faktoru. Během měření ukazuje, že hodnoty topného výkonu i topného faktoru má sinusový průběh, přičemž hodnoty chladicího výkonu i faktoru má tendenci zase klesnout.

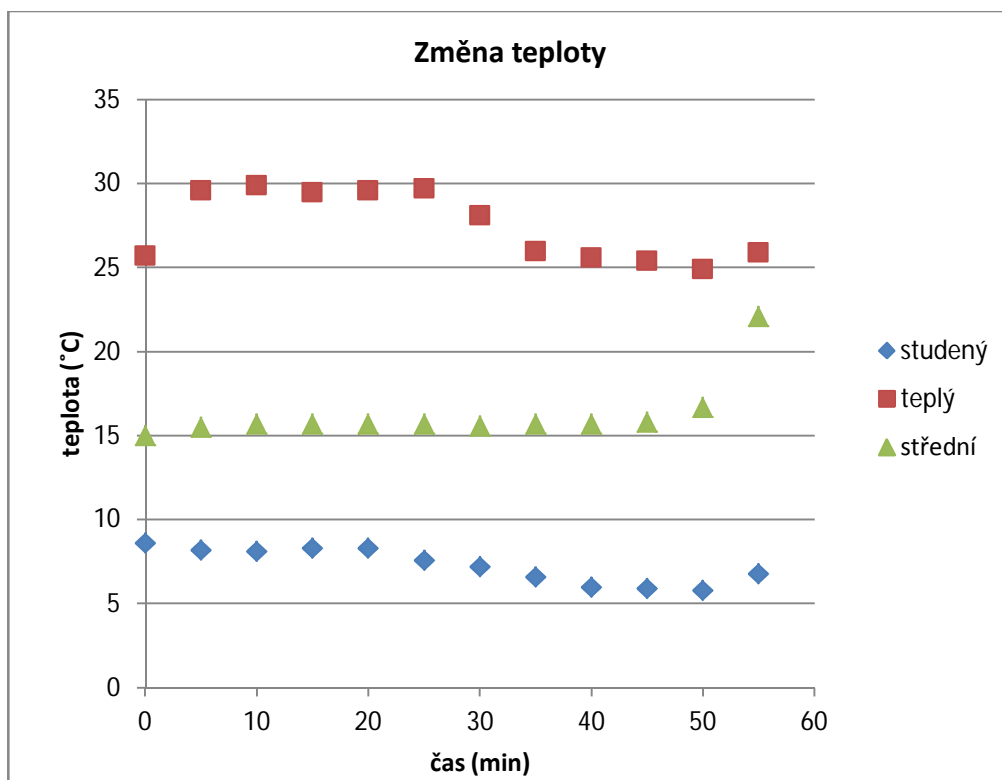
Tabulka 2 : Pracovní oběh tepelného čerpadla o průměrném průtoku vody kondenzátorem

8,05 (l/min) a 7,12 (l/min) výparníkem.

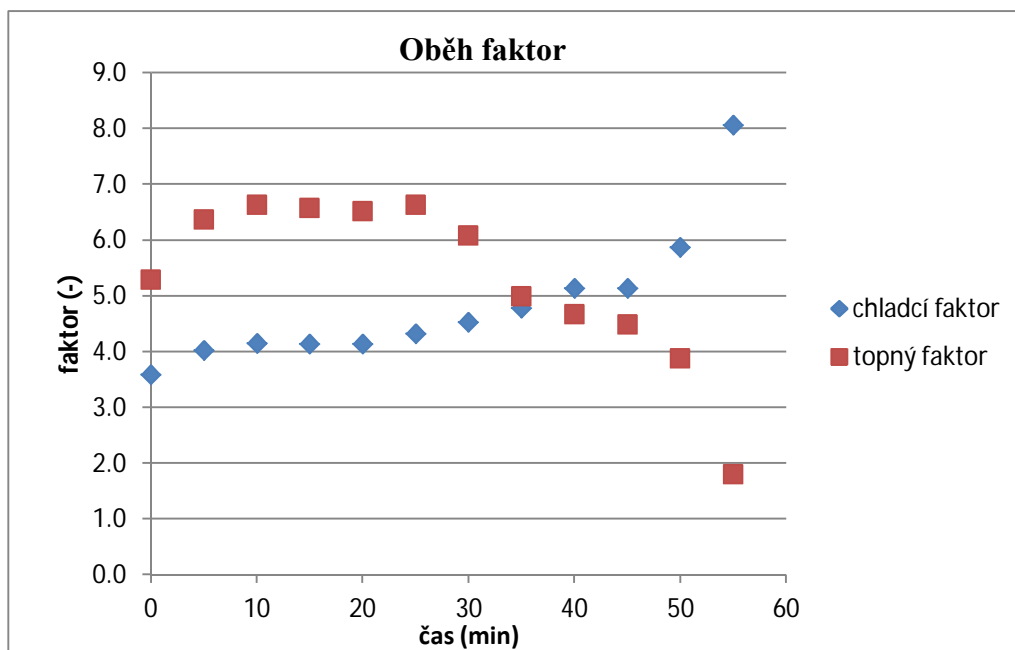
Čas	Vohřev	Vstudená	t _{studená}	t _{střední}	t _{ohřev}	Q _{studená}	Q _{ohřev}	P	P ₀	ε _{ohřev}	ε _{studená}
[min]	[l/min]	[l/min]	[°C]	[°C]	[°C]	[W]	[W]	[W]	[W]	[-]	[-]
0	7.20	8.1	8.6	15	25.7	3607.61	5317.61	1710.01	1006	5.3	3.6
5	6.78	8.2	8	15.5	29.6	4165.73	6598.56	2432.83	1036	6.4	4.0
10	6.98	8.1	8.1	15.7	29.9	4284.03	6841.39	2557.35	1031	6.6	4.2
15	7.12	8.3	8	15.7	29.5	4274.29	6782.03	2507.74	1032	6.6	4.1
20	7.02	8.3	8.3	15.7	29.6	4274.29	6735.23	2460.94	1033	6.5	4.1
25	7.06	7.9	7.6	15.7	29.7	4453.14	6822.34	2369.20	1029	6.6	4.3
30	7.18	7.9	7.2	15.6	28.1	4618.07	6194.91	1576.84	1019	6.1	4.5
35	7.26	7.8	6.6	15.7	26	4939.58	5161.48	221.90	1033	5.0	4.8
40	7.18	8	6	15.7	25.6	5400.28	4906.37	-493.91	1050	4.7	5.1
45	7.18	7.9	5.9	15.8	25.4	5442.73	4757.69	-685.04	1060	4.5	5.1
50	7.24	8.2	5.8	16.7	24.9	6220.06	4097.82	-2122.24	1058	3.9	5.9
55	7.24	8	6.8	22.1	25.9	8517.96	1898.99	-6618.97	1056	1.8	8.1

Výpočtení chyby měření:

čas	δ _{Vohřev}	δ _{Vstudená}	δ _{t_{studená}}	δ _{t_{střední}}	δ _{t_{ohřev}}	δ _{P₀}	δ _{Q_{studená}}	δ _{Q_{ohřev}}	δ _{ε_{ohřev}}	δ _{ε_{studená}}
[min]	[l/min]	[l/min]	[°C]	[°C]	[°C]	[W]	[W]	[W]	[-]	[-]
0	0.36	0.405	0.2	0.2	0.2	322.86	253.02	10.06	0.32	0.25
5	0.339	0.41	0.2	0.2	0.2	330.88	224.36	10.36	0.33	0.22
10	0.349	0.405	0.2	0.2	0.2	322.86	237.79	10.31	0.32	0.24
15	0.356	0.415	0.2	0.2	0.2	339.00	247.43	10.32	0.34	0.25
20	0.351	0.415	0.2	0.2	0.2	339.00	240.52	10.33	0.34	0.24
25	0.353	0.395	0.2	0.2	0.2	307.11	243.27	10.29	0.31	0.24
30	0.359	0.395	0.2	0.2	0.2	307.11	251.61	10.19	0.31	0.25
35	0.363	0.39	0.2	0.2	0.2	299.38	257.25	10.33	0.30	0.26
40	0.359	0.4	0.2	0.2	0.2	314.93	251.61	10.50	0.32	0.25
45	0.359	0.395	0.2	0.2	0.2	307.11	251.61	10.60	0.31	0.25
50	0.362	0.41	0.2	0.2	0.2	330.88	255.84	10.58	0.33	0.26
55	0.362	0.4	0.2	0.2	0.2	314.93	255.84	10.56	0.31	0.26



Graf 5.3 Změna hodnoty teploty oběhu pracovní tepelného čerpadla.



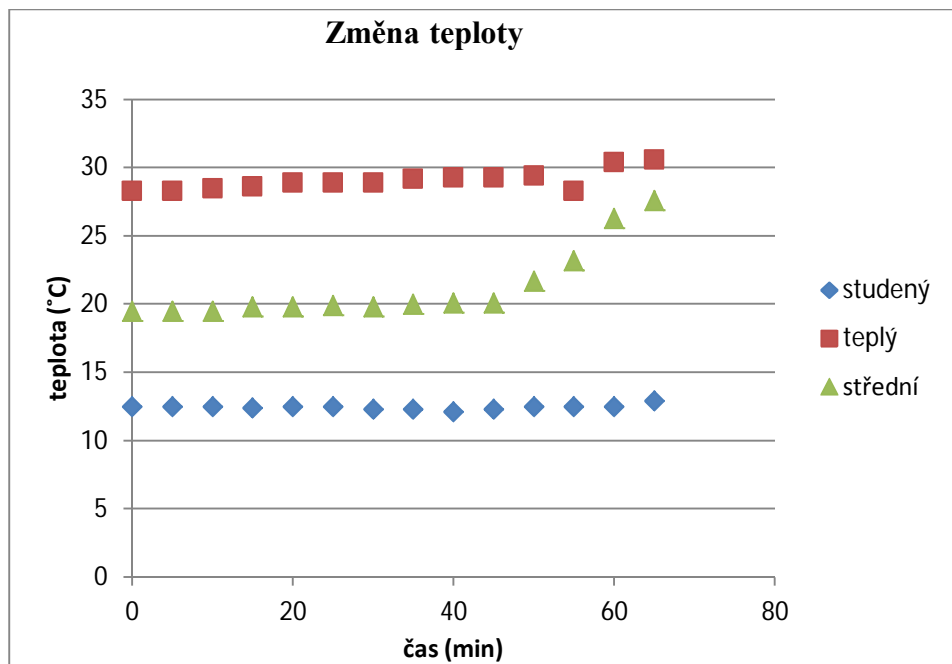
Graf 5.4 Změna topného a chladičného faktoru.

Tabulka 3 : Pracovní oběh tepelného čerpadla o průměrném průtoku vody kondenzátorem
10,33 (l/min) a 9,64 (l/min) výparníkem.

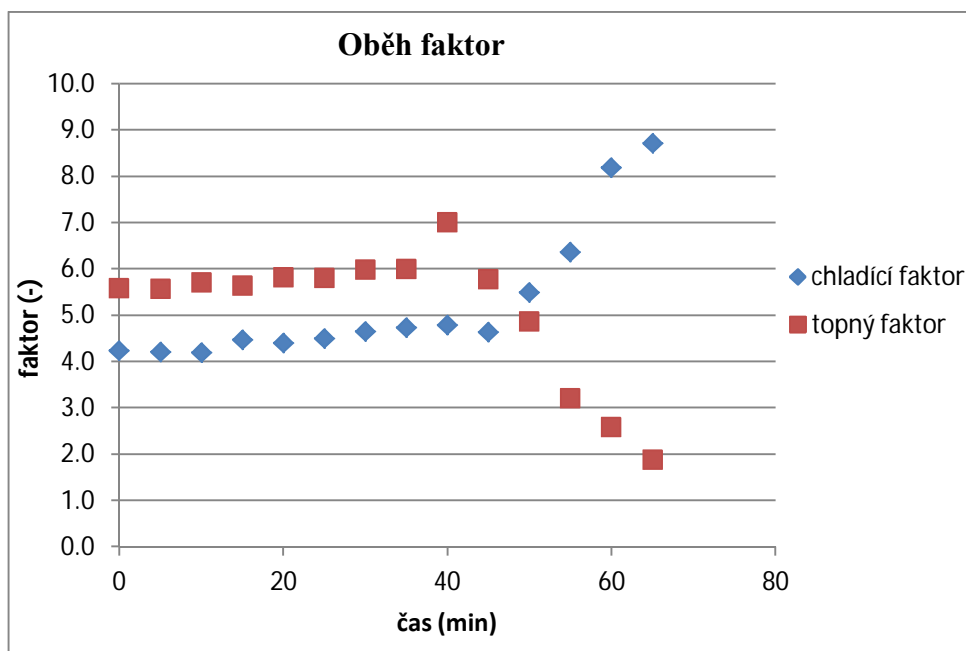
Čas [min]	V _{ohřev} [l/min]	V _{studena} [l/min]	t _{studena} [°C]	t _{střední} [°C]	t _{ohřev} [°C]	Q _{studena} [W]	Q _{ohřev} [W]	P [W]	P ₀ [W]	ε _{ohřev} [-]	ε _{studena} [-]
0	10.1	9.64	12.5	19.5	28.3	5750.59	7204.93	1454.34	1103	6.5	5.2
5	10.13	9.64	12.5	19.5	28.3	5634.22	6290.60	656.38	1110	5.7	5.1
10	10.18	9.63	12.5	19.5	28.5	6041.51	6290.60	249.09	1111	5.7	5.4
15	10.2	9.64	12.4	19.8	28.6	6080.30	6753.86	673.56	1103	6.1	5.5
20	10.22	9.63	12.5	19.8	28.9	5866.96	6449.08	582.12	1106	5.8	5.3
25	10.2	9.63	12.5	19.9	28.9	6099.70	6339.36	239.67	1096	5.8	5.6
30	10.22	9.64	12.3	19.8	28.9	5837.87	6436.89	599.03	1076	6.0	5.4
35	10.24	9.66	12.3	20	29.2	5973.63	6485.66	512.03	1087	6.0	5.5
40	12.23	9.64	12.1	20.1	29.3	5954.24	6461.28	507.04	1113	5.8	5.3
45	10.18	9.64	12.3	20.1	29.3	6012.42	6827.01	814.59	1123	6.1	5.4
50	10.2	9.64	12.5	21.7	29.4	6041.51	6351.56	310.04	1117	5.7	5.4
55	10.2	9.68	12.5	23.2	28.3	5934.84	6217.45	282.61	1126	5.5	5.3
60	10.22	9.64	12.5	26.3	30.4	13334.28	1679.18	-11655.09	1124	1.5	11.9
65	10.22	9.66	12.9	27.6	30.6	12951.92	2626.62	-10325.30	1128	2.3	11.5

Výpočtení chyby měření:

čas [min]	δV _{ohřev} [l/min]	δV _{studena} [l/min]	δt _{studena} [°C]	δt _{střední} [°C]	δt _{ohřev} [°C]	δP ₀ [W]	δQ _{studena} [W]	δQ _{ohřev} [W]	δε _{ohřev} [-]	δε _{studena} [-]
0	0.505	0.482	0.2	0.2	0.2	11.03	324.46	499.64	0.32	0.50
5	0.5065	0.482	0.2	0.2	0.2	11.1	324.46	502.61	0.32	0.50
10	0.509	0.4815	0.2	0.2	0.2	11.11	323.79	507.59	0.32	0.51
15	0.51	0.482	0.2	0.2	0.2	11.03	324.46	509.58	0.32	0.51
20	0.511	0.4815	0.2	0.2	0.2	11.06	323.79	511.58	0.32	0.51
25	0.51	0.4815	0.2	0.2	0.2	10.96	323.79	509.58	0.32	0.51
30	0.511	0.482	0.2	0.2	0.2	10.76	324.46	511.58	0.32	0.51
35	0.512	0.483	0.2	0.2	0.2	10.87	325.81	513.59	0.33	0.51
40	0.6115	0.482	0.2	0.2	0.2	11.13	324.46	732.60	0.32	0.73
45	0.509	0.482	0.2	0.2	0.2	11.23	324.46	507.59	0.32	0.51
50	0.51	0.482	0.2	0.2	0.2	11.17	324.46	509.58	0.32	0.51
55	0.51	0.484	0.2	0.2	0.2	11.26	327.16	509.58	0.33	0.51
60	0.511	0.482	0.2	0.2	0.2	11.24	324.46	511.58	0.32	0.51
65	0.511	0.483	0.2	0.2	0.2	11.28	325.81	511.58	0.33	0.51



Graf 5.5 změna hodnoty teploty oběhu pracovní tepelného čerpadla.



Graf 5.6 Změna topného a chladičího faktoru

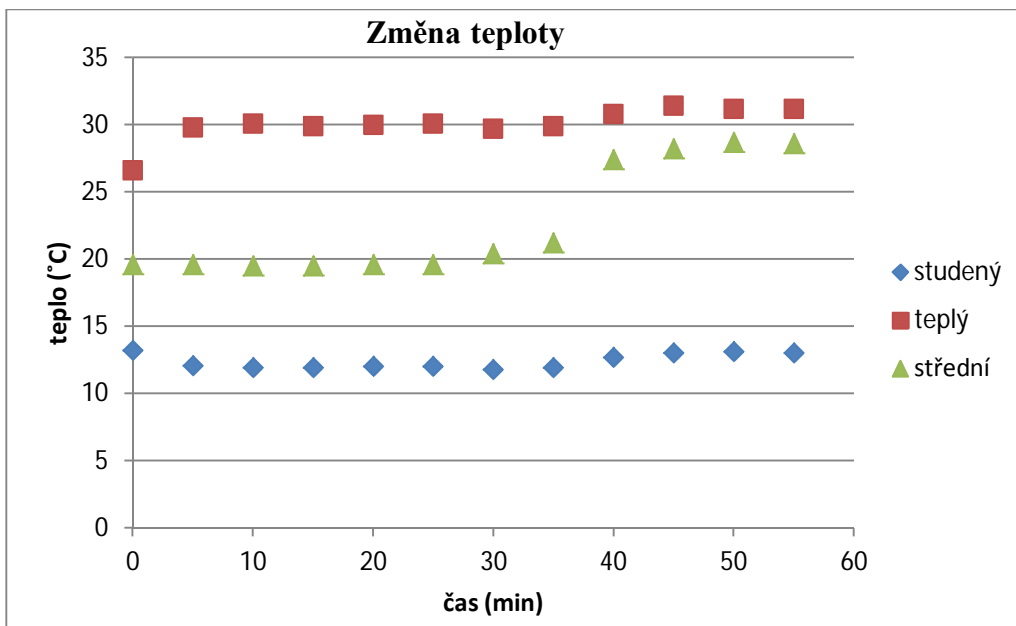
Tabulka 4 : Pracovní oběh tepelného čerpadla o průměrném průtoku vody kondenzátorem

10,17 (l/min) a 9,26 (l/min) výparníkem.

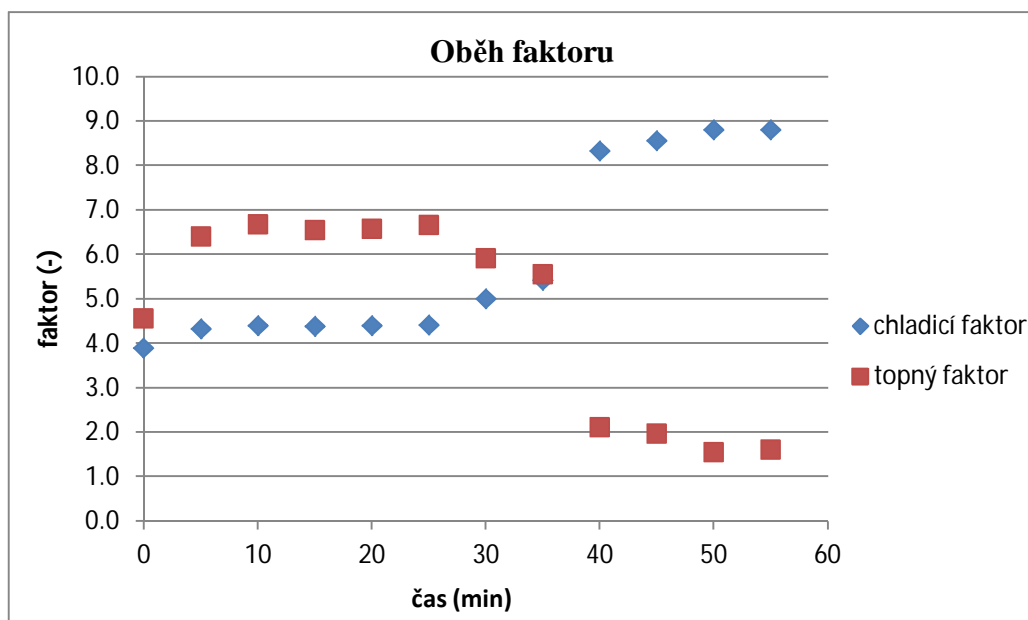
Čas	V _{ohrev}	V _{studena}	t _{studena}	t _{střední}	t _{ohrev}	Q _{studena}	Q _{ohrev}	P	P ₀	ε _{ohrev}	ε _{studena}
[min]	[l/min]	[l/min]	[°C]	[°C]	[°C]	[W]	[W]	[W]	[W]	[-]	[-]
0	10.09	9.34	13.2	19.6	26.6	4174.10	4892.37	718.26	1073	4.6	3.9
5	10.17	9.23	12.05	19.6	29.8	4866.14	7185.40	2319.26	1123	6.4	4.3
10	10.2	9.3	11.9	19.5	30.1	4935.52	7489.21	2553.69	1123	6.7	4.4
15	10.18	9.27	11.9	19.5	29.9	4919.60	7333.49	2413.90	1121	6.5	4.4
20	10.19	9.26	12	19.6	30	4914.29	7340.70	2426.41	1116	6.6	4.4
25	10.18	9.24	12	19.6	30.1	4903.67	7404.01	2500.33	1111	6.7	4.4
30	10.19	9.26	11.8	20.4	29.7	5560.91	6564.28	1003.37	1111	5.9	5.0
35	10.19	9.25	11.9	21.2	29.9	6007.04	6140.77	133.73	1107	5.5	5.4
40	10.2	9.27	12.7	27.4	30.8	9515.53	2402.20	-7113.34	1142	2.1	8.3
45	10.15	9.25	13	28.2	31.4	9817.96	2249.81	-7568.15	1146	2.0	8.6
50	10.19	9.27	13.1	28.7	31.2	10098.12	1764.59	-8333.53	1146	1.5	8.8
55	10.17	9.27	13	28.6	31.2	10098.12	1831.57	-8266.55	1146	1.6	8.8

Výpočtení chyby měření:

čas	δ _{V_{ohrev}}	δ _{V_{studena}}	δ _{t_{studena}}	δ _{t_{střední}}	δ _{t_{ohrev}}	δ _{P₀}	δ _{Q_{studena}}	δ _{Q_{ohrev}}	δ _{ε_{ohrev}}	δ _{ε_{studena}}
[min]	[l/min]	[l/min]	[°C]	[°C]	[°C]	[W]	[W]	[W]	[-]	[-]
0	0.57	0.47	0.2	0.2	0.2	10.73	429.01	558.49	0.56	0.43
5	0.57	0.46	0.2	0.2	0.2	11.23	418.97	567.38	0.57	0.42
10	0.57	0.47	0.2	0.2	0.2	11.23	425.34	570.73	0.57	0.43
15	0.57	0.46	0.2	0.2	0.2	11.21	422.60	568.50	0.57	0.42
20	0.57	0.46	0.2	0.2	0.2	11.16	421.69	569.61	0.57	0.42
25	0.57	0.46	0.2	0.2	0.2	11.11	419.87	568.50	0.57	0.42
30	0.57	0.46	0.2	0.2	0.2	11.11	421.69	569.61	0.57	0.42
35	0.57	0.46	0.2	0.2	0.2	11.07	420.78	569.61	0.57	0.42
40	0.57	0.46	0.2	0.2	0.2	11.42	422.60	570.73	0.57	0.42
45	0.57	0.46	0.2	0.2	0.2	11.46	420.78	565.15	0.57	0.42
50	0.57	0.46	0.2	0.2	0.2	11.46	422.60	569.61	0.57	0.42
55	0.57	0.46	0.2	0.2	0.2	11.46	422.60	567.38	0.57	0.42



Graf 5.7 Změna hodnoty teploty oběhu pracovní tepelného čerpadla.



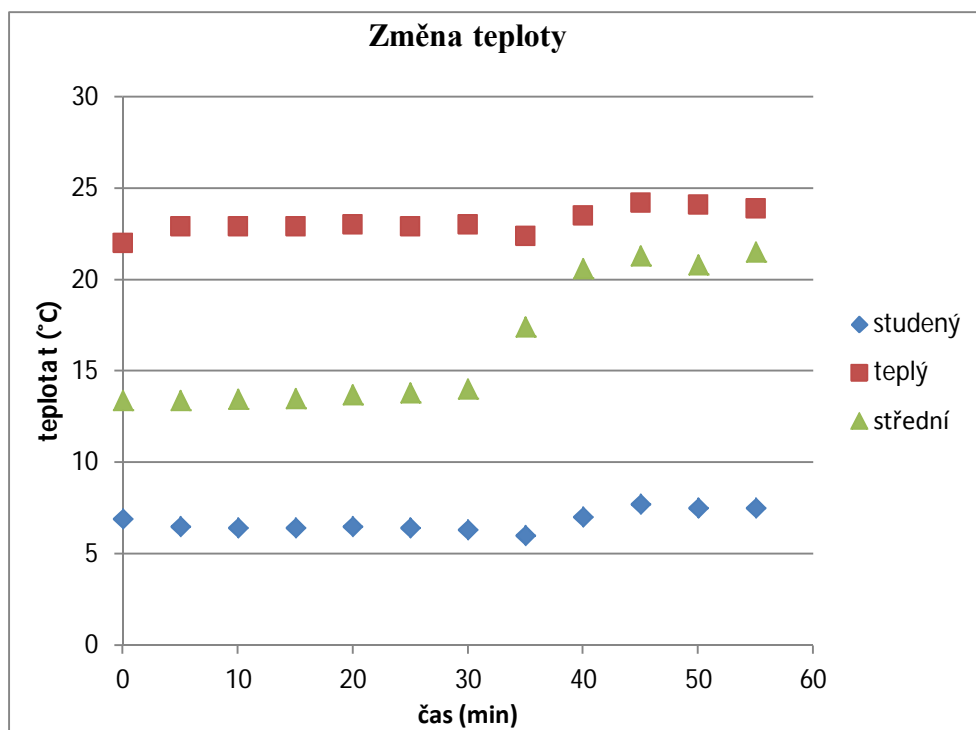
Graf 5.8 změna topného a chladičího faktoru.

Tabulka 5 : Pracovní oběh tepelného čerpadla o průměrném průtoku vody kondenzátorem
9,91 (l/min) a 9,73 (l/min) výparníkem.

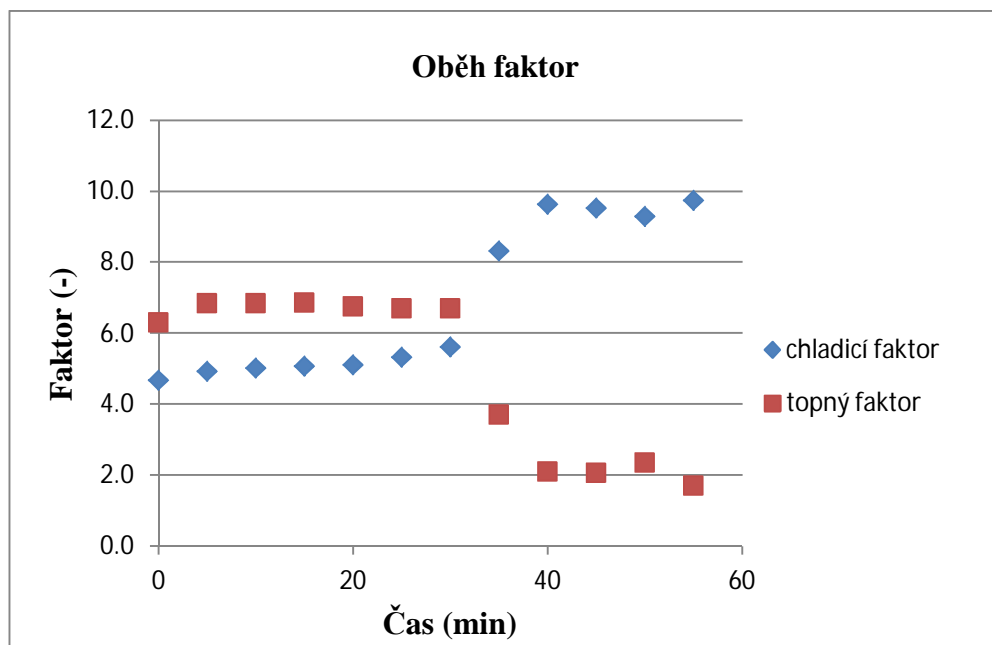
Čas [min]	V _{ohřev} [l/min]	V _{studena} [l/min]	t _{studena} [°C]	t _{střední} [°C]	t _{ohřev} [°C]	Q _{studena} [W]	Q _{ohřev} [W]	P [W]	P ₀ [W]	ε _{ohřev} [-]	ε _{studena} [-]
0	9.9	9.72	6.9	13.4	22	4396.77	5924.99	1528.22	941	6.3	4.7
5	9.85	9.78	6.5	13.4	22.9	4696.15	6511.99	1815.84	952	6.8	4.9
10	9.89	9.73	6.4	13.45	22.9	4773.71	6504.03	1730.32	951	6.8	5.0
15	9.93	9.75	6.4	13.5	22.9	4817.45	6495.78	1678.33	948	6.9	5.1
20	9.91	9.7	6.5	13.7	23	4860.25	6413.73	1553.48	950	6.8	5.1
25	9.92	9.7	6.4	13.8	22.9	4995.25	6282.13	1286.88	939	6.7	5.3
30	9.93	9.73	6.3	14	23	5213.84	6219.36	1005.52	928	6.7	5.6
35	9.89	9.72	6	17.4	22.4	7711.26	3441.28	-4269.98	927	3.7	8.3
40	9.95	9.75	7	20.6	23.5	9227.79	2008.05	-7219.74	958	2.1	9.6
45	9.92	9.78	7.7	21.3	24.2	9256.18	2002.00	-7254.18	972	2.1	9.5
50	9.93	9.73	7.5	20.8	24.1	9005.72	2280.43	-6725.29	969	2.4	9.3
55	9.92	9.75	7.5	21.5	23.9	9499.20	1656.83	-7842.37	975	1.7	9.7

Výpočet chyby měření:

čas [min]	δV _{ohřev} [l/min]	δV _{studena} [l/min]	δt _{studena} [°C]	δt _{střední} [°C]	δt _{ohřev} [°C]	δP ₀ [W]	δQ _{studena} [W]	δQ _{ohřev} [W]	δε _{ohřev} [-]	δε _{studena} [-]
0	0.495	0.486	0.2	0.2	0.2	9.41	466.50	482.29	0.48	0.47
5	0.493	0.489	0.2	0.2	0.2	9.52	472.28	477.43	0.48	0.47
10	0.495	0.487	0.2	0.2	0.2	9.51	467.46	481.32	0.48	0.47
15	0.497	0.488	0.2	0.2	0.2	9.48	469.39	485.22	0.49	0.47
20	0.496	0.485	0.2	0.2	0.2	9.5	464.58	483.27	0.48	0.46
25	0.496	0.485	0.2	0.2	0.2	9.39	464.58	484.24	0.48	0.46
30	0.497	0.487	0.2	0.2	0.2	9.28	467.46	485.22	0.49	0.47
35	0.495	0.486	0.2	0.2	0.2	9.27	466.50	481.32	0.48	0.47
40	0.498	0.488	0.2	0.2	0.2	9.58	469.39	487.18	0.49	0.47
45	0.496	0.489	0.2	0.2	0.2	9.72	472.28	484.24	0.48	0.47
50	0.497	0.487	0.2	0.2	0.2	9.69	467.46	485.22	0.49	0.47
55	0.496	0.488	0.2	0.2	0.2	9.75	469.39	484.24	0.48	0.47



Graf 5.9 Změna hodnoty teploty oběhu pracovní tepelného čerpadla



Graf 5.10 Změna topného a chladicího faktoru

6. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo měření charakteristik tepelného čerpadla voda – voda. Proces měření tepelného čerpadla se provádí v laboratoři KEZ, od února do května 2015.

Proces měření jsme provedli celkem pětkrát. Rozdílem každého měření se vyznačuje v různých teplotách a průtocích. Při každém měření jsme napustili vodu do kumulačního zásobníku dokud se nezaplnil vodou. Po měření jsme vypustili vodu z kumulačního zásobníku. Proces měření začne v okamžiku, kdy se rovnoměrně smíchá teplá a studená voda v nádrži čerpadla. Sledovali jsme změnu teploty a průtoku vody podle času díky zařízení DEWETRON 5000 a průtokoměru. Proces měření probíhá až do doby, kdy se tepelná hodnota ve středním okruhu přiblíží hodnotě v teplém okruhu. Poté je proces ukončen.

Výsledek měření je vyjádřen pomocí grafu, který zobrazuje změny teploty a výkonu v průběhu času. Po pětkrát měření se provádí v různých teploty a průtoky, bylo zajištěno, že celkové výsledky každého opatření byly podobné, to můžeme pozorovat v grafu každého měření. Po celkově pětkrát teplý faktor čerpadla se kolísal v intervalu 1.5 – 6.9 a studený faktor byl v intervalu 1,7 – 11,5.

Nejlépeší výsledky měření charakteristiky čerpadla dosáhl 2. měření (8,05 l/min teplý faktor a 7,12 l/min studený faktor) a 3. měření (10,33 l/min teplý faktor a 9,64 l/min studený faktor), ve kterém udává vyhodnotit chybou faktoru a naopak nějhoroší výsledky bylo 1., 4. a 5. měření.

Seznam použité literatury :

- [1] Informace tepelného čerpadla. Dostupné z zdroje <http://www.tzb-info.cz/953-tepelna-cerpadla-pro-kazdeho-i>
- [2] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Sest. V.Velička, redaktor Jarmila Baumová. První vydání. Praha : Grand Publishing a.s., 2009. 112 s. ISBN 978-80-247-27202.
- [3] Kostečka Group s.r.o [online]. c2008 [cit. 2010-05-30]. Princip tepelných čerpadel. Dostupné z WWW: <http://www.kostecka.net/tepelna-cerpadla/princip-tepelnych-cerpadel>.
- [4] EkoWatt [online]. c2008 [cit. 2010-05-30]. Obnovitelné zdroje energie. Dostupné z WWW: http://www.ekowatt.cz/obrazky/infostranky/prostredi_09.jpg.
- [5] Tepelné čerpadlo země-voda. Dostupné z <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-plocha>.
- [6] Tepelné čerpadlo země-voda. Dostupné z <http://www.buderus.cz/produkty/tepelna-cerpadla/obecne-tepelna-cerpadla/zeme-voda.html>.
- [7] Obraz princip tepelne cerpadlo zeme-voda. Dostupne z <http://www.mvb.cz/obsah/img/2015/01/tepelne-cerpadlo-zeme-voda-kolektor.jpg>
- [8] Tepelne cerpadlo vzduch-voda. dostupne z <http://www.revel-pex.com/tepelna-cerpadla-vzduch-voda/>
- [9] Tepelne cerpadlo vzduch-voda. dostupne z <http://www.regulus.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-voda>
- [10] Obraz princip tepelne cerpadlovzduch-voda. Dostupne z <http://www.revel-pex.com/media/images/tepelne-cerpadlo-princip-big.png>
- [11] Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch. Dostupné z <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-vzduch>
- [12] Obraz Tepelného čerpadla vzduch-vzduch. Dostupné z http://www.kostecka.net/wp-content/uploads/01_vzduch-voda.jpg
- [13] Tepelné čerpadlo voda-voda. Dostupné z <http://www.ekobonus.cz/tepelne-cerpadlo-voda-voda-dobra-volba-vyzadujici-specificke-prirodni-podminky-odebrano>.
- [14] Tepelné čerpadlo voda-voda. Dostupné z <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-voda-voda>
- [15] Obraz tepelného čerpadla voda-voda. Dostupné z <http://www.mvb.cz/obsah/img/2015/01/tepelne-cerpadlo-voda-voda.jpg>

- [16] Aplikace tepelného čerpadl. Dostupné z <http://www.geotek.cz/tepelna-čerpadla/tepelna-čerpadla-prumyslova.htm>
- [17] Aplikace tepelného čerpadl. Dostupné z <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/aplikace>
- [18] almemo 2290-3 Wattmetr DW 609. Dostupné z zdroje <http://eshop.micronix.cz/data/cz/att/002/3844-1626.pdf>
- [20] Přístroj DEWE-5000. Dostupné z zdroje [file:///C:/Users/TAY/Downloads/dewetron_function-generator_e%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/TAY/Downloads/dewetron_function-generator_e%20(1).pdf).
- [21] kompresor tepelného čerpadla, typ Model ZR22K3E-TFD-522, typ chladivo R407C. Dostupné z zdroje : <http://www.vorczech.cz/kompresor-copeland-scroll-zr22k3e-tfd-522-r22-r407c-380-420-v/d-3197/>
- [22] Topný faktor tepelného čerpadla. Dostupné z <http://www.roznovskastredni.cz/dwnl/pe12007/15/Kukuczka.pdf>
- [25] ŽERAVÍK Antonín, Stavíme tepelné čerpadlo: návratnost i za jeden rok , Přerov, EUROPRINT 2003, 311s, ISBN 80-239-0275-X