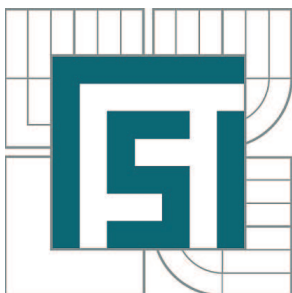


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

MĚŘENÍ PROVOZU TEPELNÉHO ČERPADLA VZDUCH-VODA ZA REÁLNÝCH PODMÍNEK

MONITORING OF THE PERFORMANCE OF AN AIR-TO-WATER HEAT PUMP UNDER REAL
OPERATING CONDITIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ ELGER

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL CHARVÁT, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Elger Jiří

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Měření provozu tepelného čerpadla vzduch-voda za reálných podmínek

v anglickém jazyce:

Monitoring of the performance of an air-to-water heat pump under real operating conditions

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tepelná čerpadla vzduch-voda jsou velmi rozšířeným typem tepelných čerpadel, a jsou používána jak pro vytápění budov, tak pro ohřev teplé vody. Teplota venkovního vzduchu, který je zdrojem tepla u většiny těchto čerpadel, se v průběhu roku značně mění. To má dopad na tepelný výkon tepelného čerpadla i na hodnotu jeho topného faktoru. Tepelná ztráta budovy narůstá s klesající venkovní teplotou, zatímco tepelný výkon tepelného čerpadla vzduch-voda s klesající venkovní teplotou klesá. Tepelný výkon a topný faktor tepelného čerpadla voda-vzduch je tedy nejnižší v době největší potřeby tepla pro vytápění.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je provést rešerši provozních charakteristik tepelných čerpadel vzduch-voda (především závislosti tepelného výkonu a topného faktoru na teplotě vzduchu) a provést monitorování a následné vyhodnocení provozu jednoho takového tepelného čerpadla za reálných provozních podmínek.

Seznam odborné literatury:

Časopis Větrání, Vytápění, Instalace. ISSN 1210-1389

ČSN EN 15450 Tepelné soustavy v budovách - Navrhování otopných soustav s tepelnými čerpadly.

ČSN EN 15316-4-2 Tepelné soustavy v budovách - Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy - Část 4-2: Výroba tepla na vytápění, tepelná čerpadla.

ČSN EN 1861 Chladicí zařízení a tepelná čerpadla - Schémata okruhů zařízení a schémata potrubí a přístrojů - Uspořádání a značky.

Technická data od výrobců tepelných čerpadel.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Charvát, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 23.11.2009



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

**LICENČNÍ SMLOUVA SE POUZE
VKLADÁ
NENÍ SOUČÁSTÍ TEXTU**

ABSTRAKT

Bakalářská práce na téma „Měření provozu tepelného čerpadla vzduch-voda za reálných podmínek“ se zabývá vyhodnocením provozu tepelného čerpadla v rodinném domě s následným zjištěním závislosti topného faktoru a tepelného výkonu na teplotě vzduchu. První část je věnovaná teorii tepelných čerpadel, jejich rozdělení a vysvětlení základních pojmů. Dále jsou porovnány výkonové charakteristiky a topný faktor různých výrobců tepelných čerpadel. V druhé části je popsán způsob měření reálného tepelného čerpadla, které je použito v rodinném domě, použité měřicí přístroje a měřicí postupy. V třetí části jsou naměřené hodnoty vyneseny do grafů a je provedené vyhodnocení naměřených veličin a tepelné čerpadlo je zkontrolováno z hlediska vhodnosti použití.

ABSTRACT

The Bachelor's thesis on „Monitoring of the performance of an air-to-water heat pump under real operating conditions“ deals with the evaluation of a heat pump operation in a family house with a subsequent finding of the dependence of the heating factor and thermal performance on air temperature. The first part is dedicated to the theory of heat pumps, their categorization and explanation of the basic concepts. Next, we compare the performance characteristics and the coefficient of performance of heat pumps from different manufacturers. In the second part we describe measurements of a real heat pump which is used in a family house, the measuring instruments used, and particular measuring procedures. The third part shows the measured values plotted on charts, the measured values are analyzed, and the heat pump is checked for its suitability.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tepelné čerpadlo, vytápění, vzduch-voda, topný faktor, nízkopotenciální teplo

KEYWORDS

Heat pump, heating, air-to-water, coefficient of performance, low-temperature heat

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ELGER, J. *Měření provozu tepelného čerpadla vzduch-voda za reálných podmínek.*
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 40 s.
Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Charvát, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Měření provozu tepelného čerpadla vzduch-voda za reálných podmínek vypracoval samostatně s použitím svých znalostí, odborných konzultací, doporučené literatury a pramenů uvedených v seznamu.

V Brně, dne.....Podpis.....

Jiří Elger

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Pavlu Charvátovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

1 ÚVOD.....	12
2 SEZNÁMENÍ S TEPELNÝM ČERPADLEM.....	13
2.1 Princip funkce.....	13
2.2 Technický popis tepelného čerpadla.....	13
2.3 Rozdělení a princip značení tepelných čerpadel.....	14
2.3.1 Země-voda.....	14
2.3.2 Voda-voda.....	15
2.3.3 Vzduch-voda.....	15
2.3.4 Vzduch-vzduch.....	16
2.4 Výhody a nevýhody tepelného čerpadla vzduch- voda.....	17
2.5 Porovnání parametrů tepelných čerpadel vzduch-voda různých výrobců.....	17
3 ÚDAJE O DOMĚ.....	19
3.1 Údaje o rodinném domě.....	19
3.2 Údaje o umístění tepelného čerpadla.....	20
4 POPIS MĚŘENÉHO ČERPADLA A MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ.....	22
4.1 Popis řešení skutečného tepelného čerpadla ve Vizovicích.....	22
4.2 Technické údaje tepelného čerpadla.....	22
4.2.1 Popis tepelného čerpadla od výrobce a konfigurace tepelného čerpadla....	22
4.2.2 Technické specifikace výrobce.....	23
5 ZPŮSOBY MĚŘENÍ.....	24
5.1 Měření teploty.....	25
5.1.2 Technické údaje loggeru S0110E.....	25
5.1.3 Klimatická data.....	26
6 MĚŘENÍ ODBĚRU ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	28
6.1 Technické údaje elektroměru DBL 23000.....	28
6.2 Elektrická odběrová data.....	29
7 VYHODNOCENÍ SPOTŘEBY.....	31
7.1 Zjištění bodu bivalence.....	31
7.2 Výpočet potřeby tepla pro vytápění	32
7.3 Topný faktor	32
7.3.1 Definice topného faktoru.....	32
8 VYHODNOCENÍ FINANČNÍCH NÁKLADŮ PROVOZU TEPELNÉHO ČERPADLA.....	35
9 ZÁVĚR.....	36
9.1 Hodnocení měření.....	36

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	38
11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	39
12 SEZNAM PŘÍLOH.....	40

1 ÚVOD

Tepelná čerpadla představují moderní alternativu vytápění rodinného domu. Teprve reálný provoz za reálných podmínek může prokázat vhodnost použití tohoto způsobu vytápění. Ne každý výrobce totiž dosahuje hodnot uváděných technických parametrů. Nejsprávnějším a nejobektivnějším hodnocením čerpadla je vlastní měření provozu.

Cílem bakalářské práce je v první části provést rešerži provozních charakteristik tepelných čerpadel vzduch–voda (především závislosti tepelného výkonu a topného faktoru na teplotě vzduchu) a popsat problémy s výběrem vhodného tepelného čerpadla. Dále porovnáme pracovní charakteristiky čtyř světových výrobců tepelných čerpadel vzduch–voda (Daikin, Fujitsu, Mitsubishi a Thermia Atria) a v druhé části provedeme reálné měření a vyhodnocení již instalovaného tepelného čerpadla firmy Thermia Atria v rodinném domu ve Vizovicích.

Měření tohoto domu bylo provedeno v období měsíců únor až duben tohoto roku. Výsledkem této práce bude také porovnání naměřených hodnot s údaji výrobce tepelného čerpadla a vyhodnocení použití tohoto konkrétního typu pro daný rodinný dům.

2 TEPELNÉ ČERPADLO OBECNĚ

Tepelná čerpadla (TČ) patří k alternativním zdrojům energie. TČ mají schopnost převzít nízkopotenciální teplo (NPT) z okolního prostředí jako je vzduch, země nebo voda a převést ho na vyšší teplotní úroveň a účelně využít pro ohřev teplé užitkové vody (TUV) a vytápění. Většinou se skládá z vnitřní a venkovní části. Vnitřní jednotka se dá kvůli podobnosti lehce splést s plynovým kotlem nebo ohřívačem vody. Není náročná na umístění a velikost prostoru a její funkcí je zajištění předání tepla do topného systému. Venkovní část naopak odebírá nízkopotencionální teplo z okolního zdroje (voda, země a vzduch). ^[12,13]

2.1 Princip funkce

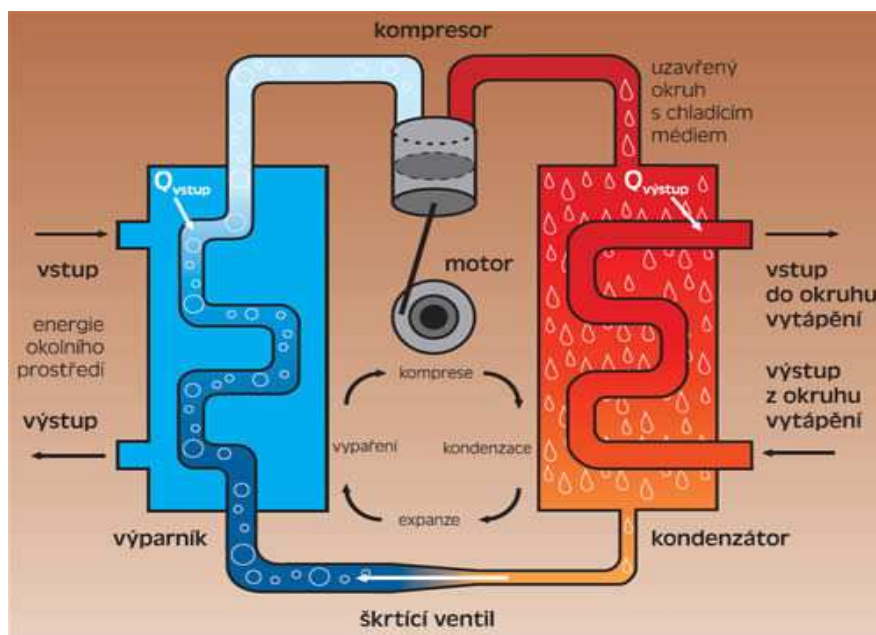
První myšlenku principu tepelného čerpadla měl již v 19. století anglický fyzik - lord Kelvin, když formuloval svojí druhou větu termodynamiky, která říká, že teplo se šíří vždy ve směru od teplejší ke studenější části, jejíž princip tepelné čerpadlo využívá. Sestrojeno ale bylo zcela náhodou, když Robert C. Weber prováděl pokusy s nízkými teplotami. Údajně si omylem popálil dlaň, když se dotkl výstupního potrubí mrazicího stroje. To ho přivedlo na nápad použít toto teplo pro vytápění svého domu ^[13].

V principu se jedná o chladicí zařízení (stejně jako známá lednička), ale využíváme jej jako zdroj tepla. Protože ve vodě, vzduchu i zemi je obsaženo nesmírné množství tepla, ale nízká teplotní hladina nám neumožní ho použít na přímé vytápění nebo ohřev vody, musíme ho převést na teplotu vyšší. Vodní čerpadlo umožňuje přečerpávat vodu z nižší hladiny na vyšší, TČ funguje podobně, jen přečerpává teplo na vyšší hladinu. Zjednodušeně lze 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 (vzduchu, země, vody). ^[12]

2.2 Technický princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo obsahuje čtyři základní části chladicího okruhu: výparník, kompresor, škrtící ventil a kondenzátor. ^[8]

- výparník: NPT se přivádí do výparníku z okolního prostředí. Dodané teplo způsobí, že chladivo se začne vypařovat a páry chladiva se stanou nositelem tepelné energie, kterou převádějí do kompresoru. ^[8]
- kompresor: nasaje páry z výparníku, které stlačí a vytlačí do kondenzátoru. Práce kterou kompresor použije na pohon se přemění na teplo, které se přičítá k teplu přivedenému ve výparníku. ^[8]
- kondenzátor: energie přivedená do kondenzátoru párami chladiva z výparníku a kompresoru se převádí do sekundárního okruhu TČ, kde cirkuluje topné médium, které se tímto přivedeným teplem ohřívá ^[6]
- škrtící ventil: vstřikuje do výparníku kapalné chladivo, které v kondenzátoru při vyšším tlaku zkondenzovalo, aby se zde opět při nižším tlaku vypařilo. ^[6]



Obr. 1.1 Princip funkce tepelného čerpadla ^[4]

2.3 Rozdělení a princip značení tepelných čerpadel

Způsob označování TČ je dvěma slovy, první slovo nám říká odkud bereme teplo a druhé slovo určuje teplosměnné médium. Teplosměnné médium může být například vzduch nebo voda. Různé typy TČ jsou například země-voda, voda-voda, vzduch-voda a vzduch-vzduch. ^[7] Nyní si tyto typy podrobněji popíšem.

2.3.1 Země-voda

Řešení tohoto systému u nás je nejčastější v podobě vrtů nebo umístěnými kolektory v zemi. Z vrtu se odebírá teplo. Ve vrtu jsou zasunuty plastové nebo měděné sondy. Ty jsou naplněné nemrznoucí směsí, která přenáší teplo mezi zemí a TČ. Pro lepší vodivost tepla je vrt vyplněný suspenzí cementu a bentonitu. Výhodou je opět vysoký topný faktor a nezávislost na okolní teplotě. Drahé pořizovací ceny jsou velkou nevýhodou tohoto systému. Vrt má hloubku od 50 až do 120m a musí být schválen. Každých 30m hloubky roste teplota země o 1°C, takže se zde vyplatí vyvrtat větší vrt, než několik menších. Pro 1 kW tepelného výkonu je zde potřeba 15m hluboký vrt. ^[11]

Dalším řešením tohoto systému je odběr tepla z plochy zahrady. V tomto případě jsou zakopané plastové hadice v metrové hloubce, které obsahují nemrznoucí směs pro přenos tepla mezi zemí a TČ. Nejedná se ale o geotermální teplo, ale čerpá se naakumulované teplo ze slunce, okolního vzduchu a deště. Tímto je tepelný tok od zdroje omezen. Pro potřeby tohoto systému je nutná velká zahrada bez stromů. Výhodou je zase velký topný faktor a nižší náklady než u vrtů. Pro 1 kW tepelného výkonu je potřeba cca 42m² plochy zemního kolektoru. Výsledná rozloha je pak pro rodinný dům přibližně kolem 300 až 600 m². ^[11]

2.3.2 Voda-voda

V České republice je tento systém těžko dostupný kvůli potřebě velkého množství vody a problémům spojeným se získáním povolení od správce vodní lokality (jezera, rybníky, nádrže, řeky a další) odkud chceme teplo čerpat. Řešení nabízí způsob použití dvou studen nebo vrtů. Z první studny se vyčerpává spodní voda do TČ, tam se ochladí a vrací se do druhé studny kde se vsákne zpět do země. Výhodou tohoto systému je vysoký topný faktor a nízké pořizovací náklady, nevýhodou systému je častá výměna filtrů a vysoká poruchovost. Další podmínky tohoto systému je vyhovující chemický rozbor vody a teplota vody alespoň 7°C. Také musí studna vydávat alespoň 0,5 l/s. Pro 1kW tepelného výkonu je potřeba 150 l vody za hodinu. Studně musí být také dostatečně daleko od sebe, aby se vrty neovlivňovaly.^[11]

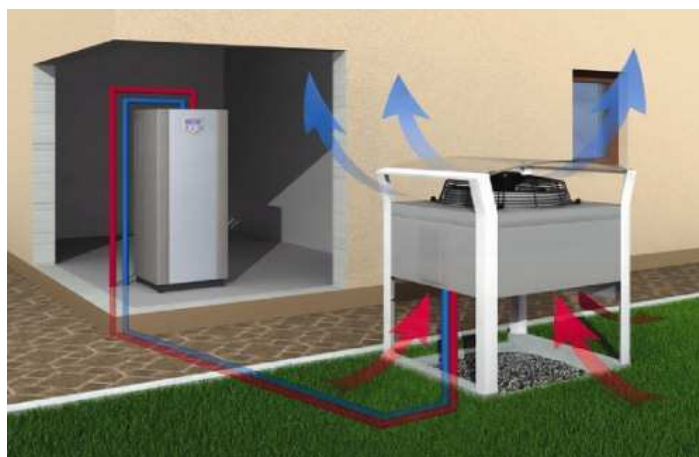
Další způsob použití je čerpat teplo z volné vodní plochy. Pod vodou položíme hadice se závaží a napustíme nemrznoucí směsí, která přenáší teplo mezi vodou a TČ. Výhodou je opět vysoký topný faktor a nižší náklady než u vrtu. Nevýhodou je snadné poškození hadice, takže se nedoporučuje v krajích s velkým rizikem záplav. Pro rozložení hadic je vyžadována plocha o rozloze 150 až 350 m². Pro 1kW tepelného výkonu je zde potřeba 310 l vody za hodinu. V zimě nesmí zdroj vody zamrznout.^[11]

2.3.3 Vzduch-voda

U nás jsou pro TČ vzduch-voda ideální klimatické podmínky. K schopnosti úsporně vytápět i při venkovní teplotě až -25°C a vzhledem k průměrné teplotě vzduchu během topné sezóny, která je minimálně +3°C je jejich průměrný výkon stejný jak u systému země-voda, jejíž technická realizace je mnohem náročnější a pro investora podstatně dražší. Vzduch je jako zdroj tepla nejdostupnější, prakticky neomezený a z ekologického hlediska nejvýhodnější. Teplo, které odebíráme ze vzduchu, vracíme zpátky tepelnými ztrátami objektu. Tyto TČ tedy nenarušují teplotní rovnováhu okolí jako TČ země-voda.^[5]

Výhodou tohoto systému je snadná instalace a velká univerzálnost. Toto TČ lze namontovat prakticky na jakoukoliv stavbu. Další výhodou jsou nižší pořizovací náklady. Nevýhodou tohoto systému je, že výkon se mění s teplotou venkovního vzduchu, tedy vzrůstá-li teplota venkovního vzduchu, roste i výkon tepelného čerpadla a naopak. Z tohoto důvodu jsou TČ vzduch-voda výhradně provozována v bivalentním provozu, to znamená že pod bod bivalence přepíná doplňkový zdroj tepla (zpravidla elektrokotel) a tepelnou pohodu zajišťují oba zdroje současně.^[13]

TČ vzduch-voda se vyskytuje buď v kompletním provedení (celé TČ může stát venku nebo uvnitř objektu), nebo se skládá z dvou jednotek a to venkovní a vnitřní. Venkovní jednotka nasává vzduch a je většinou umístěna na jižní části domu nebo na střeše, vnitřní jednotka zajišťuje ohřev TUV a topného systému. Existují také vzduchová TČ vnitřního provedení. Tady je nutné propojit jednotku vhodným vzduchotechnickým potrubím přes obvodovou zeď s vnějším prostředím k zajištění přívodu a odvodu využívaného venkovního vzduchu. Množství vzduchu, který protéká je řádově tisíce m³/h.^[13]



Obr. 1.2 Schéma tepelného čerpadla vzduch-voda ^[3]

2.3.4 Vzduch-vzduch

Systémy vzduch/vzduch jsou na stejném principu jako čerpadla vzduch-voda, jen s malým rozdílem, že tepelný výkon předávají vnitřnímu vzduchu objektu. V současné době se na trhu objevují jen malá nástěnná tepelná čerpadla pracující na tomto principu. Jsou vhodná do objektů s požadavkem teploty po většinu topné sezóny – chaty. Můžeme je také použít v malém bytě, ale je třeba mít na paměti, že je vytápěna především místnost, kde je tepelné čerpadlo nainstalováno, a do prostor za zavřenými dveřmi se teplo dostává obtížněji. ^[13]

2.4 Výhody a nevýhody tepelného čerpadla vzduch-voda

Výhody tepelného čerpadla jsou :

- snadná instalace, provoz, opravy
- nízká pořizovací cena (v porovnání s ostatními druhy tepelných čerpadel)
- možný celoroční provoz s efektivním využitím pro přípravu teplé užitkové vody (TUV)
- možnost využití i pro chlazení
- nenarušuje teplotní rovnováhu okolí

Nevýhody tepelného čerpadla jsou :

- nižší topný faktor (COP) (v porovnání s ostatními druhy tepelných čerpadel)
- Tento nižší topný faktor je především dán nutností funkce odmrazování výměníků kondenzátorů, které vzniká při určitých stavech vzduchu (vysoká relativní vlhkost, nízká teplota vzduchu)
- hluk ventilátorů kondenzačních jednotek
- ve většině případů nutnost doplnění tepelného čerpadla pro chod při velmi nízkých

teplotách dodatečným zdrojem tepla (většinou topné elektrické topné tělesa) - mluvíme o monoenergetickém provozu

- chladný vzduch z kondenzátoru má tendenci hromadit se u země – nutnost správného umístění kondenzátoru

2.5 Porovnání parametrů tepelných čerpadel vzduch-voda různých výrobců

Pro porovnání charakteristik jsme vybrali typy s podobnými výkony. Obecně se TČ hodnotí dle norem organizace Eurovent. Od roku 1994 organizuje Eurovent certifikaci tepelných čerpadel. Dodavatelé tepelných čerpadel, kteří tento certifikát na výrobek získali, pak výkon tepelných čerpadel, respektive koeficient COP (poměr mezi tepelným výkonem a příkonem), udávají za pevně stanovených podmínek, které garantují uvedené výkonové údaje tepelného čerpadla – např. A7W35 nebo A7W50. Písmeno určuje teplotu nosnou látku: A – vzduch, W – voda, B – nemrznoucí směs, číslice její teplotu ve °C. Je-li tedy výkon udán při podmínkách A7W35, vztahuje se na tepelné čerpadlo vzduch/voda při teplotě vzduchu 7°C a teplotě výstupní otopné vody 35°C.

Problém pro porovnání pak ale vzniká, když některé firmy uvedou hodnotu např. : A7W35 a jiné A2W35. Kvalitní firmy udávají výkon i COP svých čerpadel při různých hodnotách.

Tabulka 2.1 Porovnání výkonových charakteristik TČ

Porovnání výkonových charakteristik TČ odobných výkonů od různých výrobců				
	FUJITSU	DAIKIN ALTHERMA	ZUBA DAN	THERMIA ATRIA
Vnitřní jednotka	ATW24	EKHBX008AA		10
Venkovní jednotka	AOY 24 L	ERHQ008AD	PUHZ-HRP71VHA2	
Výkon TČ jmenovitý	8,813	8,43	8,00	8,2
Za podmínek EUROVENT	A7W35	A7(6)W35	A7W35	A2W35
COP	3,61	4,05	4,4	2,8
Teplota výstupní vody max.	55	50	60	55
El.napájení	230V/50Hz	230V/50Hz	230V/50Hz	400V/50Hz
El.příkon	2,5 kW	2,08 kW	1,82 kW	2,4 kW

Z uvedené tabulky je zřejmé, že podmínky měření Eurovent pro čerpadlo Thermia - Atria (A2W35) jsou zcela jiné, než podmínky u ostatních druhů (A7W35). Od výrobce Thermia se nám nepodařilo sehnat jiné parametry měření (pro tento druh TČ). Tento problém při výběru může nastat i u jiných výrobců. Obecně ale platí, že čím kvalitnější výrobce – tím více podkladů o TČ se dá zjistit.

Z uvedené tabulky (po vyloučení TČ Thermia – Atria) vychází nejlépe TČ ZUBA DAN od firmy MITSUBISI. Toto čerpadlo – dle podkladů výrobce – dosahuje COP až 4,4 – to znamená, že z 1 kW elektrické energie dokáže vyrobit až 4,4 kW tepla (Pro Eurovent A7W35).

Při výběru TČ narazíme na problém, že se z jedné hodnoty nedá zjistit, jak se mění koeficient COP v závislosti na venkovní teplotě. Proto někteří výrobci udávají graf COP v závislosti na venkovní teplotě nebo aspoň hodnoty jmenovitého výkonu a COP pro různé podmínky Eurovent.

Obvyklé jsou hodnoty : A -15W35, A -7W35, A -2W35, A2W35, A7W35, A7W45.

3 ÚDAJE O DOMĚ

3.1 Údaje o rodinném domě

Pro naše měření byl vybrán dvoupodlažní samostatně stojící rodinný dům (obr. 3.1), s obytnou plochou 243,37 m², který se nachází v lokalitě Vizovice na ulici Nad Stadiónem v nadmořské výšce 310 m nad mořem. Jedná se o novostavbu se sedlovou střechou. Dům je částečně podsklepený s plochou sklepu 57,3 m² (dvougaráž, dílna, technická místnost s tepelným čerpadlem). V přízemí domu se nachází obývací pokoj s částečně odděleným kuchyňským koutem, pracovnou, ložnicí rodičů, šatnou a WC.

V prvním nadzemním podlaží je situován dětský pokoj, šatna, WC a zatím nevyužívaný zateplený půdní prostor. Dům trvale obývají tři osoby.

Obytný dům je vytápěn klasickými radiátory, které jsou ale počítány na nízko potenciální teplo, takže výpočtový tepelný spád topné vody je 55 °C / 35 °C. Hlavní dveře – výstup na terasu jsou ještě vytápěny podlahovým fancoilem bez ventilátoru na stejný tepelný spád.

Pro přípravu TUV je použit boiler o objemu 180 l, který je součástí tepelného čerpadla Thermia Atria a je jím také ohříván.

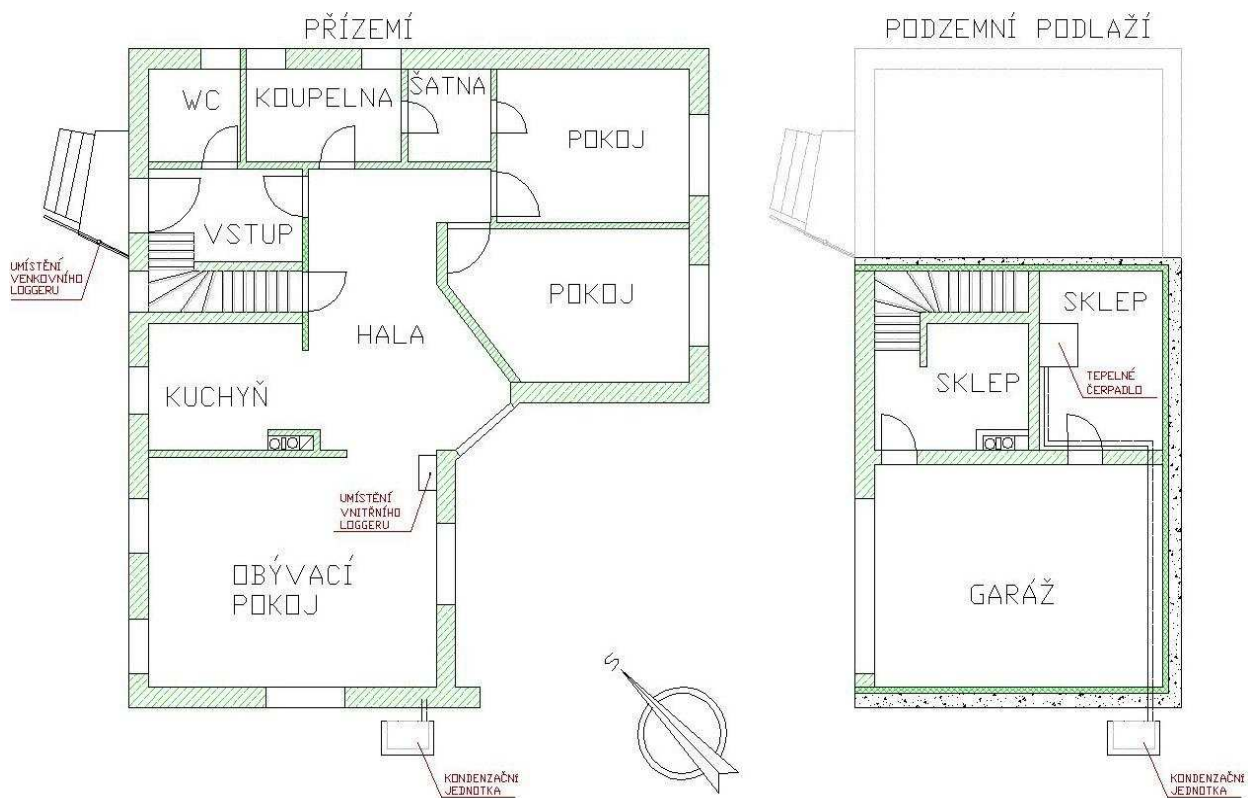


Obrázek 3.1: Měřený rodinný dům

Výpočet tepelné ztráty tohoto objektu není součástí této bakalářské práce a jeho hodnota byla přebrána z projektové dokumentaci pro stavební povolení a byla vypočítána dle ČSN 06 02 10 projektantem Jiřím Pawlusem na 13 kW.

3.2 Údaje o umístění tepelného čerpadla

Pro vytápění rodinného domu je použito tepelné čerpadlo Thermia Atria, které je umístěno v podsklepené části rodinného domu (obr. 3.4), kondenzační jednotka je umístěna u jihozápadní fasády domu (obr. 3.3). Tepelné čerpadlo, kondenzační jednotka vnitřní a venkovní logger (obr. 3.5) pro měření teploty jsou znázorněny na zjednodušeném půdorysu rodinného domu (obr. 3.2).



Obrázek 3.2: Zjednodušený půdorys rodinného domu s popisy místností



Obrázek 3.3: Umístění kondenzační jednotky



Obrázek 3.4: Pohled na tepelné čerpadlo Thermia Atria



Obrázek 3.5: Umístění vnitřního a venkovního loggeru

4 POPIS MĚŘENÉHO ČERPADLA A MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ

4.1 Popis řešení skutečného tepelného čerpadla ve Vizovicích

Na základě vypočítaných tepelných ztrát objektu a výpočtu spotřeby TUV bylo projektantem topení navrženo tepelné čerpadlo Thermia Atria 12.

4.2 Technické údaje tepelného čerpadla

Švédská společnost Thermia byla roku 1923 založena průmyslníkem Per Anderssonem a dnes patří mezi nejvýznamnější výrobce TČ na světě. První TČ bylo vyrobeno již v roce 1973. Thermia sídlí ve městě Arvika, které je v jihozápadní části Švédska ve vzdálenosti cca 400 km od Stockholmu. Ročně vyprodukuje řádově desítky tisíc kusů TČ a proto jsou lídrem trhu s tepelnými čerpadly v severských státech jako Norsko, Estonsko, Lotyšsko a ve státech Švédsko, Finsko, Litva, Irsko a Velká Británie patří mezi tři nejvýznamnější dodavatele. ^[9]

4.2.1 Popis tepelného čerpadla od výrobce a konfigurace tepelného čerpadla při měření

Thermia Atria je druh TČ, který získává energii z venkovního vzduchu. Od jiných vzduchových čerpadel se ale liší umístěním důležitých součástí do jednotky v domě, které pak nejsou vystaveny vlivu větru a počasí. Takhle vlastnost nám zajišťuje spolehlivý provoz a zvýšenou životnost. Jednotka kompresoru je umístěna ve vnitřní jednotce, kondenzace chladiva probíhá přes výměník – freon – etylenglykol. Tento okruh nemrznoucí kapaliny je vyveden do venkovní kondenzační jednotky. Výrobce udává, že TČ je tak účinné, že můžeme snížit náklady na vytápění až o tři čtvrtiny. Teplá voda je také ohřívána rychleji s menší spotřebou energie, díky technologii TWS Thermia, než poskytují jiná zařízení na trhu. ^[10]

Toto řešení má tyto výhody:

- chladicí freónový okruh je velmi krátký a je součástí tepelného čerpadla. Okruh je tedy již z výroby natlakován – minimální možnost úniku chladiva
- kompresor je umístěn uvnitř budovy – zmenšení vlivu povětrnostních podmínek a snížení hluku vnější jednotky
- pro správný chod TČ má být teplota $\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$, což umožňuje chod do venkovní teploty -20°C

Tak jak je obvyklé u těchto typů TČ se při nižších teplotách spouští přídavné elektrické topení, které má pět výkonostních stupňů a to 3 kW, 5kW, 9kW, 12kW a 15kW. Při měření měli majitelé zablokováno spouštění přídavného topení 12 kW a 15 kW. Tyto přídavné stupně se ovšem dají spustit i při celkové poruše např. kompresoru nebo kondenzační jednotky. Pak TČ funguje jako běžný elektrokotel o výkonu 15 kW (do opravy TČ). Dále byla nastavena funkce pravidelného přehřátí zásobníku TUV – ničení choroboplodných zárodků. Tato funkce se spouští automaticky po uplynutí specifikované doby chodu kompresoru, který slouží k ohřevu TUV. Tato funkce bohužel ovlivnila naše měření, ale majitelé nebyli ochotni tuto funkci vypnout.

4.2.2 Technická specifikace výrobce

Tepelné čerpadlo Thermia AD12

Tabulka 4.1: Technické údaje od výrobce

Velikost	12
Ekologické chladivo - R404A	1,6 kg
Napájení	3 x 400 V
Přídavný elektrokotel	3 / 6 / 9 / 12 / 15 kW
Topný výkon TČ*	9,8 kW
COP*	3
Příkon kompresoru*	4,4 kW
Nejnižší teplota startu kompresoru	-20°C
Maximální a minimální výstupní teplota vody	55/20
Startovací proud	32 A
Jistič s elektrokotlem 3 kW	16 A
Jistič s elektrokotlem 6 kW	20 A
Jistič s elektrokotlem 9 kW	25 A
Jistič s elektrokotlem 12 kW	25 A
Jistič s elektrokotlem 15 kW	25 A
Vzduchový výkon ventilátoru kondenzátoru	2500/3900 m ³ /h
Akustický tlak (1m)	42/55 dB(A)
Vodní obsah boileru TUV	180 l
Nemrznoucí kapalina	Ethylen glycol
Maximální vzdálenost mezi venkovní a vnitřní jednotkou	60m (30+30)
Hmotnost vnitřní jednotky Atria (s boilerem)	268 kg
Hmotnost venkovní jednotky vzduchového TČ	80 kg

Vysvětlivky :

* - Testováno dle EN14511 při teplotě venkovního vzduchu +2°C a teplotě topné vody +35°C.

5 ZPŮSOBY MĚŘENÍ

Pro měření teploty byly pořízeny dva data loggery typu S0110E pro měření vnitřní a venkovní teploty (obr 3.5). Které byly nastaveny, aby zaznamenávaly teplotu každých 15 minut. Výsledná data se průběžně (měsíčně) přes USB port stahovala do netbooku, ukládala do formátu excel a vyhodnocovala.

Elektrický odběr tepelného čerpadla se odečítal z elektroměru DELTA plus s kódovým označením DBL 23000 (obr. 6.1). Odečet se prováděl manuálně jedenkrát denně ve večerních hodinách a zaznamenával do tabulky v excelu. Dále se odečítaly hodiny chodu jednotlivých částí tepelného čerpadla - ze zobrazovacího displeje (obr. 5.1).

Snímaly se hodnoty:

- vlastní chod tepelného čerpadla (hod.)
- chod I. stupně ohřevu (hod.)
- chod II. stupně ohřevu (hod.)
- chod III. stupně ohřevu (hod.)
- chod kompresoru pro ohřev TUV (hod.)



Obrázek 5.1: Displej na tepelném čerpadle

Z uvedených hodnot se vypočtem zjistily odběry elektrické energie (kW) pro jednotlivé chody. Tyto elektrické odběry byly zaznamenány do dvou grafů a to v průběhu měřeného období a v závislosti na rozdílu teplot (venkovní, vnitřní) a venkovní teplotě.

5.1 Měření teploty

Venkovní minimum $t_{\min} = -16,4^{\circ}\text{C}$ bylo 1. 2. 2010 v 5:15:00 a venkovní maximum $t_{\max} = 26,7^{\circ}\text{C}$ bylo 24. 3. 2010 v 16:30:00. Průměrná teplota uvnitř budovy byla vypočítána o hodnotě $t_{\text{stř}} = 23,5^{\circ}\text{C}$. Průměrná venkovní teplota vně budovy byla vypočítána o hodnotě $t_{\text{stř}} = 3,4^{\circ}\text{C}$.

5.1.2 Technické údaje loggeru S0110E

Přístroj se používá k měření okolní teploty. K tomu slouží měřící senzor, který je pevnou součástí přístroje. Naměřené hodnoty se ukládají do vnitřní, energeticky nezávislé paměti v nastavitelném časovém intervalu. Ovládání a nastavování záznamníku můžeme provádět pomocí počítače a můžeme je chránit heslem. ^[2]

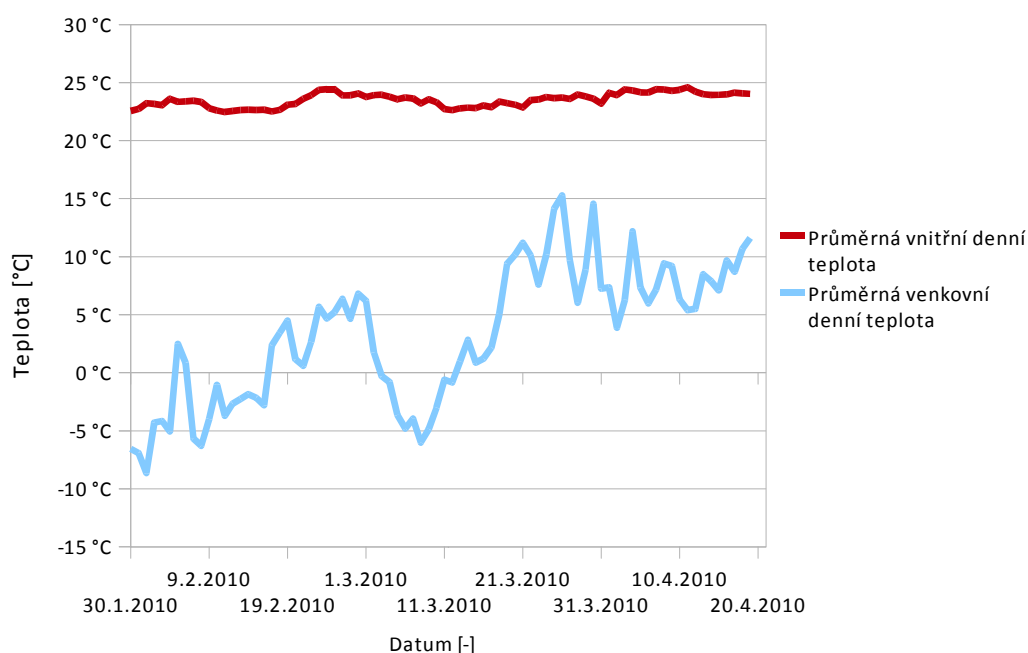
S0110E je ekonomický teploměr s vnitřním čidlem, rozsahem měření od -30°C do $+70^{\circ}\text{C}$ a s přesností měření: $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$ od -30°C do $+30^{\circ}\text{C}$ a $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$ od $+30^{\circ}\text{C}$ do $+70^{\circ}\text{C}$. Interval ukládání naměřených hodnot do paměti je možno nastavit od 10 sekund do 24 hodin. Celková kapacita paměti je 32504 hodnot pro necyklický záznam a 28 896 pro cyklický. Typy záznamu jsou cyklický (po zaplnění se hodnoty přepisují) a necyklický (po zaplnění skončí měření). ^[2]



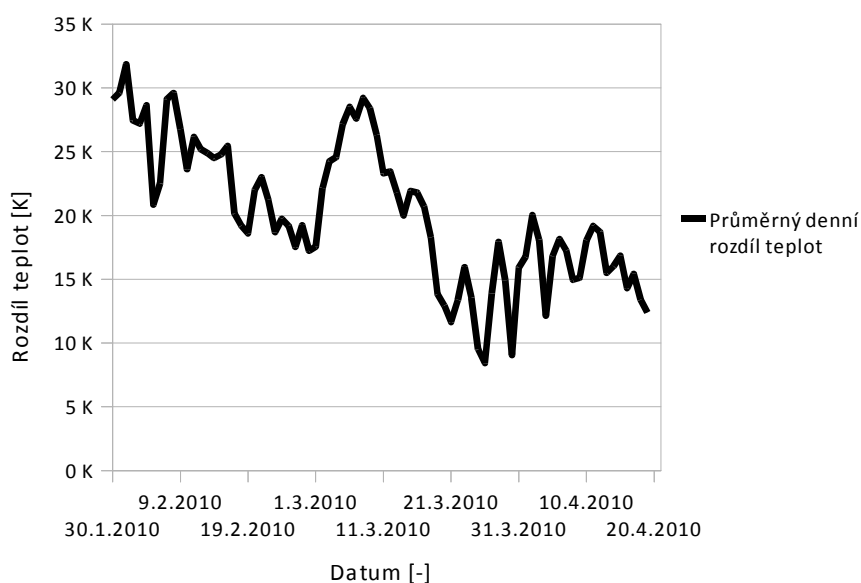
Obrázek 5.2: Logger S0110E

5.1.3. Klimatická data

Měření probíhalo v období od 30. 1. 2010 do 20. 4. 2010. Na obr. 5.1 je zobrazen graf průběhu vnitřní a venkovní průměrné denní teploty. Ta byla počítána jako aritmetický průměr všech 96 denních měření (každých 15 minut). Z těchto hodnot vznikl další graf (obr. 5.2), jako rozdíl vnější a vnitřní průměrné denní teploty.

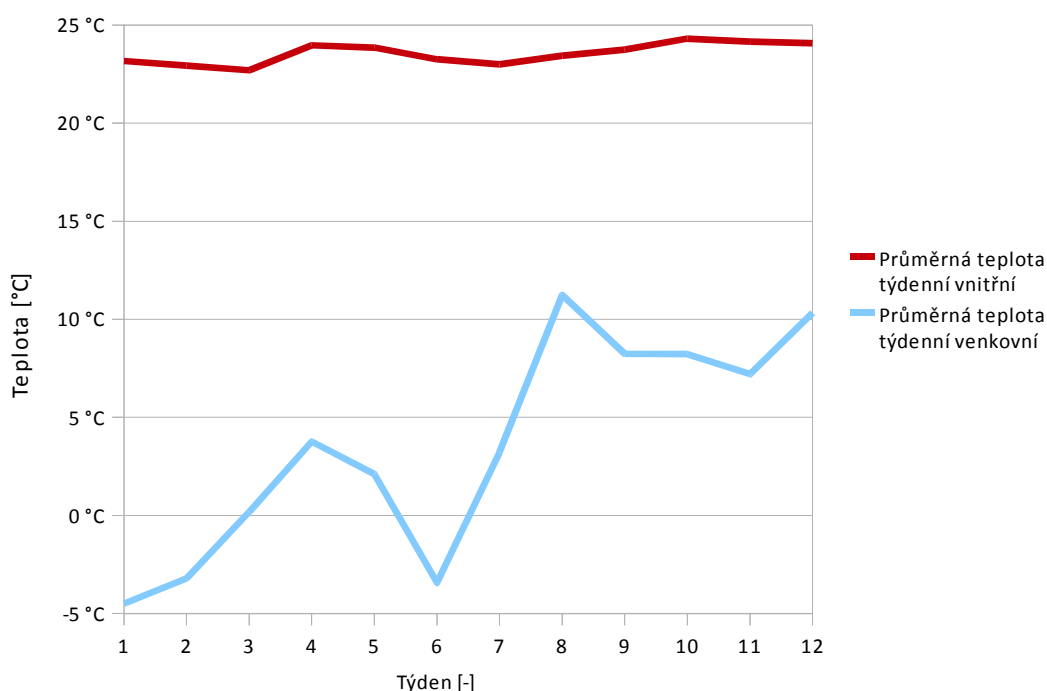


Obrázek 5.1: Graf průběhu vnitřní a venkovní teploty

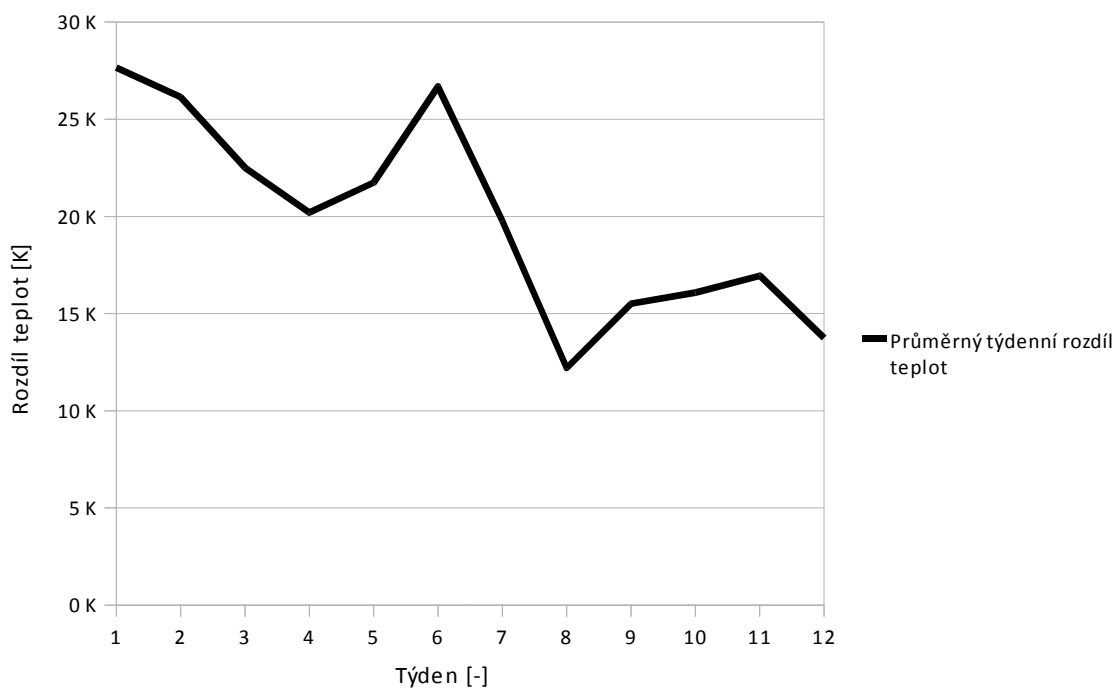


Obrázek 5.2: Graf průběhu rozdílu teplot

Vzhledem k tomu, že obytný dům je ovlivňován nejenom tepelnými ztrátami objektu, ale také jinými chybami, bylo provedené zprůměrování těchto teplot i po týdenních cyklech, aby byly minimalizovány chyby způsobené osluněním, větráním, provozem krbu a dalšími faktory. Na (obr. 5.3) je zobrazen průběh vnitřní a venkovní průměrné týdenní teploty po jednotlivých týdnech. A opět vyhotoven graf rozdílu teplot (obr. 5.4).



Obrázek 5.3: Graf průběhu vnitřní a venkovní týdenní teploty



Obrázek 5.4: Graf průběhu rozdílu teplot týdenní teploty

6 MĚŘENÍ ODBĚRU ELEKTRICKÉ ENERGIE

Pro měření odběru elektrické energie byl použit elektronický elektroměr DELTA plus DBL 23000, který se používá v distribučních rozvaděčích nebo malých skříňových rozvaděčích. Má snadný odečet díky LCD zobrazovací jednotce s výškou znaků 7 mm a několika symboly. ^[1]

6.1 Technické údaje elektroměru DBL 23000

K měření odběru elektrické energie byl použit elektroměr firmy ABB typ Delta plus DBL 23000. Jedná se o:

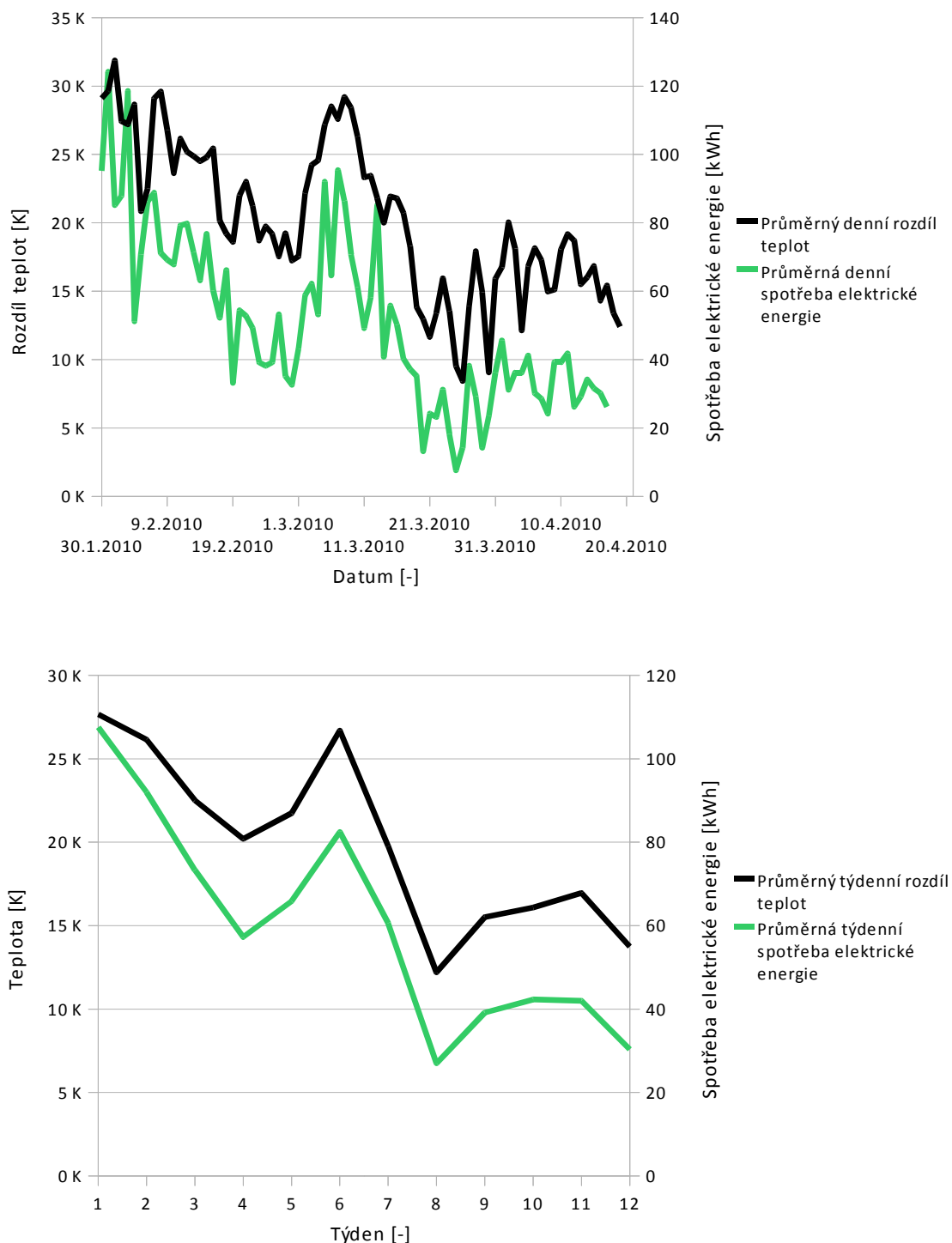
- standardní provedení
- měření: činný výkon (přímé připojení elektroměru)
- komunikace: LON-bus
- přesnost: třída 2
- napětí: 3x57 až 288V/100 – 500 V
- tarif: jeden
- Měřený proud: 80 A
- provozní teplota -40°C až +50°C
- displej: 7- místní
- počítadlo přerušení dodávky síťového napájení ^[1]



Obrázek 6.1: Elektroměr DELTA Plus DBL 23000

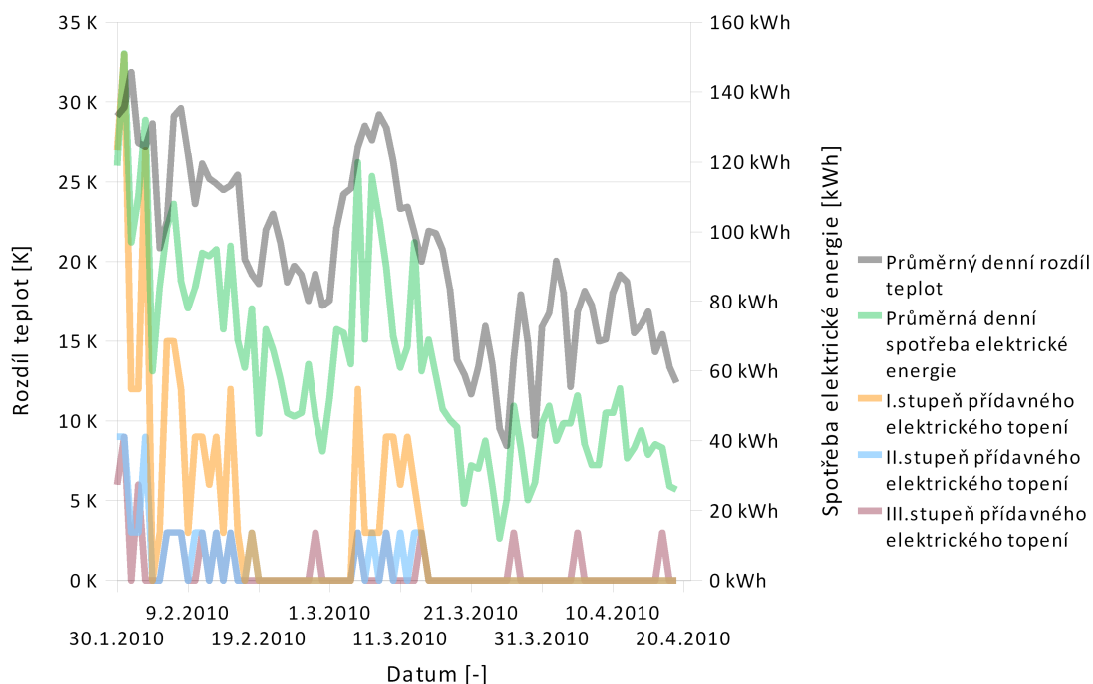
6.2 Elektrická odběrová data

Z uvedených grafů (obr. 6.2, obr. 6.3) je zřejmé, že TČ poměrně přesně kopíruje svým odběrem rozdíl teplot vnějšího a vnitřního teploměru. Vzhledem k tomu, že teplota interiéru je více méně konstantní, můžeme konstatovat, že tepelné čerpadlo svým odběrem sleduje venkovní teplotu.



Obrázek 6.3 Graf rozdílu teplot týdenních a týdenních elektrických odběrů

V dalším obrázku (obr.6.4) znázorněn odběr TČ v průběhu měřeného období. Jsou zde přidány průběhy připínání I.,II., a III. elektrického stupně. Z grafu je kromě připínání jednotlivých stupňů také zřetelně vidět pravidelné připínání třetího stupně ohřevu – vyhřívání zásobníku TUV (ničení choroboplodných zárodků).



Obrázek 6.4 Graf odběru elektrické energie s připínáním jednotlivých stupňů elektroohřevu

7 VYHODNOCENÍ SPOTŘEBY

7.1 Zjištění bodu bivalence

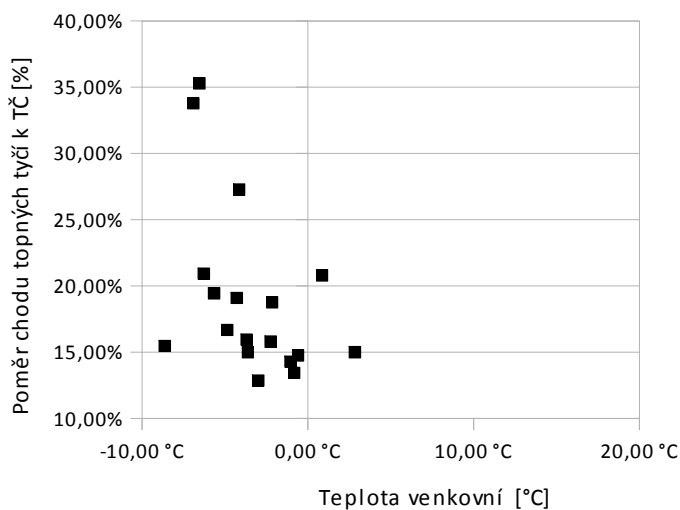
Naší snahou je prokázat hospodárnost provozu TČ a zjistit bod bivalence (Bod bivalence je hodnota teploty, do které je požadovaný topný výkon plně pokrýván tepelným čerpadlem). Nad bodem bivalence je připojen i jiný zdroj vytápění než TČ – v našem případě topné tyče. Dle odborné literatury „Atherma by Daikin“ by měl bod bivalence pokrýt 90% roční potřeby vytápění. My však nebudeme měřit tepelné čerpadlo celý rok.

Další literatura „prospektové materiály ZUBADAN – Mitsubishi“ doporučuje dimenzovat velikost tepelného čerpadla tak, aby tepelný výkon při podmínkách A7/W35 (teplota vzduchu 7°C, topná voda 35°C) pokrýval celkovou tepelnou ztrátu objektu na 100 až 130 procent. Bod bivalence se pak pohybuje v rozpětí cca -3 až -8 °C (dle výkonu a typu otopné soustavy). Takto navržený systém zajistí, že z celkového množství energie dodá bivalentní (provozně drahý) zdroj pouze cca do 5% tepla a zbytek je pokryt tepelným čerpadlem.

Někteří výrobci doporučují tedy 5% a někteří 10% (to odpovídá teplotě bodu bivalence v rozmezí od -8 °C do -2 °C).

Komplikací našeho měření jsou i skutečnosti, že tepelné čerpadlo slouží taktéž k ohřevu TUV (tato skutečnost se dá odpočtem na TČ eliminovat) a druhá, že se tato TUV u tohoto čerpadla používá k odmrazování kondenzátoru (tuto skutečnost nelze odpočtem eliminovat, neboť závisí nejenom na teplotě, ale i na vlhkosti vzduchu, slunečním svitu, rychlosti větru). Proto budeme v některých našich grafech uvádět křivku odběru kompresoru s ohřevem TUV, tak křivku kompresoru bez ohřevu TUV.

Protože ale nemáme k dispozici okamžité elektrické příkony pro odpovídající teploty, tak jsme se rozhodli porovnat poměr odběru topných tyčí (za 24 hod) k odběru celkové spotřebované elektrické energie (za 24 hod) v závislosti na venkovní teplotě. Pak vezmeme v úvahu všechny hodnoty nad 10% a zjišťujeme teplotu bivalentního bodu.



Obrázek 7.1 Poměr bivalentních zdrojů k závislosti na venkovní teplotě

Z grafu nám vychází bivalentní bod v rozmezí mezi -8 °C do 0 °C, což je sice trochu výše, než je doporučená hodnota, ale k zhotovení grafu jsme měli pouze 28 měření - počet dní, kdy byly v provozu topné tyče. Také je nutno zvážit, že se jedná o průměrnou denní teplotu (za 24 hod).

7.2 Výpočet potřeby tepla pro vytápění

Vytápěcí denostupně

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad (7.1)$$

d - délka topného období [dny]

t_{is} - průměrná vnitřní výpočtová teplota [°C]

t_{es} - průměrná teplota během otopného období [°C]

Opravný součinitel ε

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d \quad (7.2)$$

e_i - nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem. Protože tepelná ztráta infiltrací v běžných případech tvoří 10-20 % celkové tepelné ztráty, volí se součinitel v rozmezí 0.8 až 0.9.

e_t - snížení teploty v místnosti během dne respektivě noci. V některých objektech je vlivem vhodné regulace možno snížit teplotu pro určitou část dne. Volí se v rozmezí 0.8 např. pro školy s polodenním vyučováním až po 1.0 pro nemocnice, kdy vyžadujeme 100% výkon otopné soustavy po celých 24 hodin.

e_d - zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu. Podle využití budov v průběhu týdne se volí součinitel e_d v rozmezí od 1.0 pro budovy se sedmidenním provozem, přes 0.9 pro budovy se šestidenním a 0.8 pro budovy s pětidenním provozem.

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o - \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_C \cdot d \cdot (t_{is} - t_{es})}{t_{is} - t_e} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \quad [\text{GJ/rok}] \quad (7.3)$$

Z tohoto vztahu odvodíme vztah pro denní spotřebu tepla.

$$Q_{VYT,d} = \frac{\varepsilon}{\eta_o - \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_C \cdot (t_{isd} - t_{esd})}{t_{isd} - t_e} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \quad [\text{GJ/den}] \quad (7.4)$$

t_{isd} - průměrná vnitřní denní teplota [°C]

t_{esd} - průměrná venkovní denní teplota [°C]

7.3 Topný faktor

7.3.1 Definice topného faktoru

U tepelných čerpadel je topný faktor číslo, které je vždy větší než 1 a udává poměr mezi množstvím energie vyrobené a energie vložené, tedy poměr topného výkonu k elektrickému příkonu. V literatuře je označován zkratkou COP (Coefficient of Performace).^[14] Je to bezrozměrné číslo a veličina se označuje řeckým písmenem ε .

Skutečný topný faktor označovaný COP_{sk} , udává poměr tepelného výkonu a součtu příkonů všech prvků topné soustavy. Je vyšší než 1, ale nižší než COP samostatného TČ.^[15]

$$\varepsilon = \frac{Q_{VYS}}{Q_{KOM}} \quad [-] \quad (7.5)$$

Q_{VYS} – výsledná energie [W]

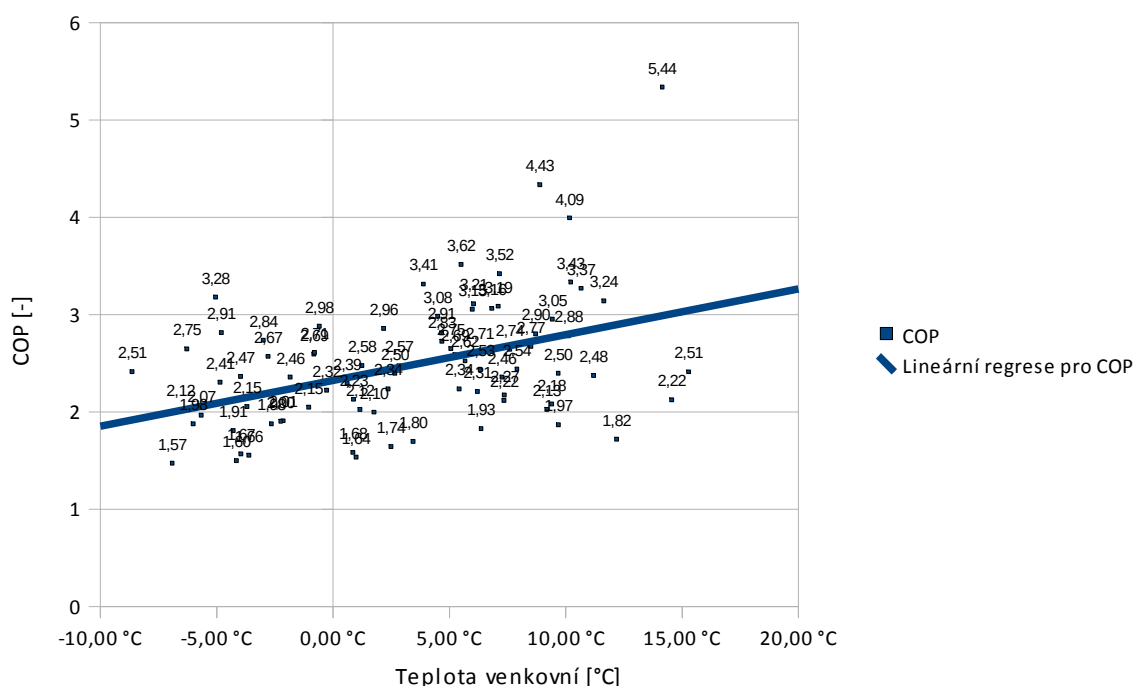
Q_{VZD} – energie získaná z okolí [W]

Q_{KOM} – energie pro pohon kompresoru [W]

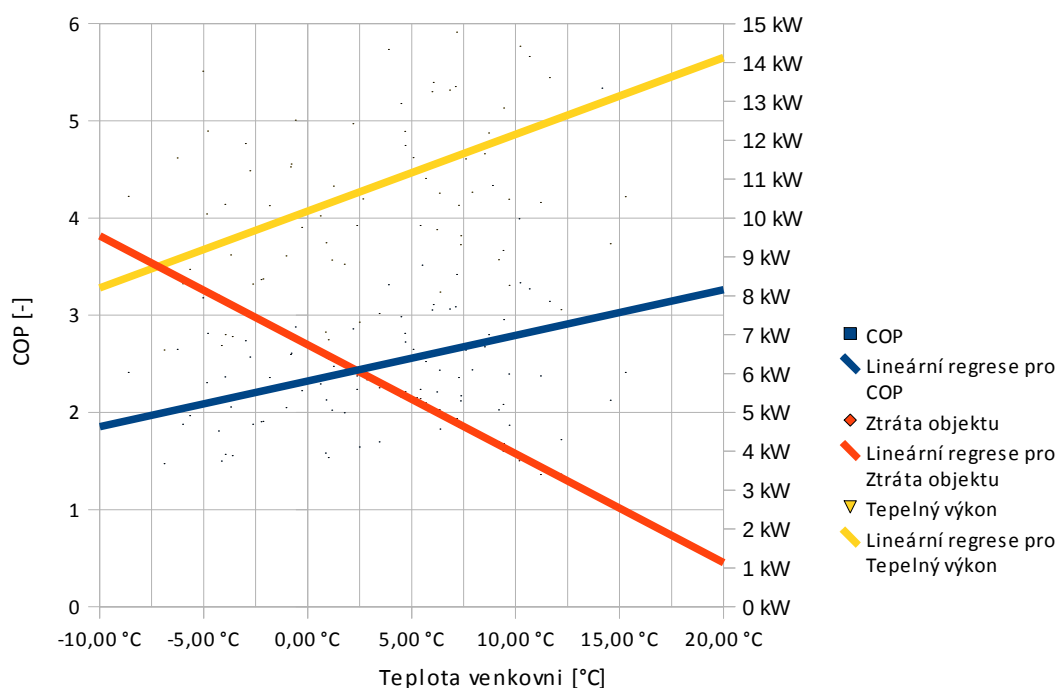
T_{VYS} – teplota na výstupu [°C]

T_{VZD} – teplota na vstupu [°C]

Pro vyhodnocení tepelného čerpadla z hlediska topného faktoru je tedy nutno znát teploty a množství vstupní a výstupní vody otopného systému. Tyto hodnoty však nebylo možno měřit, proto budeme porovnávat hodnoty vypočítané potřeby tepla pro konkrétní den (k výpočtu budeme používat skutečně změřené teploty interiéru a exteriéru) s hodnotami odečtené spotřeby elektrické energie odebraného tepelným čerpadlem. Výsledné body pak proložíme přímkou s lineární regresí (obr. 7.2). Tak zjistíme topný faktor (COP) tepelného čerpadla. Topný faktor celé soustavy (TČ + topných tyčí) pak uvedené hodnoty ještě poníží.

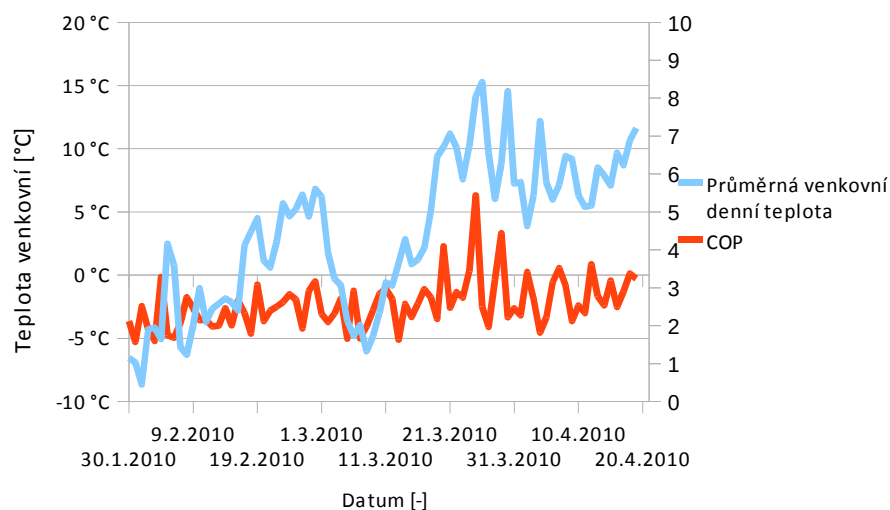


Obrázek 7.2 Hodnoty COP v závislosti na venkovní teplotě vzduchu



Obrázek 7.3 Hodnoty Q_c a Q_{tc} v závislosti na venkovní teplotě vzduchu

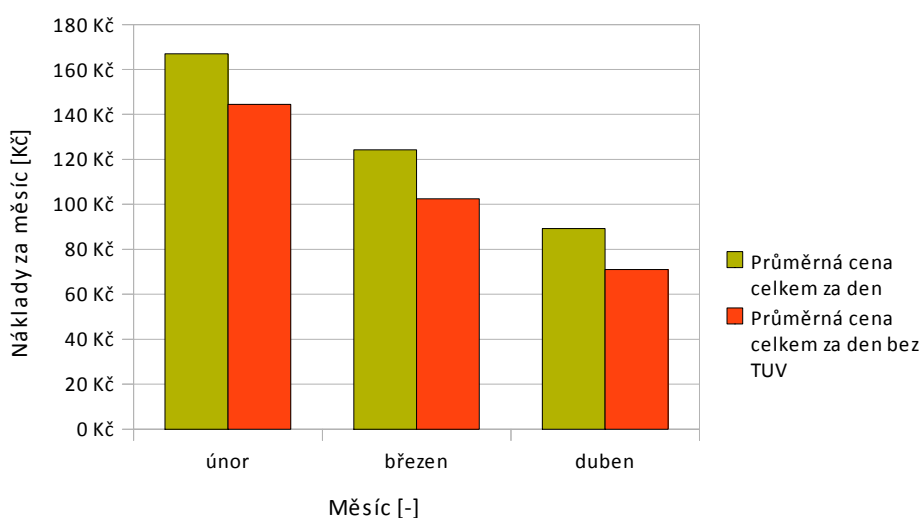
Do uvedeného grafu vložíme teoretický tepelný výkon TČ, který opět proložíme přímkou – lineární regrese. Průsečík obou čar nám zobrazí bod bivalence (obr. 6.8). Bod bivalence nám vychází při teplotě $t_{\text{bodB}} = -7,5^\circ\text{C}$. Pro zajímavost přikládáme ještě průběh COP a průběh průměrné venkovní teploty za dobu měření TČ.



Obrázek 6.8 Průběh COP a průběh průměrné venkovní teploty

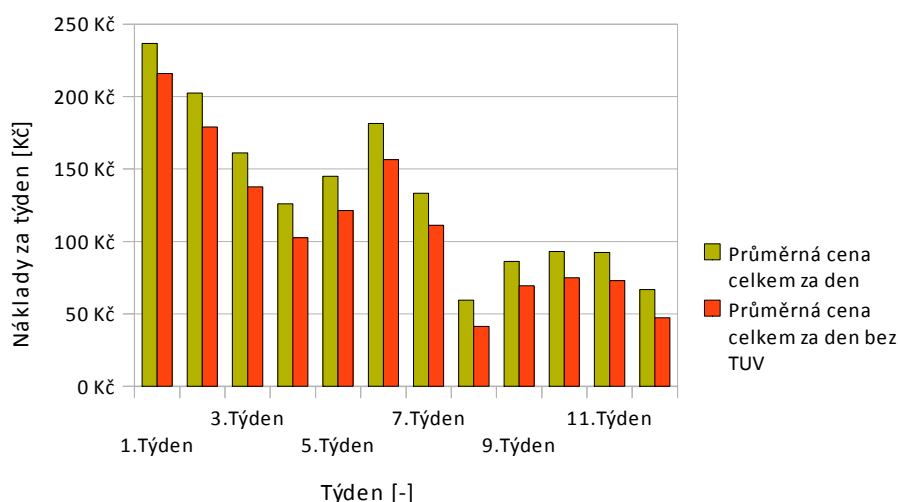
8 VYHODNOCENÍ FINANČNÍCH NÁKLADŮ PROVOZU TEPELNÉHO ČERPADLA

Pro celistvost informací uvádíme i finanční náklady provozu TČ. Pro vyčíslení vycházíme z ceny el.energie 2,2 Kč/kWh, která nám byla sdělena majitelem objektu. Průměrné denní hodnoty v Kč v jednotlivých měsících nám ukazuje graf na obr. 8.1. a to včetně ohřevu TUV a bez ohřevu TUV. Z grafu je patrné, že cena za ohřev TUV je více méně konstantní – to znamená, že za ohřev se zaplatilo ve všech měsících stejně.



Obrázek 8.1 Finanční náklad v měsících

Druhý graf nám ukazuje průměrné týdenní hodnoty v průběhu celého měření.



Obrázek 8.2 Finanční náklady v týdnech

Nejvíce se zaplatilo za den 31.2.2010 – 332,20 Kč (průměrná denní venkovní teplota – 6,91°C) a nejméně 25.3.2010 – 26,40 Kč (průměrná denní venkovní teplota 14,14 °C).

9 ZÁVĚR

Měření tepelného čerpadla – tedy nejdůležitější část této bakalářské práce – dalo zajímavé podklady pro hodnocení navrženého tepelného čerpadla.

Hlavními nameřenými a vypočítanými hodnotami jsou:

- COP při teplotě +2 °C přibližně 2,4 (z grafu obr.7.3)
- tepelný výkon TČ = 10,8 kW (z grafu obr.7.3)

Výrobce je uváděno COP při (teplotě +2) je 3, což je více. Uvedené hodnoty ale platí pro teplotu výstupní vody 35°C, naše TČ ale dává do systému vodu o teplotě cca 50 °C.

- Bod bivalence -7,5 °C (z grafu obr.7.3)

Z uvedených hodnot je tedy možno konstatovat, že uvedené tepelné čerpadlo Thermia Atria je vhodně navrženo a je dostatečné pro tento konkrétní RD.

Výsledek také potvrzuje měření, při kterém tepelné čerpadlo při průměrných teplotách -6,91 °C ($t_{\min} = -16,6$ °C) jelo na 3. stupeň el.ohřevu pouze 3 hodiny denně a má tedy dostatečnou rezervu i pro nižší venkovní teploty. V záloze pak má ještě dva stupně elektrického ohřevu.

9.1 Hodnocení měření

Za největší nevýhodu našeho měření považuji skutečnost, že jsme poměrně přesné hodnoty odběru porovnávali s teoretickou tepelnou ztrátou rodinného domu. Ta je dána přesností výpočtu celkové tepelné ztráty objektu, která nemusí být spočítána dobře. Navíc nebylo možné přesně stanovit vnitřní tepelné zisky a zisky z oslunění.

Jediným východiskem je přesné měření potřeby tepla rodinného domu, což by bylo možné nejlépe vypočítat z rozdílu teploty topné a vratné vody a průtoku vody v otopné soustavě rodinného domu. Při doplnění ještě měřením okamžitého odběru elektrické energie (logger odběru el.energie) by bylo možno okamžitě odečítat a matematicky vypočítávat COP v průběhu celého měření (při dané teplotě).

Při takovém měření by bylo možno přesně porovnat a zkontrolovat nejen vypočítanou tepelnou ztrátu objektu, ale i výkon a COP konkrétního čerpadla při dané teplotě a porovnat s hodnotami uváděných výrobcem.

Další variantou měření by také mohlo být měření tepla pro ohřev TUV.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *ABB* [online]. 2010 [cit. 2010-05-31]. ABB Elektroměry pro montáž na lištu DIN. Dostupné z WWW: <[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/1216e2faa7e9dba9c12572e90041392f/\\$File/katalog_Elektromery_Delta_plus_CZ.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/1216e2faa7e9dba9c12572e90041392f/$File/katalog_Elektromery_Delta_plus_CZ.pdf)>.
- [2] *Comet* [online]. 2004 [cit. 2010-05-27]. Dataloggery, teploměry a vlhkoměry. Dostupné z WWW: <<http://www.cometsystem.cz/manuals/i-log-s0110e.pdf>>.
- [3] *Ekotep.cz* [online]. 2006 [cit. 2010-05-31]. Tepelná čerpadla vzduch voda. Dostupné z WWW: <<http://www.ekotep.cz/vzduch-voda/>>.
- [4] *EkoWatt* [online]. c2008 [cit. 2010-05-30]. Obnovitelné zdroje energie. Dostupné z WWW: <http://www.ekowatt.cz/obrazky/infostranky/prostredi_09.jpg>.
- [5] *Istavitel.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-05-30]. Tepelná čerpadla aneb nové možnosti alternativních zdrojů tepla. Dostupné z WWW: <http://istavitel.cz/clanek/vytapeni-a-klimatizace/vytapeni/tepelna-cerpadla-aneb-nove-moznosti-alternativnich-zdroju-tepla_133>.
- [6] *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>>.
- [7] *Nazeleno.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-05-27]. Slovníček. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/tepelne-cerpadlo.dic>>. ISSN 1803-4160.
- [8] *Solar Top* [online]. c2003 [cit. 2010-05-30]. Tepelná čerpadla - TCLM systémy vzduch-voda. Dostupné z WWW: <<http://www.solartop.cz/cerpadla.htm>>.
- [9] *Tepelná čerpadla Climatec* [online]. c2009 [cit. 2010-05-27]. Čerpadla Thermia. Dostupné z WWW: <<http://www.climatec.cz/tepelna-cerpadla-thermia.php>>.
- [10] *Tepelná čerpadla Climatec* [online]. 2009 [cit. 2010-05-27]. Čerpadla Thermia. Dostupné z WWW: <<http://www.climatec.cz/thermia-atria.php>>.
- [11] ŠŤASTNÝ, Radek. Využití tepelného čerpadla v rodinném domě. In HERODES, ING, Jiří. *Enersol 2006*. Kroměříž : [s.n.], 2006. s. 59-68. Dostupné z WWW: <www.enersolis.cz/sbornik/sbornik_enersol_2006.pdf>.
- [12] HOŘEJŠÍ ING., Miroslav. *TZB-info* [online]. 16.4.2002 [cit. 2010-05-27]. Tepelná čerpadla pro každého (I). Dostupné z WWW: <<http://vytapeni.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=953&h=10&pl=39>>. ISSN 1801-4399.
- [13] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Sest. V.Velička, redaktor Jarmila Baumová. První vydání. Praha : Grand Publishing a.s., 2009. 112 s. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [14] TINTĚRA, Vladislav. *Tepelná čerpadla*. Il. J. Dejmková, Al & ARCH. První vydání. Praha : ABF, a.s. - Nakladatelství ARCH, 2003. 122 s. ISBN 80-86165-61-2.
- [15] ŽERÁVÍK ING., Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo : návratnost i za jeden rok*. První vydání. Přerov : [s.n.], 2003. 312 s. ISBN 80-239-0275-X.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	Význam zkratky
TČ	tepelné čerpadlo
NPT	nízkopotenciální teplo
TUV	teplá užitková voda
COP	topný faktor

Symbol	Popis symbolu	Jednotky
d	délka topného období	dny
t_{is}	průměrná vnitřní výpočtová teplota	°C
t_{es}	průměrná teplota během otopného období	°C
$Q_{VYT,d}$	denní potřeba tepla pro vytápění	GJ/den
$Q_{VYT,r}$	roční potřeba tepla pro vytápění	GJ/rok
t_{isd}	průměrná vnitřní denní teplota	°C
t_{esd}	průměrná venkovní denní teplota	°C
ε	opravný součinitel	-
e_i	nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem	-
e_t	snížení teploty v místnosti během dne respektivě noci	-
e_d	zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu	-

12 SEZNAM PŘÍLOH

Na CD:

Příloha 1 Zaznam_dat_a_vypocty.ods (OpenOffice.org 3.2.0)

Příloha 2 2010_BP_Elger_Jiri_100990.pdf