



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

MĚŘENÍ TEPLOTNÍ ZÁVISLOSTI TOPNÉHO FAKTORU TEPELNÉHO ČERPADLA VZDUCH-VODA

MEASUREMENT OF COP-TEMPERATURE RELATIONSHIP OF AIR-WATER HEAT PUMP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MILAN BELKO

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MICHAL JAROŠ, Dr.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Milan Belko

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

obor: **Energetika, procesy a ekologie (3904R030)**

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 teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda

v anglickém jazyce:

Measurement of COP-temperature relationship of air-water heat pump

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tepelná čerpadla se stala často používaným zdrojem tepla pro vytápění a přípravu teplé vody a zájem o ně dále roste. Jedná se však o nemalou investici, jejíž výhodnost je třeba důkladně zvážit. Při rozhodování mohou potenciálním investorům významně pomoci informace o již realizovaných projektech.

Cíle bakalářské práce:

Navrhněte a realizujte měřicí systém pro měření tepelného výkonu a topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda, sloužícího pro vytápění. Na základě naměřených dat vyhodnoťte jeho provozní parametry a posuďte jeho energetickou a ekonomickou výhodnost. Formulujte poznatky z měření, závěry a doporučení pro provoz TČ.

Seznam odborné literatury:

- Dvořák, Z., Klazar, L., Petrák, J.: Tepelná čerpadla. SNTL, Praha, 1987.
Srdečný, K., Truxa, J.: Tepelná čerpadla. ERA Group, Brno, 2005.
Tintěra, L.: Tepelná čerpadla. ABF, 2003.
Karlík, R.: Tepelné čerpadlo pro váš dům. Grada Publ., 2009. ISBN 978-80-247-2720-2.
Žeravík, A.: Stavíme tepelné čerpadlo. Eltex, 2003. ISBN 80-239-0275-X.
Internetové, časopisecké a jiné zdroje dle vlastního výběru studenta.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.

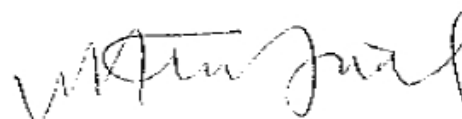
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 16.11.2010

L.S.



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá měřením provozu tepelného čerpadla vzduch-voda nekonvenční stavby, které je instalováno v rodinném domě. Dále pak vyhodnocením a srovnáním naměřených dat s tepelným čerpadlem vzduch-voda klasické stavby a následné posouzení ekonomické výhodnosti vlastní specifické stavby tepelného čerpadla.

Abstract

This thesis bachelor's deals with the measurement of heat pump operation the air-water unconventional construction, which is installed in a family house. Furthermore, evaluating and comparing the measured data with a heat pump air-water standard of construction and subsequent assessment of the economic benefits of building their own specific heat pump.

Klíčová slova

tepelné čerpadlo, topný faktor

Keywords

heat pump, coefficient of performance

Bibliografická citace

Belko, M. *Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 40s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval sám bez cizí pomoci. Vycházel jsem přitom ze svých znalostí, odborných konzultací a doporučené literatury, uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. května 2011

.....
podpis autora

Poděkování

Tímto děkuji doc. Ing. Jarošovi, Dr. za odborné konzultace a zapůjčení měřicí techniky. Děkuji Ing. Hejčíkovi, PhD. za odborné konzultace a zapůjčení měřicí techniky. Děkuji panu Sedmikovi ze společnosti Smart Brno za poskytnutí dat z měření. Svému otci Milanu Belkovi děkuji za pomoc při instalaci měřicí techniky.

V Brně dne 27. května 2011

.....

podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD.....	8
2	TEPELNÉ ČERPADLO.....	9
2.1	Princip tepelného čerpadla	9
2.2	Topný faktor	10
2.3	Pracovní cyklus tepelného čerpadla	10
2.4	Tepelná čerpadla a zdroje nízkopotenciálního tepla [1] [3].....	11
2.4.1	Vzduch jako zdroj tepla, TČ vzduch - voda	11
2.4.2	Voda jako zdroj tepla, TČ voda – voda.....	13
2.4.3	Zemská kůra jako zdroj tepla, TČ země – voda	14
3	VLASTNÍ REALIZACE	17
3.1	Popis klimatizační jednotky	17
3.2	Vlastní TČ	18
3.2.1	Primární okruh	18
3.2.2	Chladičový okruh.....	19
3.2.3	Sekundární okruh	20
3.3	Provoz a regulace.....	21
4	MĚŘÍCI SOUSTAVA.....	22
4.1	Měřené veličiny pro určení topného faktoru.....	22
4.2	Měřicí technika	23
4.2.1	Omega FPR-205-PC.....	24
4.2.2	Faget It-line EM229 6M2504.....	25
4.2.3	Honeywell HIH-4000-002.....	25
4.3	Hardware měřicího systému	26
5	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	27
6	ZÁVĚR	36
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ	37
	SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN	38
	PŘÍLOHA.....	39

1 Úvod

Princip tepelného čerpadla byl definován skoro před dvěma stoletími lordem Kelvinem. Praktické využití tepelných čerpadel probíhá od druhé poloviny 20. století. Jeden z důvodů využití tepelných čerpadel je vývoj v oblasti vytápění rodinných domů. Dostali jsme se do doby, kde ceny energií jsou vysoké a prognózy do budoucna nejsou příznivě nakloněné. Na veškeré tyto aspekty začal reagovat i stavební průmysl, který umožnil a umožňuje lepší uplatnění tepelných čerpadel. Domy mají o hodně menší tepelnou ztrátu, otopné systémy jsou dimenzovány na nižší teplotní spád a lidé chtějí topit levně, „ekologicky“ a komfortně. To vše zapříčinilo nárůst instalací tepelných čerpadel v ČR.

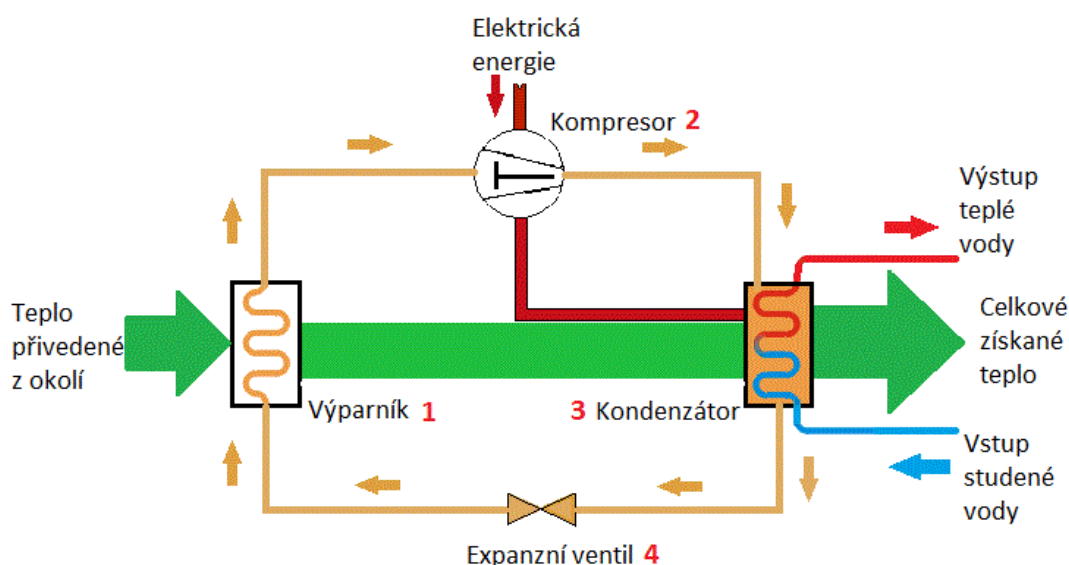
Druhá stránka je ekonomická nákladnost investice do tepelného čerpadla a její rentabilita. Pořizovací náklady jsou značné, obzvláště v provedení tepelného čerpadla země-voda či voda-voda. Je nutné se zamyslet nad vývojem cen fosilních paliv a jejich udržitelnosti do budoucna, jelikož porovnání let minulých nám nedá plnou jistotu investovat do tepelného čerpadla. Samozřejmě je možnost, jak značně ušetřit na investici do tepelného čerpadla, ale málokdo se pustí do vlastní realizace a stavby, jakož jsme to zkusili a provedli já s otcem.

Ve své práci chci ukázat specifickou stavbu tepelného čerpadla vzduch-voda, kterou jsme realizovali svépomocí. Dále tato práce se zabývá měřením tepelného výkonu a efektivity tepelného čerpadla, které je postaveno v otopném systému jako bivalentní zdroj tepla pro přípravu teplé užitkové vody a pro otopnou soustavu rodinného domu. Přesto v prvních částech práce uvedu známá fakta o tepelných čerpadlech, aby i nezasvěcený čtenář měl možnost všemu porozumět.

2 Tepelné čerpadlo

2.1 Princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo (TČ) umí využívat nízkopotenciální energii, které je kolem nás nevyčerpatelné množství a dokáže ji převést do užitečné podoby. Ke svému provozu potřebuje určité množství energie, obvykle elektrické. TČ tedy energii nevyrábí, pouze přečerpává (odtud jeho název) na vyšší teplotní úroveň. Pro běžné použití se používají TČ s parním oběhem (kompresorová) a méně využívaná TČ s absorpčními oběhy či s hybridními oběhy. Existují i další principy využitelné pro realizaci TČ, ale jejich efektivnost je výrazně nižší, nebo jejich realizace je obtížná. Jsou to TČ se Stirlingovým oběhem nebo termoelektrická TČ. V této práci se budeme zabývat TČ s parním oběhem, teda TČ s kompresory poháněnými elektřinou. Schéma TČ s kompresorem je na obrázku 2.1. [1]



Obr. 2.1 Princip tepelného čerpadla

Na vstupní primární straně TČ je vždy výměník tepla, nazývaný výparník (1). Do výparníku se pomocí vhodného teplotnosného média (vzduch, nemrznoucí směs, voda) přivádí nízkopotenciální teplo zvenku a do jeho druhé poloviny se tryskou termostatického expanzního ventilu (TEV) (4) vstříkuje pod velkým tlakem kapalné chladivo. Tlak ve výparníku za TEV je nižší a kapalné chladivo se proto rychle odpařuje. Tím se celý výparník podchlazuje na teplotu nižší, než je teplota okolního prostředí, ze kterého odebíráme nízkopotenciální teplo. Tak je dosaženo toho, že teplo ze „studené“ strany ohřívá podchlazený plyn a tento ohřátý, ale stále ještě studený plyn je nasáván kompresorem (2). Zde samozřejmě platí druhá věta termodynamiky, která zní: „Není možné, aby při tepelné výměně těleso o vyšší teplotě přijímalo teplo ze studenějšího tělesa“. Nasávaný plyn si sebou nese zvenku získanou energii. Po stlačení kompresorem se plyn silně zahřeje. Stlačený plyn na výtlaku kompresoru musí dosáhnout vyšší teploty než voda v topném systému a je veden do sekundárního výměníku, tzv. kondenzátoru (3), kterým proudí topná voda. V kondenzátoru

horký plyn zkapalní a předá teplo chladnější topné vodě. Zkapalněný plyn je opět veden do TEV a celý cyklus se opakuje.

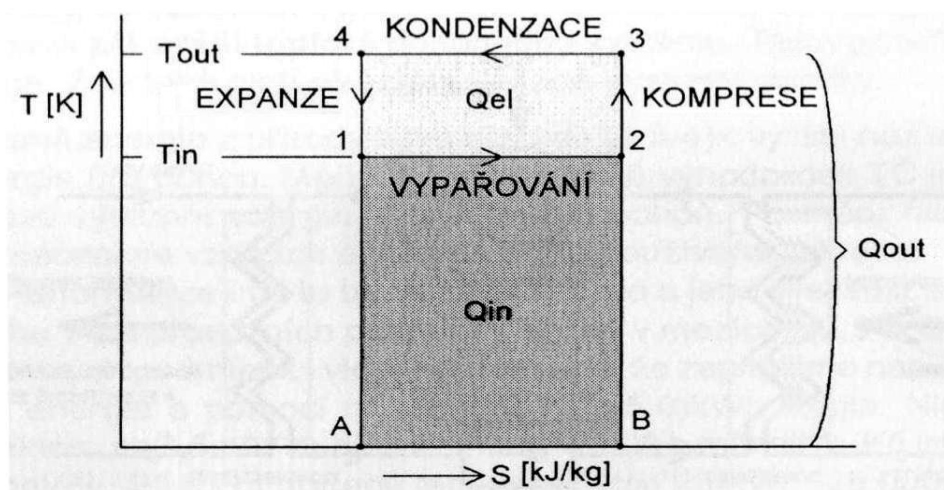
2.2 Topný faktor

Pro porovnání efektivity provozu jednotlivých TČ slouží topný faktor (COP - Coefficient of Performance). Topný faktor je bezrozměrné číslo, které udává poměr mezi množstvím energie vyrobené a energie vložené. Hodnota topného faktoru se pohybuje mezi 2 až 4 a čím je toto číslo větší, tím je provoz tepelného čerpadla efektivnější. Okamžitá hodnota topného faktoru se za provozních podmínek neustále mění.

$$\varepsilon_R = \frac{\dot{Q}}{P_{el}} \quad (2.1)$$

2.3 Pracovní cyklus tepelného čerpadla

Pro zjednodušení je pracovní cyklus popisován dle obráceného Carnotova cyklu, který je srozumitelnější, ale ve skutečnosti se blíží Rankin - Clausiově cyklu. [3]



Obr. 2.2 Grafické znázornění teoretického pracovního cyklu TČ v T-s diagramu [1]

Carnotův cyklus se skládá z následujících dějů:

- 1-2 izotermické vypařování
- 2-3 adiabatická komprese
- 3-4 izotermická kondenzace
- 4-1 adiabatická expanze

Plocha A-1-2-B je úměrná množství získané energie Q_{in} z nízkopotenciálního zdroje, plocha 1-2-3-4 je úměrná energii Q_{el} dodané ze sítě do pracovního cyklu. Součet těchto ploch nám dává celkovou tepelnou energii Q_{out} , kterou TČ dodává do topného systému. Topný faktor odvozen pro ideální Carnotův cyklus ε_c je závislý pouze na teplotě vypařování chladiva T_V a teplotě kondenzace chladiva T_K . [1]

$$\varepsilon_C = \frac{T_K}{T_K - T_V} \quad (2.2)$$

Topný faktor TČ je výrazně nižší než topný faktor Carnotova cyklu. Důvodem odlišnosti je, že cyklus TČ se ve skutečnosti blíží Rankin - Clausiově cyklu a u Carnotova cyklu zanedbáváme ztráty.

Carnotův cyklus nám poskytuje náhled na funkci TČ. Ze vztahu (2.2) nám vyplývá, že čím bude rozdíl teplot kondenzace T_K a vypařování T_V nižší, tím bude topný faktor vyšší. V praxi z toho vyplývá, že je výhodné odebírat teplo ze zdroje o co nejvyšší teplotě a dodávat teplo do systému s co nejnižší teplotou.

2.4 Tepelná čerpadla a zdroje nízkopotenciálního tepla [1] [3]

Dle způsobu získávání tepla rozdělujeme TČ do několika skupin. Volba primárního zdroje má vliv na konstrukci a provozní vlastnosti tepelného čerpadla. V názvech TČ první slovo označuje zdroj nízkopotenciálního tepla a druhé označuje médium, do kterého se teplo předává.

TČ vzduch – vzduch je málo využívané a stavěné pro malé výkony a v jednoduché verzi využíváno jako klimatizace jedné místnosti.

TČ vzduch – voda odebírá teplo z okolního nebo odpadního vzduchu a předává ho do topné vody.

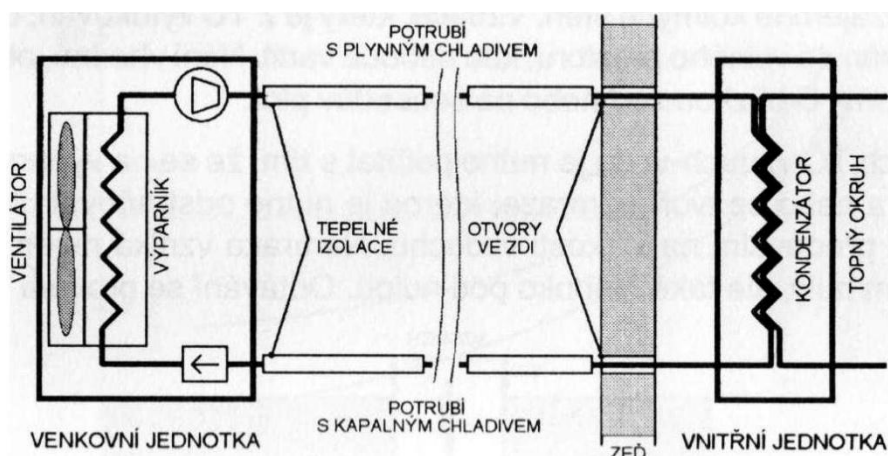
TČ voda – voda odebírá teplo z vody. Buď přímo, kdy voda přímo protéká primárním výměníkem nebo nepřímo, kde na primární straně je kolektor, který odebírá teplo z vody stojaté či tekoucí. Teplo se opět předává do topné vody.

TČ země – voda odebírá teplo ze zemské kůry a to pomocí vertikálního nebo horizontálního kolektoru. Teplo je rovněž předáváno do topné vody.

2.4.1 Vzduch jako zdroj tepla, TČ vzduch-voda

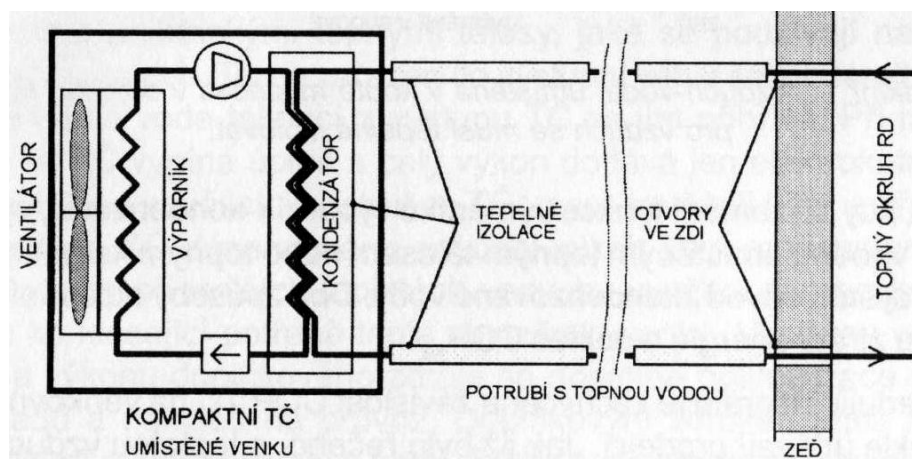
TČ vzduch – voda nemá primární okruh a je pouze tvořeno chladivovým a sekundárním okruhem, ve kterém je obvykle lamelový trubkový výměník s ventilátorem. Tvary a provedení se mění podle výrobce. Jedná možnost konstrukce je dvoudílná, tzv. TČ split. Venkovní a vnitřní část je propojená měděnými trubkami, ve kterých proudí chladivo. Kompresor se umísťuje ven i dovnitř, dle výrobce.

Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda



Obr. 2.3 TČ vzduch-voda v děleném provedení (split) [1]

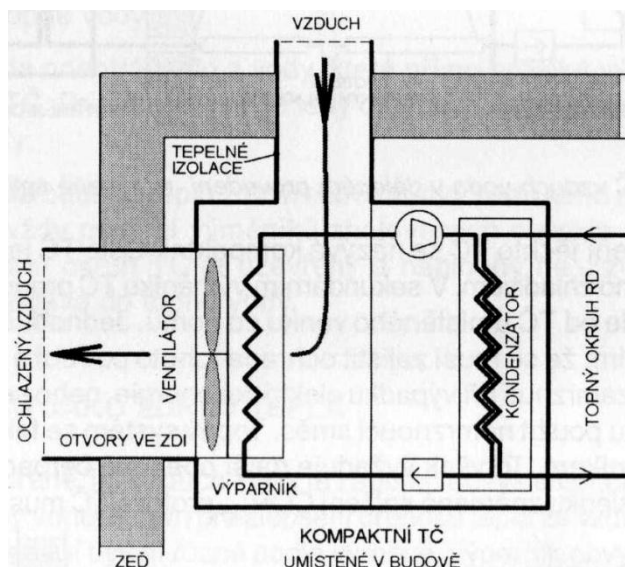
Další provedení je kompaktní, kde celá jednotka je umístěna venku a je propojena potrubím topné vody. Zde nastávají menší problémy s vodou v sekundárním výměníku, kdy při nízkých teplotách a neprovozním režimu může dojít k zamrznutí vody a poškození.



Obr. 2.4 Venkovní jednotka TČ vzduch-voda [1]

V posledních letech se TČ častěji instaluje dovnitř budovy. Vzduch se k TČ přivádí izolovanými „rukávy“ nebo potrubím. Musí být zajištěno, aby se vyfukovaný ochlazený vzduch nedostal do sání.

Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda



Obr. 2.5 Jednotka TČ umístěna v rohu místnosti [1]

Protikladem jednoduché instalace jsou určité provozní obtíže. Je nutné počítat s kondenzací vzdušné vlhkosti na výparníku a její následovné namrzání. Námraza nevzniká nejen při teplotách kolem bodu mrazu, ale též i ve velkých mrazech. Odtávání TČ se provádí reverzní chodu, kde se zamění funkce výměníků nebo vhodně umístěným topným kabelem. Oba způsoby odtávání představují určitou ztrátu energie respektive navýšení dodávané energie a pokles ε_R . Od TČ musí být zajištěn odvod kondenzátu.

Levná instalace TČ a dostupnost vzduchu jako zdroje nízkopotenciálního tepla kontrastuje s nestabilitou výkonu a topného faktoru s klesající teplotou vzduchu. Proto se tepelné čerpadlo dimenzuje na 60 - 70 % tepelných ztrát objektu při nejnižších teplotách, tudíž je tepelné čerpadlo jako bivalentní zdroj energie spojeno s dalším zdrojem tepla. Topný faktor se pohybuje v rozmezí $\varepsilon_R = 2,5 - 4$.

2.4.2 Voda jako zdroj tepla, TČ voda-voda

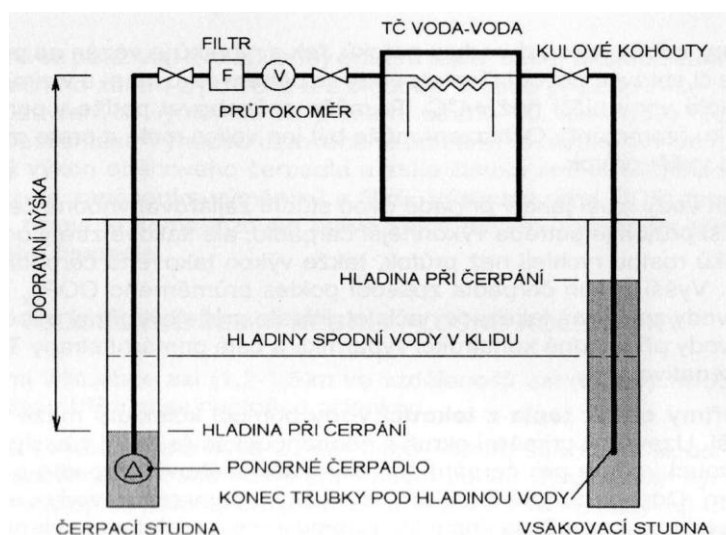
S ohledem na energetickou vydatnost vody a dosahovanou výší COP může být voda nejlepším zdrojem tepla pro TČ. Vše záleží na zdroji vody. Můžeme využít vodu podzemí, tekoucí či stojatou. Každá varianta má svá specifika a náročnost jak po finanční stránce, tak po stránce administrativní.

2.4.2.1 Podzemní voda

U tepelného čerpadla, které využívá podzemní vodu, máme otevřený primární okruh. To znamená, že podzemní voda je čerpána a vedena primárním výměníkem tepla a po ochlazení vracena zpět pod povrch zemský. V praxi je to řešeno pomocí dvou studní. Z jedné studny, která je dostatečným zdrojem vody, čerpáme vodu a do druhé tzv. vsakovací vodu vracíme. Na studny jsou kladeny určité požadavky. Nejedná se jen o dostatečnou vydatnost pramene, ale také o chemické složení. Nelze však žádnou zkouškou vydatnosti

Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda

zaručit stálost přítoku po desítky let. S tímto rizikem se musí počítat při realizaci. Při základní energetické bilanci se nesmí zapomenout, že nám elektrický příkon vzroste o vodní čerpadlo, ale i tak topný faktor dosahuje $\varepsilon_R = 4 - 5$ a jeho hodnota je velmi stabilní. Na schématu je znázorněno tepelné čerpadlo voda-voda se dvěma studněmi.



Obr. 2.6 TČ voda-voda za provozu [1]

2.4.2.2 Tekoucí nebo stojatá voda

Přímý odběr tekoucí vody z vodních toků je vázán povolením majitele či správce povodí. Teploty vody se během roku mění a v zimě se můžeme dostat blízko bodu mrazu, což má za následek značné zvýšení průtoku. Dále musíme počítat s nečistotami ve vodě a se snížením ε_R důsledkem vyššího příkonu čerpadla.

Nepřímý odběr tepla z tekoucí vody pomocí kolektorů se jeví jako vhodnější. Uzavřený primární okruh s nemrznoucí a ekologicky nezávadnou směsí není závislý na čistotě toku a pro cirkulaci není zapotřebí výkonného čerpadla.

Nepřímý odběr tepla ze stojaté vody pomocí kolektoru vloženého na dno rybníku nebo jiného vodního díla. Udává se využitelný výkon $1,5 - 8 \text{ W/m}^2$ vodní plochy. Primární okruh je uzpůsoben stejně jak u nepřímého odběru z tekoucí vody.

Podle dostupných informací není jednoduché splnit všechny požadavky vodohospodářů a ekologů. Ochlazení stojaté vody nesmí překročit určitou mez, aby neohrožovalo živočichy. Zřejmě i z těchto důvodů není tento způsob odběru tepla příliš rozšířen. Výhodou systému voda-voda je dosažení vysokého topného faktoru.

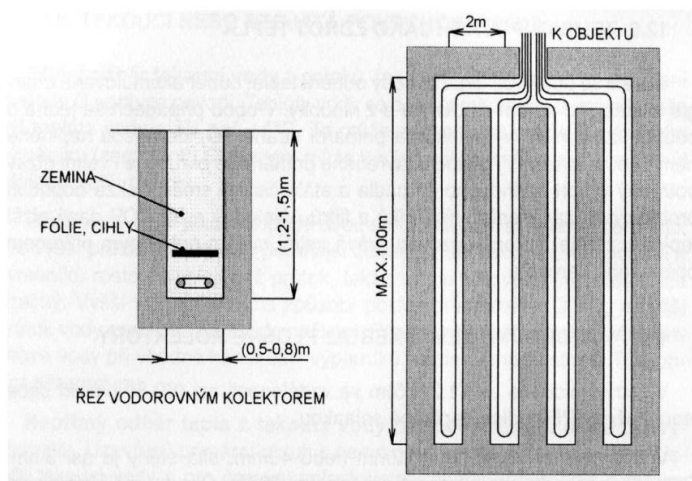
2.4.3 Zemská kůra jako zdroj tepla, TČ země-voda

Pro odběr tepla ze země jsou používány dva způsoby. Odběr tepla pomocí vertikálních, podpovrchových, kolektorů a horizontálních, hlubinných, kolektorů. V obou případech se jedná o použití uzavřených výměníků na primární straně TČ, které jsou naplněny nemrznoucí směsí. Výhodou uzavřeného systému primárního okruhu je velmi nízký potřebný výkon oběhového čerpadla a stálá čistota směsi, takže odpadají problémy se zanášením výměníku.

2.4.3.1 Horizontální neboli plošné zemní kolektory

V zemi v hloubce 1,2 - 1,5 m (nezámrazná hloubka) ve vzdálenosti asi 0,6 - 0,8 m od sebe jsou uloženy polyethylenové (PE) hadice. Délka jednotlivých okruhů nemá přesahovat 200 m délky. Okruhy mají být stejně dlouhé a před TČ se spojí.

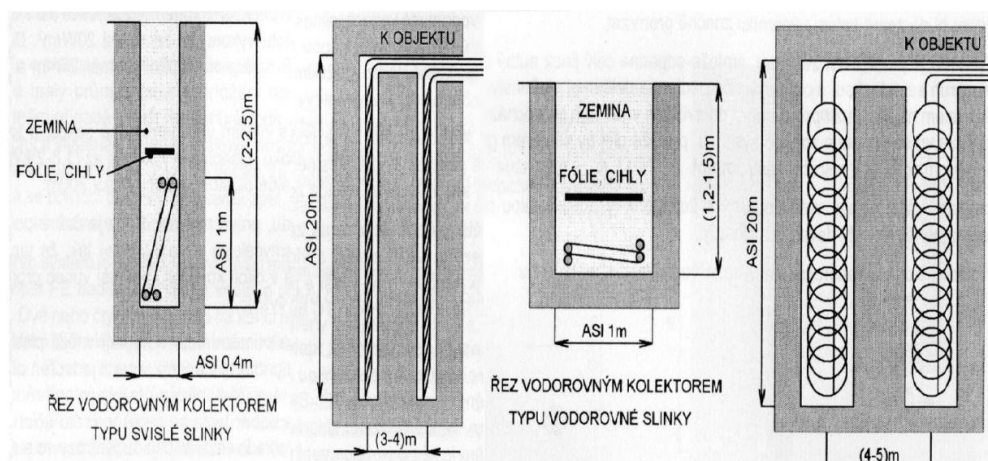
Dosažitelný výkon zemního kolektoru je udáván v mezích 20 - 25 W/m² plochy země. Systém se doporučuje předimenzovat. Teplo se musí přes léto akumulovat a tím je množství limitováno. Udává se, že plocha, ze které se odebírá teplo, by měla být 3 - 4krát větší, jak plocha vytápěná. Po nezbytných terénních úpravách není na povrchu půdy nic vidět, ale je celkem pochopitelné, že půda je na jaře mnohem víc prochládlá. To může mít negativní dopad na pěstování plodin.



Obr. 2.7 Uspořádání plošného zemního kolektoru a jeho informativní rozměry [1]

Existuje i jiná varianta instalace. Podle zahraniční literatury se nazývá slinky. Svinuté kolo PE hadic je jen roztaženo do spirály. Slinky se ukládají na dno výkopu širokého asi 1m. K dispozici jsou dvě provedení: provedení horizontální nebo vertikální, které se ukládá do užšího výkopu. Uvádí se, že na 1 kW topného výkonu tepelného čerpadla je potřeba 5 až 8 metrů výkopu.

Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda

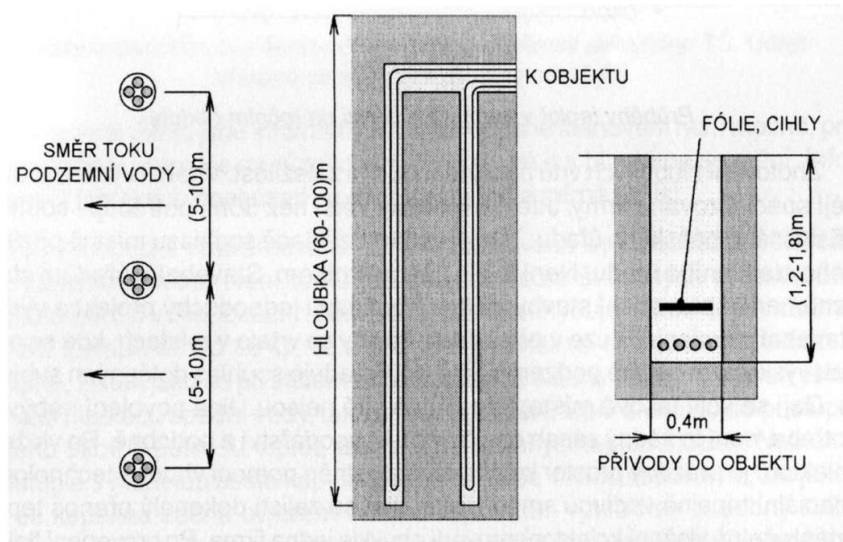


Obr. 2.8 Uložení slinek. Zleva slinky vertikální a horizontální [1]

Existují systémy TČ, které nemají primární okruh, ale přímo chladivový okruh je tvořen měděným výparníkem v zemi. Odběr ze země je proto účinnější, ale vlivem nízkých teplot par chladiva a poměrně krátkého potrubí a tím i malé plochy kolektoru bude země kolem výparníku značně promrzat a výkon TČ bude klesat. Tento způsob instalace je konstruován pro malé výkony a TČ je provozováno jako bivalentní zdroj tepla.

2.4.3.2 Vertikální neboli hlubinný zemní kolektor

Jak u horizontálního tak u vertikálního zemního kolektoru jsou použity polyethylenové hadice, které jsou zasunuty do vrtu, který je posléze vyplněn vhodnou hmotou. Primární okruh tvoří hadice o vnějším průměru 30 - 40 mm. Dvě nebo čtyři hadice jsou na konci navařeny do hlavice, pomocí které se z nich vytvoří jedna nebo dvě U smyčky. Vrtý mívají hloubku 50 - 120 m v závislosti na požadovaném výkonu a geologické situaci. Pro vyšší výkony TČ je zhotoveno více vrtů. Rozteč vrtů se doporučuje minimálně 5 - 10 m z důvodu tepelného ovlivnění jednotlivých U smyček.



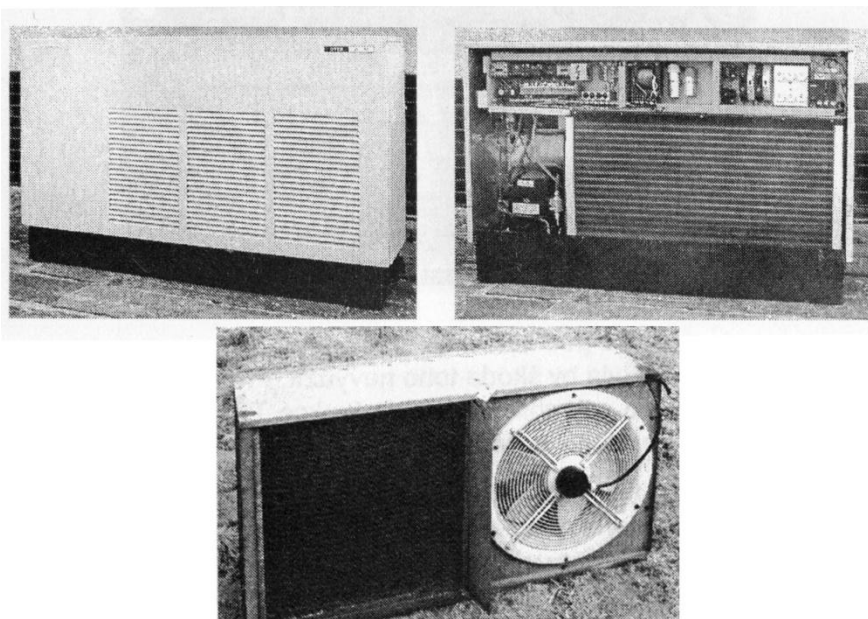
Obr. 2.9 Orientační rozměry a provedení zemního vertikálního kolektoru [1]

3 Vlastní realizace

Rodinný dům, v kterém bydlíme, je vystavěn začátkem devadesátých let minulého století. O vytápění se dříve staral kotel na tuhá paliva a elektrický kotel s třemi odporovými přímotopy každý o příkonu 4 kW. Příprava teplé užitkové vody (TUV) probíhala konvekčním způsobem v boileru s odporovým přímotopem. Vzhledem k růstu cen elektřiny jsme se rozhodli k alternativnímu vytápění pomocí TČ vzduch-voda, které bylo postaveno z klimatizační jednotky.

3.1 Popis klimatizační jednotky

Klimatizační jednotka byla vyrobena pro účel chlazení, ohřev a vlhčení vzduchu v místnosti. Vytápění zajišťovaly tři elektrické odporové přímotopy s celkovým příkonem 6 kW. Jednotka sloužila pouze pro účely chlazení. Klimatizace je tvořena venkovní a vnitřní jednotkou. Venkovní jednotka fungovala pouze jako kondenzátor. Vnitřní jednotka je osazena kompresorem značky Aspera, typ H7265P. Chladivem v této jednotce je R22, který je již dnes zakázán používat v nových zařízeních, jelikož se jedná o freon (chlorovaný a fluorovaný metan). Dále ve vnitřní jednotce je sběrač chladiva, filtr-dehydrátor, TEV, výparník, presostaty, elektrické přímotopy a ventilátor.

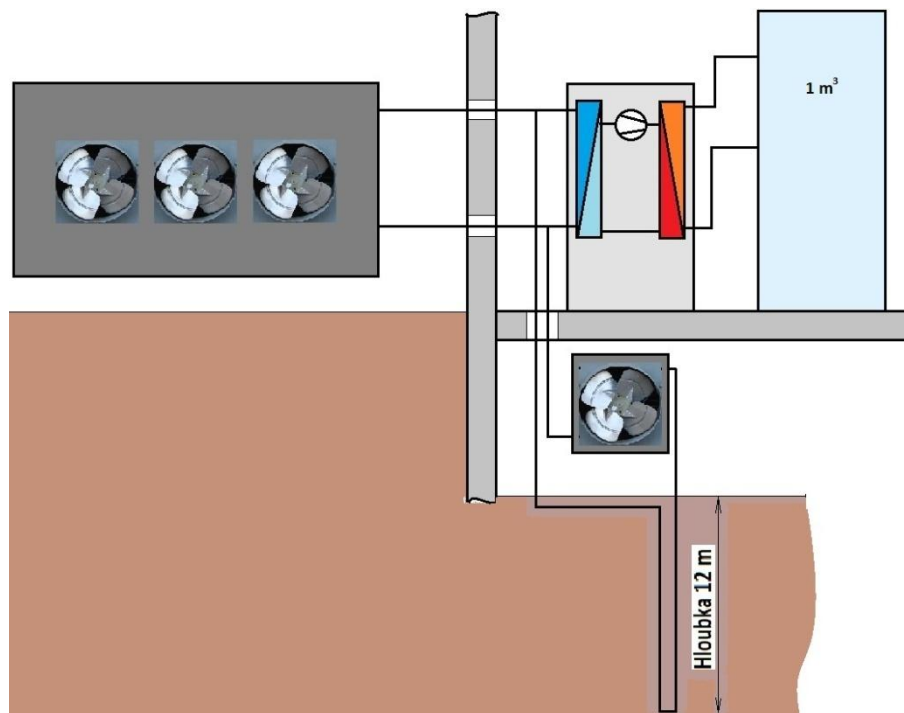


Obr. 3.1 Vnitřní jednotka s krytem a bez krytu, pod ní venkovní jednotka klimatizace [1]

Celá jednotka fungovala principiálně jako TČ vzduch-vzduch s tím, že odebírala teplo vzduchu, který chladil vnitřní prostory, a teplo odebrané se odvádělo do venkovních prostor.

3.2 Vlastní TČ

TČ vzduch-voda postavené svépomocí z dílů výše zmíněné klimatizační jednotky je specifické v tom, že má primární okruh jak TČ voda-voda či země-voda. Chladivový okruh je klasické stavby. Sekundární okruh je tvořen akumulací o objemu 1 m^3 , která je přímo napojena na topnou soustavu domu.



Obr. 3.2 Ilustrační schéma zapojení TČ a barevné rozlišení teplot pracovních medií

3.2.1 Primární okruh

Primární okruh je tvořen trubkovým lamelovým výměníkem umístěným na venkovní stěně domu, menším trubkovým lamelovým výměníkem, který je umístěn v suterénu a vychlazuje místnost o objemu 18 m^3 , a zemním kolektorem s jednou U smyčkou o hloubce 12 m. Výměníky jsou osazeny axiálními ventilátory, které sají vzduch přes výměník a foukají vzduch do prostoru či místnosti. Výměníky a zemní kolektor jsou zapojeny v okruhu, ve kterém proudí směs voda-etylalkohol, která po ohřátí venkovním vzduchem, vzduchem v místnosti a teplem země, proudí do primárního deskového výměníku. Větev s malým trubkovým lamelovým výměníkem a zemním kolektorem je připojována či odpojována termostatickým čidlem, které udržuje teplotu v místnosti v nastaveném intervalu a dle výstupního signálu je otevřen či zavřen ventil této větve. Primární okruh má nucenou cirkulaci, kterou dělá oběhové čerpadlo značky Grundfos. Z důvodu odtávání výměníku je v primárním okruhu zapojen odporový přímotop s příkonem 4 kW.

Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda

Primární okruh:

- deskový výměník SWEP V80/30, 30 desek
- oběhové čerpadlo Grundfos 15-60 130
- trubkový lamelový výměník 2000x1000 mm, tři axiální ventilátory
- odporový přímotop s příkonem 4 kW
- trubkový lamelový výměník 500x500 mm, jeden axiální ventilátor
- zemní vertikální kolektor z PE hadice o hloubce 12 m

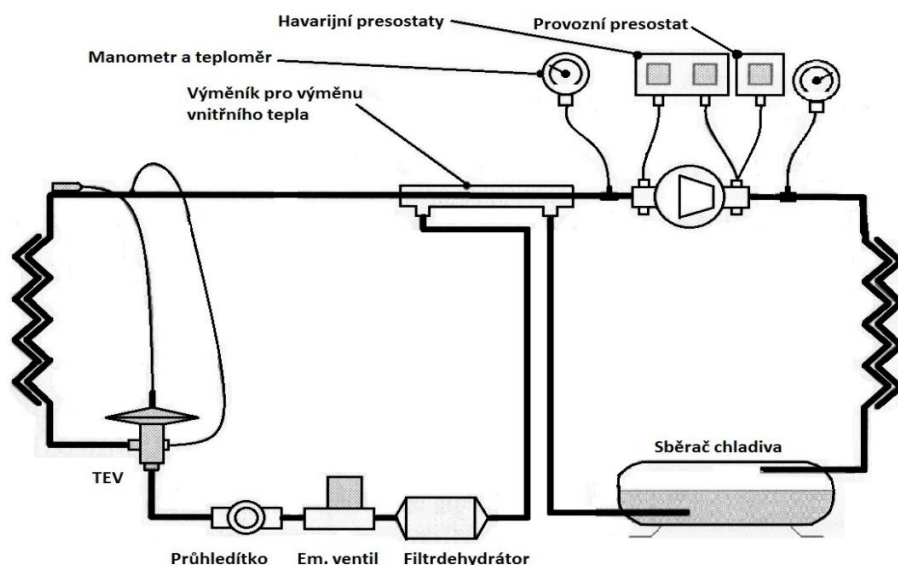
3.2.2 Chladivový okruh

Srdcem chladivového okruhu je kompresor značky Aspera (typ H7265P). V okruhu proudí chladivo R22, které se v dnešní době pomalu stahuje z doposud běžících zařízení a je zakázané ho používat v nových zařízeních, ale má skvělé termodynamické vlastnosti. Chladivo se odpařuje a ohřívá v deskovém výměníku V80/30 a kondenzuje a předává teplo topné vodě rovněž v deskovém výměníku B80/20. Zkondenzované chladivo odchází do ležatého sběrače chladiva. Chladivo z nižší části sběrače je vedeno přes vnitřní výměník tepla. Kapalně chladivo přehřívá plyn před sáním kompresoru. Z výměníku chladivo protéká přes filtr-dehydrátor, elektromagnetický ventil a průhledítko do TEV a do výměníku, kde se odpařuje a ohřívá od nemrznoucí směsi primárního okruhu. Cyklus za provozu běží spojitě. Vzhledem k bezpečnosti a životnosti zařízení jsou v okruhu připojeny presostaty, které vypnou čerpadlo za nestandardních podmínek. Veškeré komponenty jsou propojeny měděnými trubkami. Spojení trubek je buď letováním Ag pájkou anebo jsou použity kalíškové připojení.

Chladivový okruh:

- kompresor Aspera, typ H7265P, 400 V \sim /3P/50 Hz, kompatibilita Maneurop MT32
- chladivo R22 (CHClF₂), 4,5 kg
- sběrač chladiva ležatý, objem 4 l
- primární výměník SWEP V80/30, 30 desek
- sekundární výměník SWEP B80/20, 20 desek
- filtr-dehydrátor, EMG ventil, průhledítko
- termostatický expanzní ventil
- vnitřní výměník tepla
- presostaty a manometry

Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda



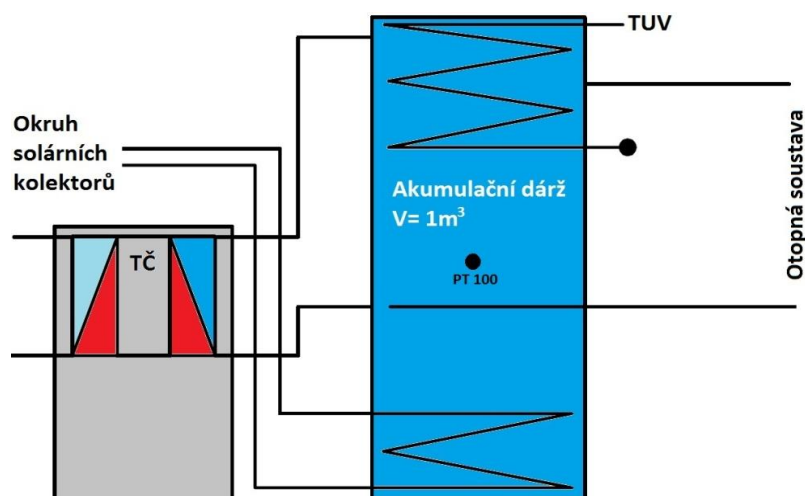
Obr. 3.3 Schéma chladivového okruhu TČ vlastní stavby [1]

3.2.3 Sekundární okruh

V sekundárním okruhu je zapojena akumuláční nádrž o objemu 1 m^3 a na akumuláční nádrž je přímo napojen otopný systém domu. V akumuláční nádrži je v horní polovině výměník pro přípravu teplé užitkové vody (TUV). Ve spodní části je umístěn výměník od solárních kolektorů. Tepelné čerpadlo ohřívá vodu v akumuláční nádrži a v případě potřeby vytápění se ohřátá voda odebírá do otopné soustavy domu.

Sekundární okruh:

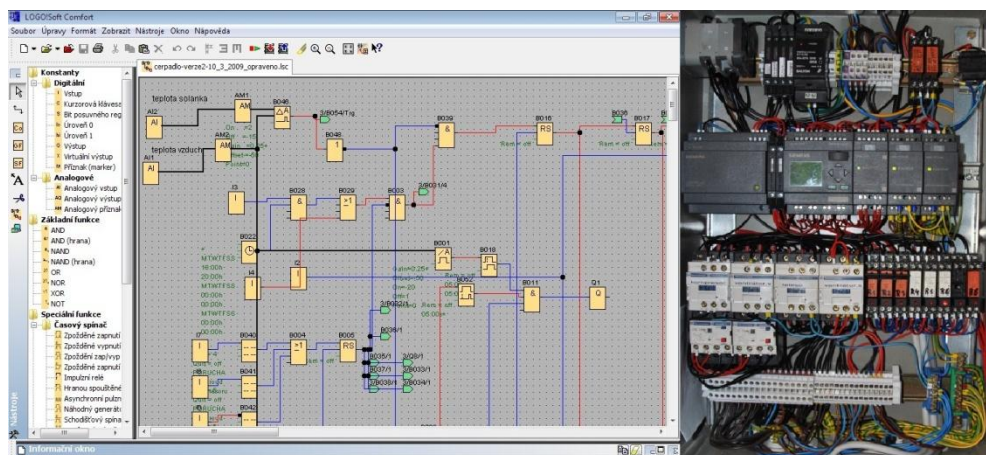
- sekundární výměník SWEP B80/20, 20 desek
- oběhové čerpadlo Grundfos 15-50 180
- akumuláční nádrž 1 m^3 , 5 mm ocelová stěna, izolace: 10 cm skelná vata, hliníková folie



Obr. 3.4 Schéma zapojení sekundárního okruhu. Umístění teplotního čidla PT 100

3.3 Provoz a regulace

TČ je regulováno a provozováno systémem LOGO! od Siemensu. LOGO! představuje univerzální logický modul. Nabízí řešení pro jednoduché spínání a řízení aplikací. Jednotka LOGO! řídí nejen provoz TČ, ale i provoz solárních kolektorů a vychlazování místnosti v suterénu.



Obr. 3.5 Vlevo je softwarové prostředí LOGO! a vpravo nainstalovaná jednotka

TČ je provozováno v letním a zimním režimu. Letní režim je určen časovým úsekem odpoledních hodin na nahřání vody po přípravu TUV v akumulární nádrži na teplotu 50 °C, která je snímána čidlem PT100. Zimní režim je určen pro vytápění a přípravu TUV. TČ je v pohotovosti 24 hodin denně a dle teploty v akumulární nádrži je v provozu či mimo provoz. Otopná soustava odebírá teplou vodu z akumulární nádrže dle potřeby.

Tab. 3.1 Regulované provozní parametry

Provozní charakteristiky	Hodnota
maximální teplota v akumulární nádrži	50 °C
diference teplot venkovního vzduchu a nemrzoucí směsi primárního okruhu pro zapnutí odtávání	10 °C
odtávání primárního okruhu	do +1 °C

4 Měřicí soustava

4.1 Měřené veličiny pro určení topného faktoru

Při experimentálním určení topného faktoru tepelného čerpadla dle rovnice 2.1 musíme měřit celkovou energii získanou a energii dodanou. Energie získaná je ve formě tepla, které je předáváno do vody a energie dodaná je v podobě elektrické energie, která je nutná pro provoz TČ.

Získanou tepelnou energii určíme z objemového průtoku a z rozdílu teplot výstupu a vstupu sekundárního okruhu. Pro určení množství tepla je nutné znát hustotu a tepelnou kapacitu pro danou teplotu. Toto teplo nám vyjadřuje rovnice 4.1.

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho_k \cdot c_k \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (4.1)$$

Hodnota měrné tepelné kapacity a hustoty vody byla vzata z programu SteamTab pro referenční teplotu vody 40 °C.

Tab. 4.1 Hustota a měrná tepelná kapacita vody při 40 °C [10]

t [°C]	ρ [kg/m ³]	c [kJ/kg*°C], p=konst.
40	992,175	4,17965

Dodávaná energie je kontinuálně měřená proudovým převodníkem na nejvytíženější fázi. Pro výpočet příkonu byl naměřen účinník spotřebiče. Následný výpočet příkonu je dán rovnicí 4.2.

$$P = 3 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (4.2)$$

Účinník byl odečten z displeje frekvenčního měniče náhodným výběrem data a doby provozu. Společně s účinníkem bylo naměřeno napětí elektrické sítě digitálním multimetrem.

Tab. 4.2 Měření účinníku kompresoru a napětí elektrické sítě

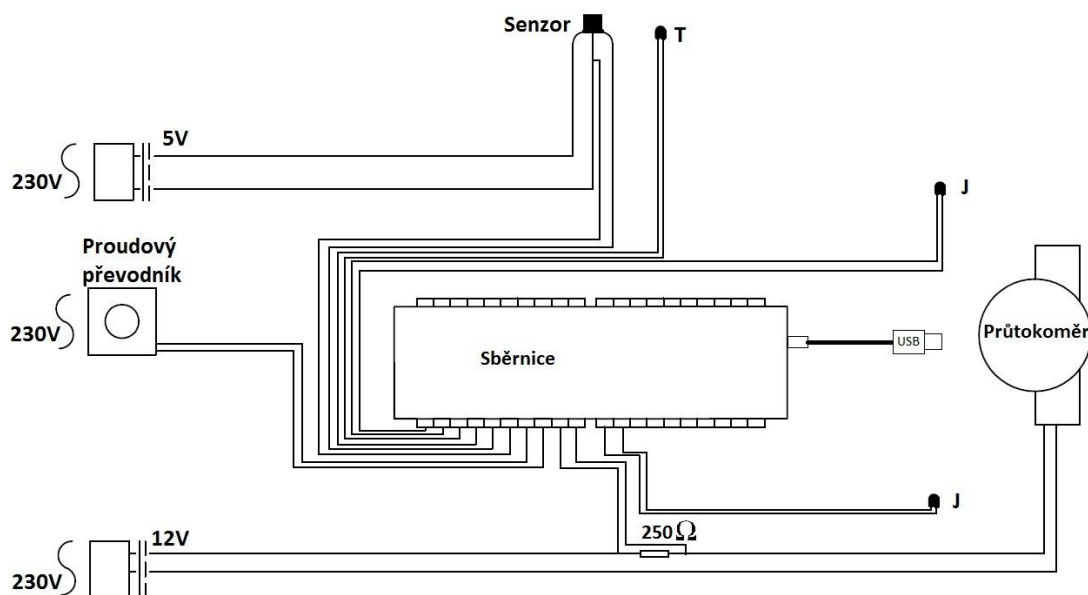
číslo měření	φ [°]	cos φ	U [V]
1	32,8	0,8405666035	235,2
2	32,7	0,8415107819	235,4
3	33,1	0,8377187166	235,3
4	32,9	0,8396198645	235,1
5	32,8	0,8405666035	235,5
6	32,6	0,8424523970	235,2
7	32,7	0,8415107819	235,0
8	32,6	0,8424523970	235,2
9	32,9	0,8396198645	235,5
10	33,0	0,8386705679	235,4
Průměr		0,8404688579	235,3

Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda

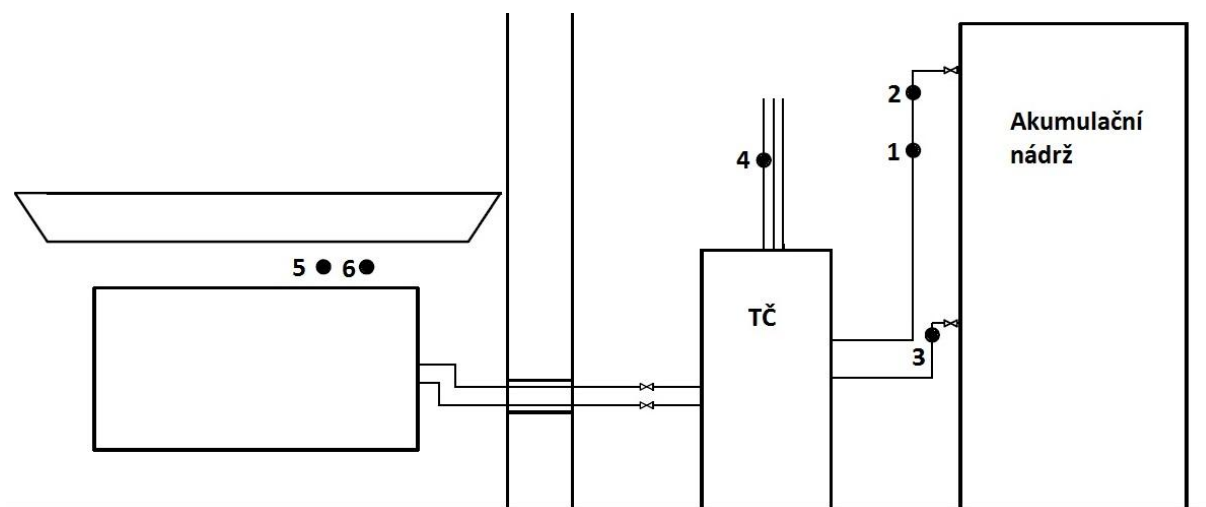
4.2 Měřicí technika

Vstupní a výstupní teploty sekundárního okruhu byly měřeny pomocí termočlánků typu J (Fe-K). Termočlánky byly umístěny na venkovní straně kulových ventilů. Pevně připevněny stahovací páskou a zaizolovány tepelně-izolační hliníkovou fólií. Venkovní teplota byla měřena termočlánkem typu T (Cu-K) a společně s teplotou byla měřena relativní vlhkost senzorem. Termočlánek a senzor vlhkosti byly umístěny pod stříškou trubkového, lamelového výměníku primárního okruhu. Pro měření průtoku byl použit kapalinový turbínový průtokoměr s vizuální indikací. Zabudování a připojení proběhlo dle manuálu [7]. Měření proudu na jedné fázi, která je nejvíce vytižená, bylo za pomoci proudového převodníku.

Některé z měřicích přístrojů je nutné napájet, aby plnily svoji funkci. Průtokoměr je dle návodu možné napájet stejnosměrným napětím 12-35 V. Průtokoměr je napájen zdrojem o napětí 12 V. Proudový převodník je napájen přímo z elektrické sítě střídavým napětím 230 V. Senzor vlhkosti je napájen zdrojem o výstupním napětí 5 V.



Obr. 4.1 Schéma zapojení měřicího systému



Obr. 4.2 Rozmístění měřicích čidel a přístrojů

Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda

Tab. 4.3 Typy měřících přístrojů

Umístění	Měřená veličina	Měřící přístroj
1	průtok	turbínový průtokoměr Omega FPR-205-PC
2	výstupní teplota sekundárního okruhu	termočlánek Omega 5TC-TT-J-24-72
3	vstupní teplota sekundárního okruhu	termočlánek Omega 5TC-TT-J-24-72
4	proud jedné fáze	proudový převodník Faget It-line EM229 6M2504
5	venkovní teplota	termočlánek Omega 5TC-TT-T-24S-SLE
6	venkovní vlhkost	senzor vlhkosti Honeywell HIH-4000-002

4.2.1 Omega FPR-205-PC

Průtokoměr Omega FPR-205-PC je celokovový turbínový průtokoměr. Má proudový výstup, ale jelikož je možné snímat pouze napěťové výstupy, bylo nutné do elektrického obvodu přidat rezistor do série a paralelně snímat napěťový signál na odporu. Snímané napětí dle průtoku je tedy 1-5 V.

Tab. 4.4 Kalibrace průtokoměru. Zjištění průtokové závislosti na výstupním napětí

U [V]	V [dm ³]	ṽ [dm ³ /s]	(dm ³ /s)/0,1V
1,00	1,5	nedetekován průtok	
1,10	2,2	0,0367	0,0367
1,20	3,1	0,0517	0,0258
1,30	4,5	0,0750	0,0250
1,40	5,5	0,0917	0,0229
1,50	6,6	0,1100	0,0220
1,60	7,8	0,1300	0,0217
1,70	8,9	0,1483	0,0212
1,80	10,3	0,1717	0,0215
1,90	11,4	0,1900	0,0211
2,00	13,0	0,2167	0,0217
2,10	14,2	0,2367	0,0215
2,20	15,6	0,2600	0,0217
2,16	15,2	0,2533	0,0218
2,70	26,4	0,4400	0,0259
2,84	28,0	0,4667	0,0254
Průměr			0,0237

Tab. 4.5 Technické parametry průtokoměru.[7]

výstup [mA]	připojení [mm]	p _{max} [Pa]	t média [°C]	měřící rozsah [dm ³ /min]	Napájení [V]
4-20	12,7	1,379*10 ⁶	-7 až 107	5,7 - 56,8	12-35 (---)

4.2.2 Faget It-line EM229 6M2504

Faget EM 229 je aktivní převodník střídavého proudu s výstupem 4-20 mA, 0-20 mA a 0-10 V. Snímač se vyznačuje kompaktními rozměry. Napájení převodníku je síťovým napětím 230 V.

Tab. 4.6 Technické parametry proudového převodníku.[12]

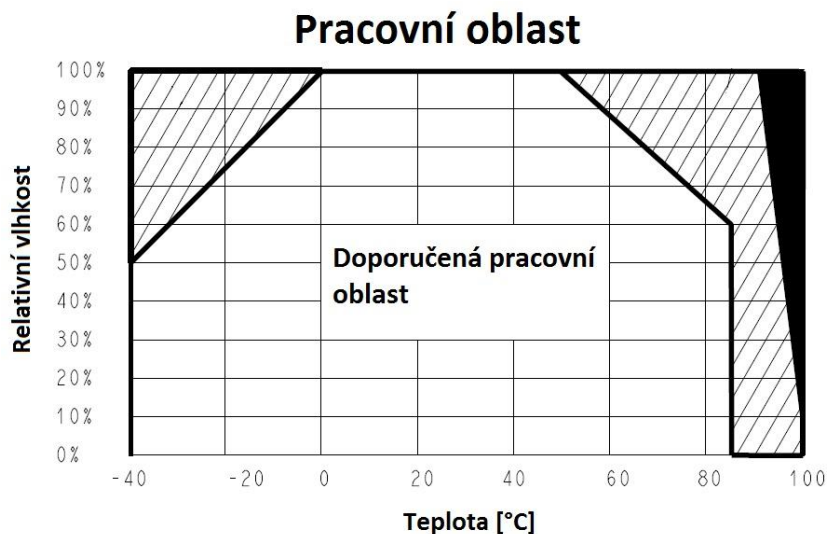
výstup [V]	max. měřený proud [A]	napájení [V]
0-10	15	230 (~)

4.2.3 Honeywell HIH-4000-002

Senzor je napájen stejnosměrným napětím 5 V. Výstup ze senzoru je 0-4 V přímo úměrně relativní vlhkosti vzduchu. Senzor relativní vlhkosti používá průmyslově osvědčené teplem vytvrditelné polymery a platinové elektrody v třívrstvé kapacitní konstrukci.

Tab. 4.7 Technické parametry senzoru vlhkosti [8]

výstup [V]	rozsah snímání φ [%]	napájení [V]
0-4	0-100	5



Obr. 4.3 Pracovní oblast vlhkoměru [8]

4.3 Hardware měřicího systému

Ze všech měřicích přístrojů byly napěťové výstupy zpracovány v datové sběrnici Omega OMB-DAQ-56 a ta přes USB připojení připojena k netbooku, kde se data následně ukládala.

Datová sběrnice OMB-DAQ-56 je uzpůsobena k měření více kanálů. Je možné měřit napěťové, pulzní, frekvenční a digitální I/O výstupy společně s termočládky. Připojení k PC pomocí jednoho USB kabelu zaručuje vysokorychlostní provoz a stabilní měřicí výkon. Jelikož je používán jeden modul, není třeba externího napájení sběrnice. Napájení je pomocí USB připojení k počítači.

K datové sběrnici Omega OMB-DAQ-56 je volně dostupný software Omega pDAQview, který byl nainstalován v počítači s operačním systémem Windows XP. Program má uživatelský jednoduché nastavení, které bylo nastaveno dle manuálu [5].

Tab. 4.8 Napěťové vstupy a typy termočládků [6]

Diferenciální	Jednodrátové připojení	Termočlánek	Teplotní rozsah (°C)	Odchylka (°C)
-20 až 20V	-10 až 20V	J	-100 až 700	±1,1
-10 až 10V	-10 až 10V	K	-200 až 1200	±1,2
-5 až 5V	-5 až 5V	T	-100 až 400	±1,1
-4 až 4V	-4 až 4V	E	-100 až 500	±1,0
-2,5 až 2,5V	-2,5 až 2,5V	R	-400 až 1400	±2,5
-1,25 až 1,25V	-1,25 až 1,25V	S	400 až 1400	±2,6
-1 až 1V	-1 až 1V	B	700 až 1400	±3,3
-625 až 625mV	-625 až 625mV	N	-100 až 700	±1,5
-500 až 500mV	-500 až 500mV			
-312 až 312mV	-312 až 312mV			
-250 až 250mV	-250 až 250mV			
-156 až 156mV	-156 až 156mV			
-125 až 125mV	-125 až 125mV			
-62 až 62mV	-62 až 62mV			
-31 až 31mV	-31 až 31mV			

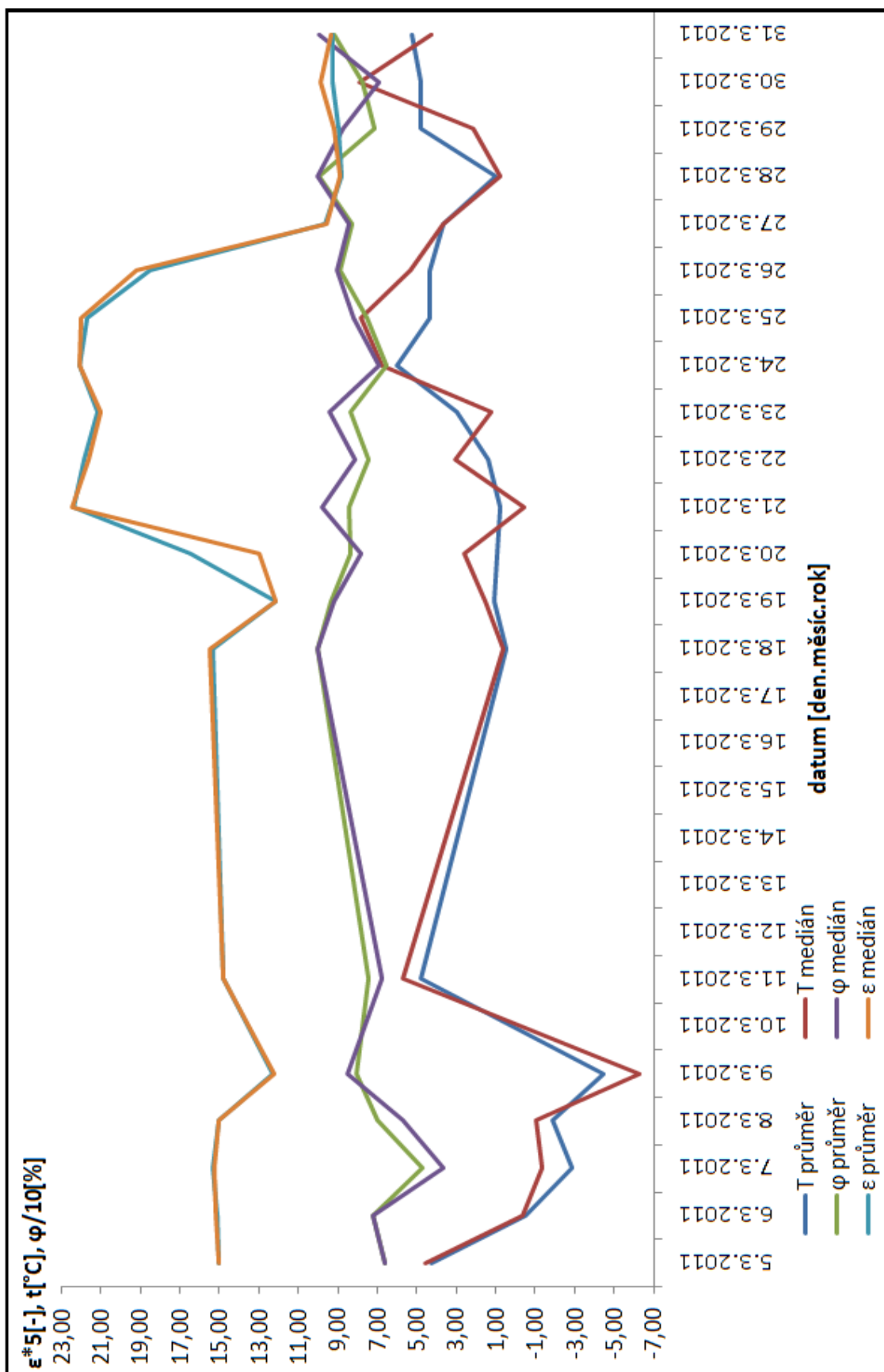
Data byla zaznamenávaná každých 40 sekund a zároveň probíhala autokalibrace připojených měřicích přístrojů. Naměřené hodnoty jsem jednou týdně uložil z programu do textového souboru a vyexportoval do MS Office Excel a následně vyhodnocoval.

5 Vyhodnocení měření

Měřicí soustava byla v provozu od 5. 3. 2011 do 23. 5. 2011. V MS Office Excel bylo přepočteno výstupní napětí dle vzorce na relativní vlhkost. Pomocí výstupního napětí průtokoměru, rozdílu teplot výstupu a vstupu do akumulární nádrže a konstant byl vypočten tepelný výkon. Výstupní napětí proudového převodníku bylo přepočteno na proud a dle vzorce pro příkon třífázového vodiče vypočten elektrický příkon tepelného čerpadla. Podílem tepelného výkonu a elektrického příkonu byl znám topný faktor.

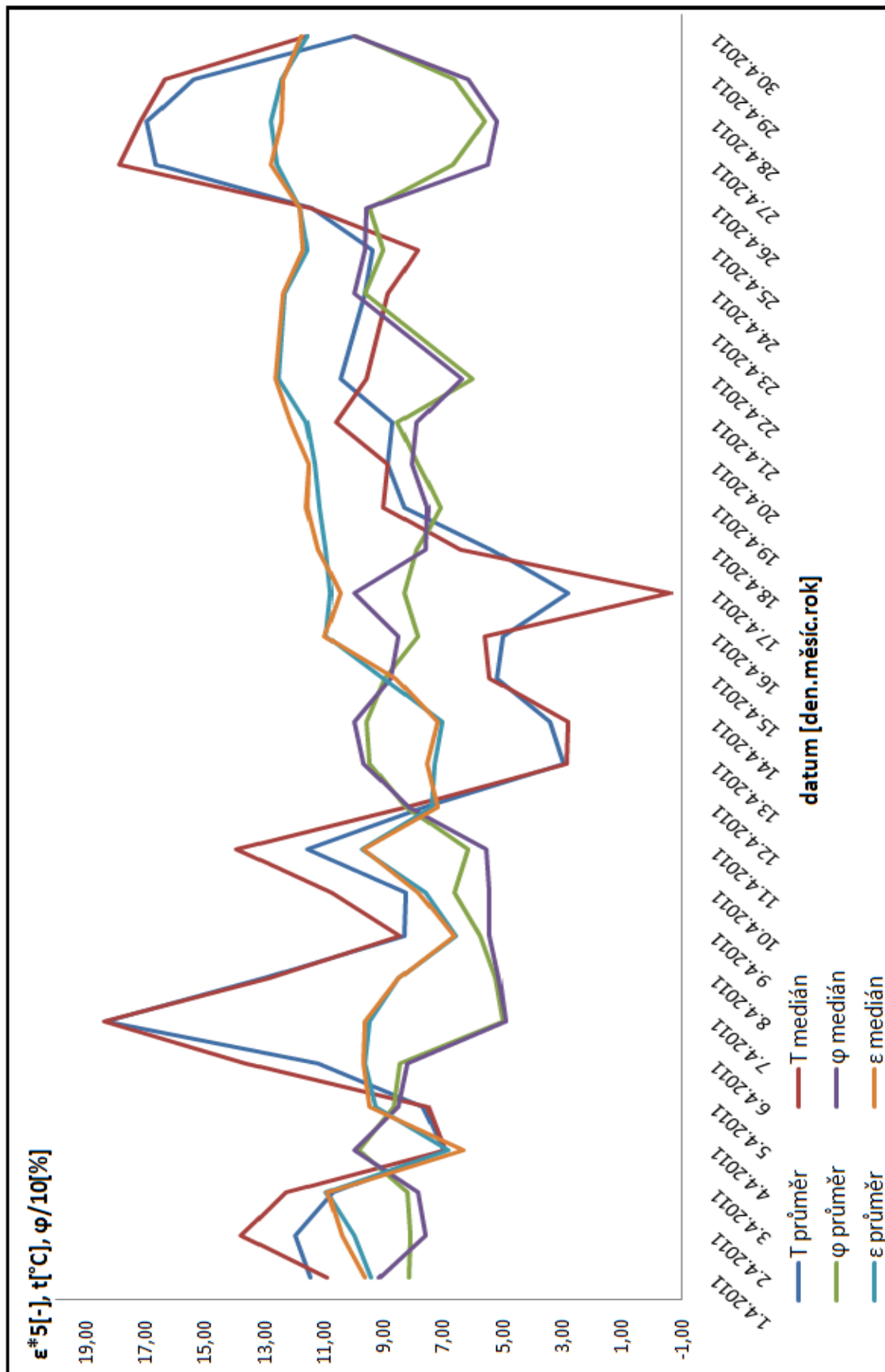
Pro vyhodnocení měření byl zvolen způsob denního průměru naměřených a spočtených hodnot společně s mediánem, základní výhodou mediánu jako statistického ukazatele je fakt, že není ovlivněn extrémními hodnotami. Do grafů byly vyneseny průměrné denní teploty, relativní vlhkosti a topné faktory společně s mediánem denních teplot, relativních vlhkostí a topných faktorů.

Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda



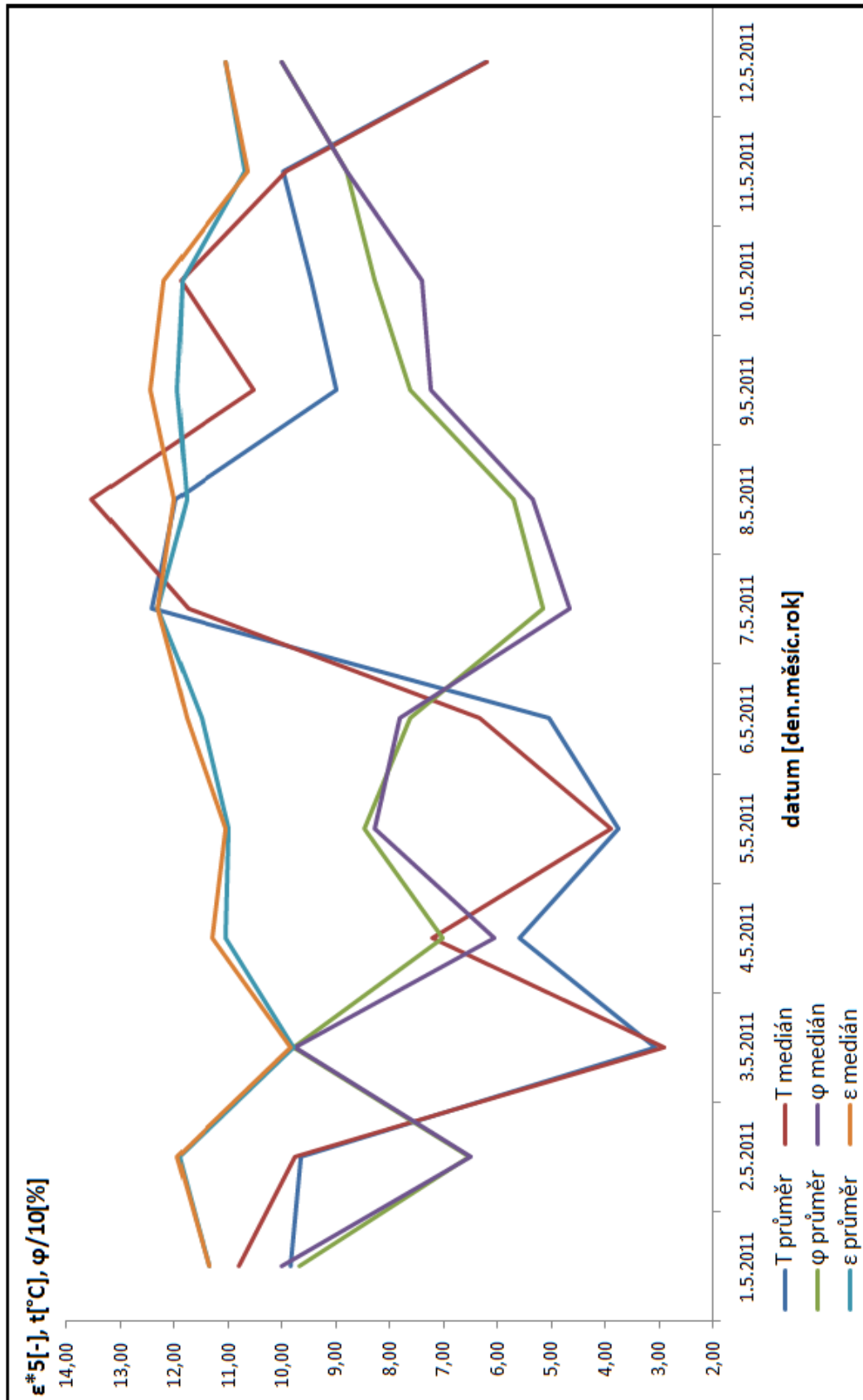
Graf 5.1 Průběh sledovaných veličin v měsíci březnu

Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda



Graf 5.2 Průběh sledovaných veličin s měsíci dubnu

Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda



Graf. 5.3 Průběh sledovaných veličin v měsíci květnu

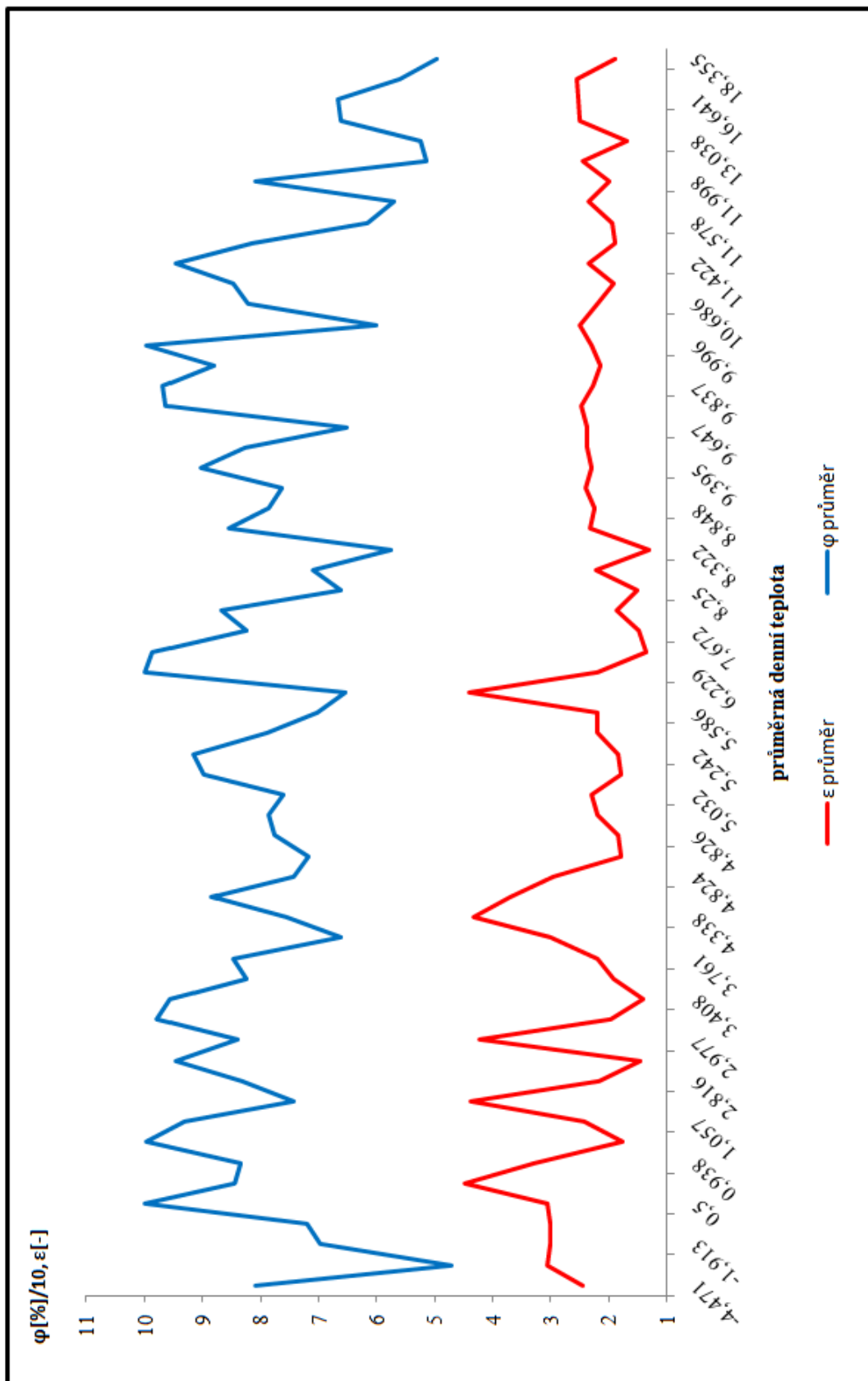
Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda

Na grafech 5.1 - 5.3 je patrná závislost průměrného denního topného faktoru na průměrné denní teplotě. To samé se nedá tvrdit o vlhkosti, ale je tam patrná malá závislost topného faktoru na relativní vlhkosti hlavně při velkém poklesu teploty a velkém nárůstu vlhkosti. V období 21.3 - 26.3 je patrný skokový nárůst topného faktoru z důvodu uvolnění jednoho termočlánku snímající vstupní teplotu vody sekundárního okruhu.

Kolísání topného faktoru je dáno nejen měnicí se venkovní teplotou a vlhkostí vzduchu, ale taky provozními podmínkami, kde došlo během měření ke změně z provozu zimního, který je určen pro topení v domě a pro přípravu TUV, na letní, který je určen pouze pro přípravu TUV, a též se projevil zvyšující se tepelný zisk ze solárních kolektorů. Tohle vše způsobuje, že dochází k poklesu topného faktoru, i když průměrná venkovní teplota má rostoucí tendenci.

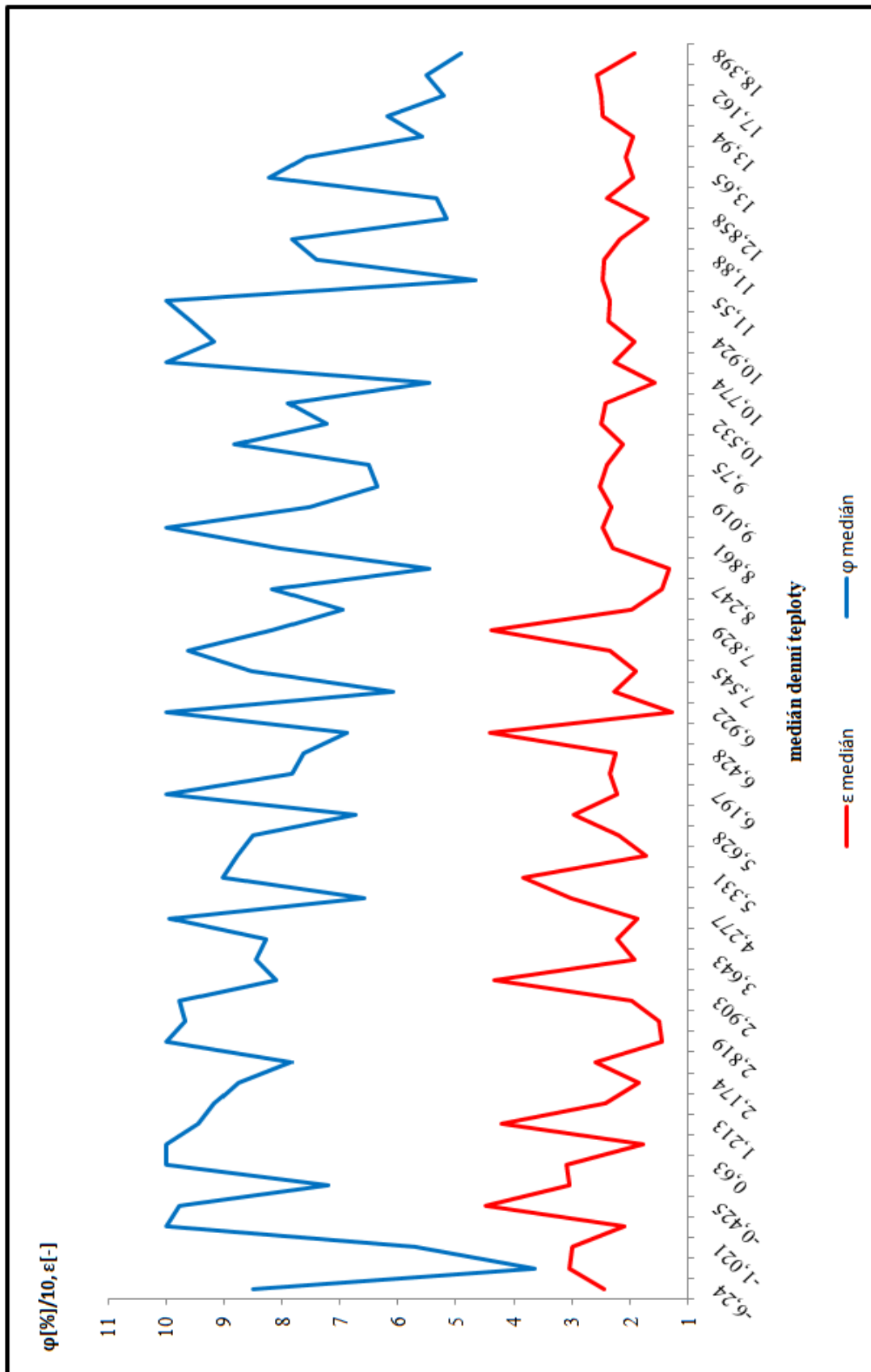
Graf 5.4 zobrazuje průběh průměrného denního topného faktoru a průměrné denní vlhkosti vzhledem k venkovní průměrné teplotě. Graf 5.5 zobrazuje průběh mediánu denního topného faktoru a mediánu denní vlhkosti vzhledem k venkovní průměrné teplotě. Z grafů je patrné, že od průměrné denní teploty 7 °C je hodnota průměrného topného faktoru vcelku stabilní a nedochází k velkému kolísání.

Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda



Graf 5.4 Závislost průměrného topného faktoru a průměrné relativní vlhkosti vzhledem k venkovní teplotě

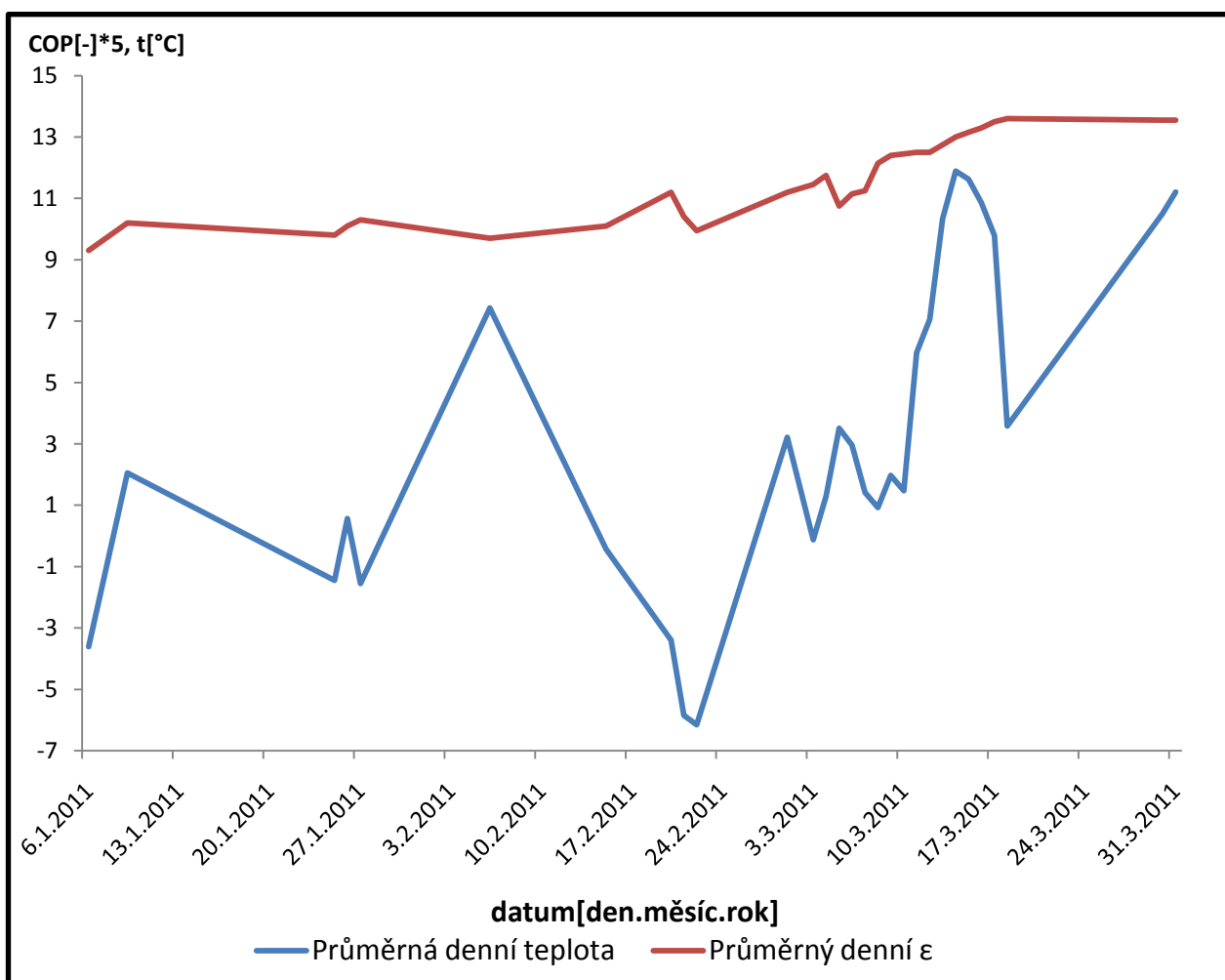
Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda



Graf 5.5 Závislost mediánu topného faktoru a mediánu relativní vlhkosti vzhledem k venkovní teplotě

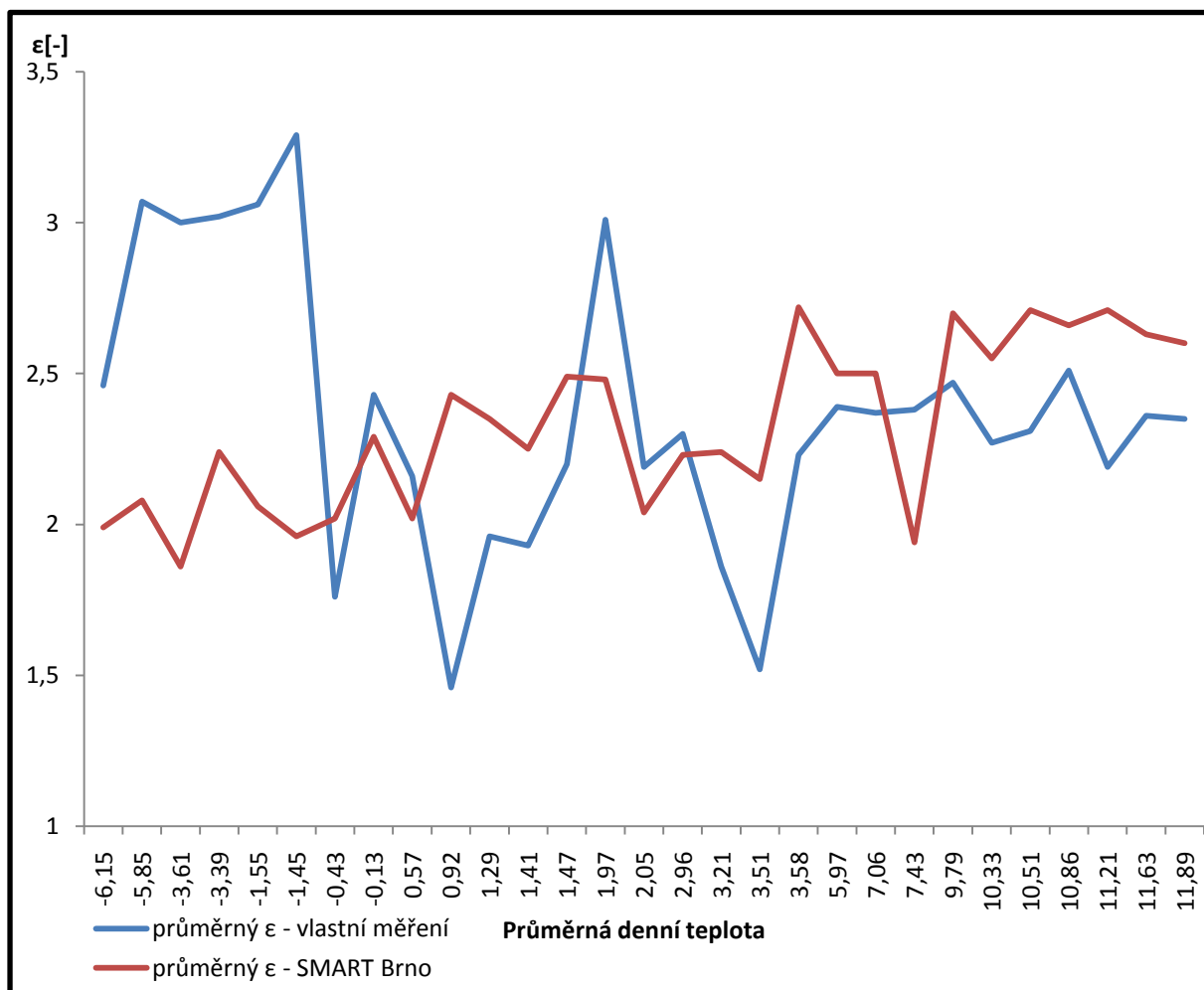
Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda

Firma SMART Brno nám poskytl data z měření tepelného čerpadla vzduch voda (split) o tepelném výkonu 16 kW série Polaris. Graf 5.6 zobrazuje průběh průměrného denního topného faktoru a průměrné denní teploty. V grafu 5.7 je srovnání průběhu velikosti topného faktoru vzhledem k venkovní teplotě. Data pro tento graf byla párována dle průměrné denní teploty do odchylky 0,5 °C průměrné denní teploty z obou měření.



Graf 5.6 Průběh sledovaných veličin od 6. 1. 2011 do 31. 3. 2011, firmy SMART Brno

Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda



Graf 5.7 Srovnání průměrných topných faktorů vzhledem k průměrné denní teplotě

6 Závěr

Cílem této práce navrhnout a realizovat měřicí systém pro měření tepelného výkonu a elektrického příkonu tepelného čerpadla. Vyhodnocením naměřených dat jsme dostali topný faktor, jehož velikost byla závislá na venkovní teplotě.

Měřicí systém pracuje zcela automaticky, a tudíž ho lze použít i pro dlouhodobější měření. Naměřené hodnoty lze uložit do databáze a následně vyhodnotit. Měření probíhalo od 5. 3. 2011 do 12. 5. 2011. V tento interval je využíváno tepelné čerpadlo pro účel vytápění a přípravu teplé užitkové vody či jen pro přípravu teplé užitkové vody. Při nižších teplotách venkovního vzduchu bylo vytápění zajištěno pomocí kotle na tuhá paliva a při vyšších teplotách venkovního vzduchu a při dostatečném tepelném zisku ze slunce je veškerá potřebná tepelná energie pokryta ze solárních kolektorů. Průměrná hodnota průměrných topných faktorů za měřené období je 2,41 a medián mediánů topných faktorů za měřené období je 2,33. Z měření firmy SMART Brno vyšel průměr průměrných topných faktorů 2,32 a medián průměrných topných faktorů 2,31. Hodnoty topných faktorů odpovídají TČ vzduch-voda vzhledem k venkovní teplotě, kdy bylo provozováno.

Měření prokázalo závislost topného faktoru na venkovní teplotě. S vzrůstající venkovní teplotou roste i topný faktor. Závislost topného faktoru na vlhkosti venkovního vzduchu nebyla zcela prokázána.

Z naměřených dat, je patrná ekonomická výhodnost TČ vlastní stavby, jelikož dříve k topení a k přípravě TUV bylo výhradně využíváno odporových přímotopů. V porovnání s hodnotami naměřených firmou SMART Brno je tepelné čerpadlo vlastní specifické stavby konkurence schopné.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

- [1] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo*. Kroměříž: Vydáno vlastním nákladem, 2003. 312 s. ISBN 80-239-0275-X.
- [2] DVOŘÁK, Zdeněk; KLAZAR, Luděk; PETRÁK, Jiří. *Tepelná čerpadla*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1987. 340 s.
- [3] TINTĚRA, Ladislav. *Tepelná čerpadla*. Praha: ABF, a.s. - Nakladatelství ARCH, 2003. 121 s. ISBN 80-86165-61-2.
- [4] JAŠEK, F. *Tepelná čerpadla – monitoring reálného provozu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 42s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.
- [5] *User's Guide OMB-DAQ-54/55/56: Omega Engineering. Inc.* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2011-02-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.omega.cohttp://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=OMB-DAQ55>>.
- [6] *Personal Daq USB Data Acquisition Modules : Omega Engineering. Inc.* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2011-02-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=OMB-DAQ55>>.
- [7] *User's Guide FPR 200 Flow Sensor : Omega Engineering. Inc..* [s.l.] : [s.n.], 2010. 16 s. Dostupné z WWW: <<http://www.omega.com/pptst/FPR200.html>>.
- [8] *HIH-4000 SERIES INTEGRATED CIRCUIT HUMIDITY SENSOR : HONEYWELL.* [s.l.] : [s.n.], 2009. 2 s. Dostupné z WWW: <<http://sccatalog.honeywell.com/pdbdownload/images/hih-4000.series.chart.1.pdf>>.
- [9] BELKO, Milan. *Alternativní zdroj energie - tepelné čerpadlo : Středoškolská činnost 2007/2008*. Příbyslavice, 2008. 42 s. Seminární práce. Gymnázium Třebíč.
- [10] *ChemicalLogic SteamTab Companion* [online]. Burlington, USA : [s.n.], 1999 [cit. 2011-05-1]. Dostupné z WWW: <<http://www.chemicallogic.com/steamtab/default.htm>>.
- [11] *MĚNIČ KMITOČTU - BULLETIN SSC 160 : PŘÍRUČKA UŽIVATELE* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2000 [cit. 2011-04-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.controltech.cz/>>.
- [12] FAGET IT-LINE : CURRENTTRANSDUCER, MODEL EM229. [s.l.] : [s.n.], 2008. 1 s.

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

Veličina	Značka	Jednotka
Topný faktor	ε	-
Tepelný tok	\dot{Q}	$W = J \cdot s^{-1}$
Výkon, příkon	P	$W = J \cdot s^{-1}$
Termodynamická teplota	T	K
Objemový tok	\dot{V}	m^3
Teplota	t	$^{\circ}C$
Objemový tok	V	$m^3 \cdot s^{-1}$
Hustota	ρ	$kg \cdot m^{-3}$
Měrná tepelná kapacita	c	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
Relativní vlhkost	φ	%
Účíník	$\cos \varphi$	-
Napětí	U	V
Proud	I	A
Tlak	p	Pa

Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda

PŘÍLOHA

Tabulka naměřených hodnot – denní průměry a mediány sledovaných veličin.

	Teplota		Vlhkost		COP	
	T průměr	T medián	φ průměr	φ medián	ε průměr	ε medián
5. 3. 2011	4,25	4,57	66,3	65,9	3,01	3,01
6. 3. 2011	-0,51	-0,33	72,1	72,0	3,02	3,04
7. 3. 2011	-2,84	-1,35	47,2	36,4	3,07	3,05
8. 3. 2011	-1,91	-1,02	69,8	57,0	3,00	3,00
9. 3. 2011	-4,47	-6,24	80,8	85,1	2,46	2,44
11. 3. 2011	4,82	5,72	74,4	67,3	2,96	2,96
18. 3. 2011	0,50	0,63	100,0	100,0	3,06	3,09
19. 3. 2011	1,06	1,50	93,2	91,6	2,43	2,43
20. 3. 2011	0,94	2,58	83,4	78,5	3,29	2,59
21. 3. 2011	0,76	-0,43	84,4	97,8	4,48	4,49
22. 3. 2011	1,39	3,08	74,4	81,1	4,37	4,33
23. 3. 2011	2,98	1,21	83,9	94,5	4,23	4,21
24. 3. 2011	6,02	6,80	65,4	68,8	4,42	4,42
25. 3. 2011	4,34	7,83	75,6	81,7	4,34	4,40
26. 3. 2011	4,34	5,33	88,5	90,1	3,70	3,84
27. 3. 2011	3,65	3,64	82,5	84,5	1,93	1,92
28. 3. 2011	0,98	0,78	99,8	100,0	1,76	1,77
29. 3. 2011	4,83	2,17	71,7	87,5	1,80	1,84
30. 3. 2011	4,83	7,91	77,7	69,5	1,85	1,98
31. 3. 2011	5,24	4,28	91,7	99,3	1,85	1,87
1. 4. 2011	11,44	10,92	81,5	91,6	1,89	1,93
2. 4. 2011	12,00	13,80	80,9	75,8	2,00	2,08
3. 4. 2011	10,69	12,27	82,1	78,3	2,19	2,18
4. 4. 2011	7,01	6,92	98,6	100,0	1,37	1,27
5. 4. 2011	7,69	7,55	86,7	85,2	1,86	1,90
6. 4. 2011	11,21	13,65	84,8	82,2	1,93	1,94
7. 4. 2011	18,36	18,40	49,8	49,2	1,90	1,93
8. 4. 2011	13,04	12,86	52,5	51,5	1,70	1,70
9. 4. 2011	8,32	8,44	57,4	54,7	1,32	1,33
10. 4. 2011	8,25	10,77	66,2	54,7	1,52	1,57
11. 4. 2011	11,58	13,94	61,7	55,8	1,95	1,94
12. 4. 2011	7,67	8,25	82,5	81,7	1,48	1,44
13. 4. 2011	2,95	2,85	94,7	96,8	1,46	1,51
14. 4. 2011	3,41	2,82	95,6	100,0	1,41	1,44
15. 4. 2011	5,22	5,44	89,9	87,8	1,80	1,72
16. 4. 2011	5,02	5,63	78,5	85,1	2,19	2,20
17. 4. 2011	2,82	-0,62	83,2	100,0	2,16	2,09

Měření teplotní závislosti topného faktoru tepelného čerpadla vzduch-voda

18. 4. 2011	5,40	6,43	78,9	76,2	2,19	2,24
19. 4. 2011	8,31	9,02	71,1	75,3	2,23	2,32
20. 4. 2011	8,85	8,86	78,5	80,6	2,26	2,30
21. 4. 2011	8,73	10,61	85,6	78,9	2,32	2,43
22. 4. 2011	10,46	9,58	60,2	63,6	2,51	2,53
24. 4. 2011	9,65	8,86	96,4	100,0	2,47	2,48
25. 4. 2011	9,40	7,83	90,4	96,3	2,31	2,34
26. 4. 2011	11,42	11,47	94,7	95,8	2,36	2,36
27. 4. 2011	16,64	17,88	66,8	55,1	2,52	2,56
28. 4. 2011	16,95	17,16	55,9	52,0	2,56	2,49
29. 4. 2011	15,39	16,37	66,3	61,9	2,49	2,48
30. 4. 2011	10,00	11,55	99,8	100,0	2,31	2,35
1. 5. 2011	9,84	10,81	96,9	100,0	2,27	2,27
2. 5. 2011	9,65	9,75	65,2	65,1	2,38	2,39
3. 5. 2011	3,06	2,90	97,9	97,6	1,96	1,97
4. 5. 2011	5,59	7,20	70,3	60,7	2,21	2,26
5. 5. 2011	3,76	3,89	84,8	82,8	2,20	2,21
6. 5. 2011	5,03	6,34	76,1	78,2	2,30	2,35
7. 5. 2011	12,41	11,73	51,4	46,7	2,46	2,46
8. 5. 2011	11,98	13,54	57,1	53,4	2,35	2,40
9. 5. 2011	9,00	10,53	76,3	72,3	2,39	2,49
10. 5. 2011	9,46	11,88	82,7	74,1	2,37	2,44
11. 5. 2011	9,97	9,92	88,1	88,1	2,14	2,13
12. 5. 2011	6,23	6,20	100,0	100,0	2,21	2,21