

**České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická**

Czech Technical University in Prague
Faculty of Electrical Engineering

Katedra řídicí techniky
Department of Control Engineering



Řídicí systémy pro rodinné domy
Control systems for family houses

Diplomová práce

Vypracoval: **Marek Vachule**
Akademický rok: 2010/2011
Datum a místo: 13. května 2011, Praha
Vedoucí: Ing. Lukáš Ferkl, Ph.D.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Marek Vachule**

Studijní program: Elektrotechnika a informatika (magisterský), strukturovaný
Obor: Kybernetika a měření, blok KM1 - Řídicí technika

Název tématu: **Řídicí systémy pro rodinné domy**

Pokyny pro vypracování:

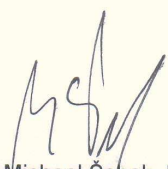
1. Seznamte se s plánovanými komponentami tvořícími řídicí a měřicí systém rodinného domu vytápěného lokálním zdrojem tepla podle podkladů vedoucího práce.
2. Realizujte řídicí a měřicí systém a otestujte v laboratorních podmínkách.
3. Navrhněte pro řídicí a měřicí systém jednoduchou regulaci vytápění tak, aby bylo možné individuálně regulovat teplotu v jednotlivých místnostech rodinného domu.
4. Řídicí a měřicí systém realizujte na reálném domě (dodá vedoucí práce). Zhodnoťte tepelný komfort dosažený individuální regulací tepla v jednotlivých místnostech.

Seznam odborné literatury:


- [1] UNDERWOOD, C. P. HVAC Control Systems – Modelling, Analysis and Design. E&FN SPON, London, 1999.
[2] Produktové materiály výrobců HW komponent – Advantech, Microrisk

Vedoucí: Ing. Lukáš Ferkl, Ph.D.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2011/2012


prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry




doc. Ing. Boris Šimák, CSc.
děkan

V Praze dne 18. 3. 2010

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze, dne 8.5.2011


podpis

Anotace

Cílem této diplomové práce bylo seznámit se s požadavky na vytápění rodinných domů, a pak na základě měření na jednom konkrétním domě, navrhnout optimální algoritmy pro vytápění.

Teoretický rozbor v úvodní části práce nabízí stručnou představu o pojmu rodinný dům. Dále popisuje měřený dům a jeho konkrétní parametry.

Následující část práce se zabývá rozбором možných vlivů na vytápění domů, ať už vnitřních či venkovních. Poté je dosti podrobně popsán princip měřicího softwaru i hardwaru a celý postup vývoje. Je také popsán princip ukládání dat i struktura celého měření.

V další části, jsou popsána a následně zanalyzována naměřená data jak z měření teplot, tak z měření spotřeby plynu. Na závěr je uvedeno několik srovnávacích grafů pro teploty v domě a venkovní teploty. V rámci analýzy je pak proveden výpočet prostupu tepla domem.

V závěru je pak představen model tepelné bilance domu, nasimulovaný v prostředí Simulink toolbox IBPT (DTU), který pracuje na základě dat o měřeném domě.

Práce zatím poukazuje na to, že vytápění rodinných domů je velice komplikovaným souhrnem mnoha vlivů. Dále bylo zjištěno, že při kvalitním navržení potrubí, počtu topných těles a jejich velikosti, si obyvatelé mohou teploty v domě zregulovat sami jednoduchými ventily topných těles. Termostatické hlavice pak mají smysl jen u místností náchylných na rychlé ohřátí sluncem. Tedy jde hlavně o místnosti otočené k jihu nebo umístěné těsně pod střechou domu, pokud střecha výrazně propouští teplo či má akumulární schopnost.

Velkým přínosem práce je samotné podnícení vytvoření komplexního měřicího systému včetně hardware.

Abstract

The main goal of this diploma thesis was to describe main requirements for the heating of family houses. Based on the measurement of specific house optimal algorithms for central heating control were designed.

In the introductory theoretical part of the work, the term family house is defined. Afterwards, a specific house and its concrete parameters are described.

In the following part of the work possible internal and external influences on heating of family houses are discussed. In addition, a complete description of the development and details of the used software and hardware is provided. The principles of data storage and the structure of the measurement are described as well.

In the subsequent part, the acquired data from both temperature and gas consumption measurements are analysed and described. In the end, several comparison graphs for internal and external temperatures are presented. As part of the analysis the house heat penetration is calculated.

In conclusion part of the work, the heat-balance model of family house simulated in Simulink toolbox IBPT (DTU) is presented. This model is based on experimental data from the measured house. The results are presented in the final part of the work.

Work so far indicates that the heating of houses is very complicated sum of many influences. It was found that the quality design of piping, number of heating elements and their size, the residents can control the temperature in the house alone single radiator valves.

Thermostats then have meaning only in rooms prone to rapid heating of the sun. So it's mostly a room facing south and located just under the roof of the house when the roof substantially transmits heat or the storage capacity.

A major benefit of the work itself is stimulating the creation of a comprehensive measurement system including hardware.

Poděkování

Chtěl bych velmi poděkovat všem, kdo mi pomáhali při tvorbě této práce ať už přímo, nebo nepřímo. V úvodu při konzultacích nad operačním systémem linux panu Bc. Františku Ryšánkovi a panu Ing. Michalu Sojkovi, Ph.D.. Dále pak Ing. Ondřeji Nývltovi, za cenné rady a především trpělivost při programování měřících modulů.

Za meteorologické podklady dále děkuji RNDr. Miloslavu Müllerovi, Ph.D. z Ústavu fyziky atmosféry AVČR.

A v neposlední řadě pak děkuji Ing. Lukáši Ferklovi, Ph.D. vedoucímu mé diplomové práce za velkou trpělivost, cenné rady a podnětné připomínky.

Velice děkuji také svým rodičům, sourozencům a mé (v průběhu) manželce, protože mi v průběhu studia i psaní této práce poskytovali veškerou podporu.

Obsah

Úvod.....	3
1. Základní pojmy	3
1.1 Rodinný dům.....	4
1.2 Právní vymezení.....	5
1.3 Zákony a vyhlášky	5
1.4 Normy	5
2. Popis měřeného domu.....	6
2.1 Konstrukce	7
2.2 Místnosti měřeného domu.....	8
2.3 Parametry vytápění domu	9
2.3.1 Kotel.....	9
2.3.2 Topná tělesa	10
3. Rozbor možných vlivů na tepelný komfort v domě.....	11
3.1.1 Větrání.....	11
4. Měření	12
4.1 Druhy měření	12
4.2 Technické informace k měření.....	12
4.3 Úvodní nastavení	13
4.3.1 Nastavení kotle.....	13
4.3.2 Nastavení ventilů	13
4.4 Slepé uličky.....	15
4.5 Měřicí soustava	15
4.6 Teploměry	16
4.6.1 Komunikační brána (Gateway)	18
4.7 Popis programu	19
4.8 Ukládání dat	20
5. Naměřená data	21
5.1 Teplota	21
5.1.1 První měření.....	22
5.1.2 Druhé měření	26
5.2 Spotřeba plynu	30
6. Analýza dat	31
6.1 Spotřeba plynu a ECO režim kotle	31
6.1.1 Výpočet spotřeby plynu	32
6.2 Spotřeba plynu a teplotní ztráty	34
6.3 Naměřené teploty v místnostech/ ladění ventily	36

6.4	Spotřeba TUV podle regresního modelu	36
7.	Řízení	37
7.1	Obecné parametry	37
7.2	International Building Physics Toolbox (IBPT)	38
7.2.1	Struktura bloků.....	38
7.2.2	Výměna dat	39
7.2.3	Vytvoření modelu	39
7.2.4	Nastavení parametrů	40
7.2.5	Soubor hodnot počasí.....	40
7.2.6	Simulace.....	40
7.3	Parametry domu pro simulace.....	41
8.	Výsledky	42
9.	Závěr	43
10.	Použitá literatura	45
11.	Příloha A – Obsah vloženého CD	47
12.	Příloha B – Projektová dokumentace domu Strašnická 27	48
12.1	Dům.....	48
12.2	Topná tělesa	53
12.3	Kotel.....	54
12.4	Tabulky (všechny) – ogimet, spořilov	56
12.5	Fotografie	57

Úvod

Vytápění domů je v posledních letech velmi diskutovaným tématem. I na tomto odvětví se stejně jako na jiných velmi významně podepisuje ekonomická stránka. Tedy řečeno velmi zjednodušeně, odvětví, která nepřinášejí dostatečné zisky, nejsou firmami dostatečně podporována. Tomu také odpovídá na trhu nabízené zboží a služby v daném oboru. Proto také najdeme množství velkých realizací v oblasti vytápění u kancelářských budov, budov nákupních středisek či nemocničních areálů.

Velké objemy prostoru i výkonu, respektive příkonu, dávají i nepoměrně větší naději na úspory. Ať už začneme výměnou kotlů či výtopen nebo výměňkových stanic, či jen na budovy připojíme solární panely nebo tepelná čerpadla. Při dobrém řízení pak mohou úspory za velmi krátký čas zaplatit nejen celou modernizaci, ale i velmi podstatně odlehčit rozpočtům zmíněných nemocnic či jiných velkých komplexů.

Vytápění budov je tedy regulováno pokročilými metodami ve větším měřítku pouze v případě velkých průmyslových a nemocničních objektů nebo administrativních budov. Nejedna firma, která se specializuje na instalace topných těles, tepelných čerpadel či solárních panelů, aplikuje pouze jednoduchou zpětnou vazbu – zdroj tepla, topné těleso a teploměr (termostat). I přesto při aplikaci na velké projekty a areály toto řízení velmi podstatně šetří energii i prostředky v případě, že je správně vytvořeno.

Přesto i problematika vytápění, pasivní domy a zateplování stávajících konstrukcí rodinných domů je ve stavebnictví velmi důležitou kapitolou. S tím souvisí i mnoho různých přístupů k návrhu, řešení a regulaci teploty v rodinných domech. Objevují se častěji kombinace kotlů na tuhá paliva s klasickými kotli plynovými. V rodinných domech se instalují krby s tepelnými výměníky a další a další řešení.

Proto se v následující práci pokusíme proniknout do problematiky rodinných domů a jejich tepelných vlastností a snad i odpovědět na to, zda má pokročilá regulace v případě rodinných domů naději.

1. Základní pojmy

Na úvod by bylo dobré si zavést některé pojmy, které bezprostředně souvisí s problematikou vytápění rodinných domů, vymežit pojem rodinného domu jako takový a uvést některá základní specifika těchto domů. A předně zmínit parametry domu, na kterém byla prováděna podkladová měření a realizovány pokusy.

1.1 Rodinný dům

Definice rodinného domu je dána vyhláškou č. 137/1998 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), vydanou ministerstvem pro místní rozvoj.

Vyhláška praví: „*Rodinný dům je stavba pro bydlení, která svým stavebním uspořádáním odpovídá požadavkům na rodinné bydlení a v níž je víc než polovina podlahové plochy místností a prostorů určena pro bydlení. Rodinný dům může mít nejvýše tři samostatné byty, nejvýše dvě nadzemní a jedno podzemní podlaží a podkroví.*“

Rodinný dům je chápán jako dům, který je již svým názvem určen pro celoroční pobyt jeho obyvatel – rodiny. Můžeme brát na zřetel i domy, kde společně bydlí dvě či tři rodiny (generace), viz formulace vyhlášky. Střešní konstrukce a další konkrétní stavební parametry mohou být v zásadě libovolné, byť samozřejmě podléhají určitým limitům a normám.

Pro potřeby této práce, tedy vytápění rodinných domů, budeme však sledovat hlavně parametry s teplem a teplotou související. Z tohoto pohledu je třeba zjistit především izolační vlastnosti domu, druh vytápění a samozřejmě druh a počet topných těles – radiátorů. Pak je nutné se zaměřit na ventily topných těles a další parametry s vytápěním související.

Nesmíme však přitom zapomínat, že následující text se bude zabývat spíše domy starší konstrukce. S tím souvisí i jiné nároky na parametry domu v době schvalování stavby. Měřený dům je postaven na přelomu 80. a 90. let, a tudíž podle odlišných norem na lineární činitel Ψ prostupu tepla, izolaci a teplotní komfort.

Není jistě s podivem, že konstrukce dnešních domů mají výrazně odlišné limity na součinitel prostupnosti tepla $\left| \frac{W}{(m^2K)} \right|$. Není to jen v důsledku níže zmíněných vyhlášek, norem a nařízení, ale také tím, že lidé chtějí ušetřit. Jedná se především o kalkulaci nákladů na dům s takovými parametry, aby bylo možné dosáhnout na dotace od státu. A zároveň i v budoucnu šetřit na energii za vytápění.

Informace, které je dobré uvést ještě před tím, než se začneme zabývat samotným měřením a řízením, jsou obecné požadavky na vytápění. Mám tím na mysli, že rodinný dům rovná se cca 12 – 14 topných těles, dnes již o mnoho menších než dříve, která ale nutně nemusíme řídit všechna. Rodinný dům mívá většinou jeden až dva radiátory umístěny v suterénu či zázemí domu (předsín, garáž, dílna, sušárna, prádelna, komora a další). Ostatní radiátory jsou pak rozmístěny nejčastěji pod okny v pokojích, a to v 6 – 8 místnostech při jedné rodině a 12 – 14 při dvou rodinách.

Obečně vzato jsou nejběžnější rodinné domy s uspořádáním jako u běžného bytu 3+1 a dále se zázemím, tedy garáží, dílnou, vstupní halou a příslušenstvím.

1.2 Právní vymezení

Vytápění domů, respektive jejich tepelně izolačních vlastností se týká mnoho vyhlášek a norem. Za všechny si pro přehlednost uvedeme ty, které se problematiky rodinných domů a jejich tepelně izolačních vlastností týkají nejvíce.

1.3 Zákony a vyhlášky

Jedná se jistě o zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření s energiemi, dále o vyhlášku č. 152/2001 Sb., ministerstva průmyslu a obchodu, kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé užitkové vody, měrné ukazatele spotřeby tepla pro vytápění a pro přípravu teplé užitkové vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům. A dále českou technickou normu o tepelné ochraně budov - ČSN 730540-1 až 4, vydanou v roce 2002.

Vyhláška o územně plánovací dokumentaci č. 131/1998 Sb. byla vydaná ministerstvem pro místní rozvoj v květnu 1998 a podrobněji upravuje obsah územně plánovacích podkladů, územně plánovací dokumentace, způsob jejího pořizování, zpracování, projednávání a schvalování, a obsah a způsob zpracování registračních listů. Vyhláška se nevztahuje na pořizování územně plánovací dokumentace a územně plánovacích podkladů Ministerstvem obrany[12].

1.4 Normy

ČSN 730540-1 – Terminologie. Tato norma vymezuje základní termíny užívané v oboru stavební tepelné techniky, definice veličin, jejich značky a jednotky popisující šíření tepla, vlhkosti a vzduchu stavebními materiály a konstrukcemi a jednotky popisující stav vnitřního a venkovního prostředí, používané pak v následujících normách.

ČSN 730540-2 – Požadavky. V této normě se stanovují tepelně technické požadavky pro navrhování a ověřování budov s požadovaným stavem vnitřního prostředí při jejich užívání, které podle stavebního zákona zajišťují hospodárné splnění základního požadavku na úsporu energie a tepelnou ochranu budov. Dodržení tepelně technických požadavků zajišťuje zejména nízkou energetickou náročnost budov.

ČSN 730540-3 – Návrhové hodnoty veličin. Norma stanoví národní normové, charakteristické a návrhové hodnoty fyzikálních veličin stavebních materiálů a výrobků, výplní otvorů, zděných prvků a zdiva, návrhové hodnoty veličin vnějšího prostředí, vnitřního prostředí a vzduchu pro navrhování a ověřování stavebních konstrukcí a budov z hlediska šíření vlhkosti a jejich tepelné ochrany podle ČSN 73 0540-4 a norem souvisejících.

ČSN 73 0540-4 - Výpočtové metody. Zde se reaguje jak na změny ve struktuře hodnocených veličin podle revize a změny požadavků v části 2 normy, tak na zavedení rozsáhlého souboru evropských a mezinárodních norem výpočtových metod. Pro každou veličinu je uvedeno, co se výpočtem hodnotí, za jakých okrajových podmínek se provádí výpočtové hodnocení, jaké normy pro tato hodnocení zejména platí, co musí výpočtové hodnocení zahrnovat a jaké je zásadní členění použitelných výpočtových metod, popř. jak se při hodnocení postupuje u specifických druhů konstrukcí.

2. Popis měřeného domu

Jedná se o řadový rodinný dům postavený v roce 1983. Je součástí bloku pěti objektů, rozdělených na dva krajní, dva vnitřní a jeden střední. Měření jsou prováděna na středním domě. Tento dům je dvougenerační, tedy s dvěma samostatnými bytovými jednotkami nad sebou. V přízemí se nalézá vstupní hala se schodištěm, několik menších komor, kotelna, sušárna a garáž na dvě stání s přilehlou dílnou. Dům není podsklepen, pouze část suterénu je v zadní části domu pod úrovní zeminy (viz Výkres 4).



Obrázek 1 Poloha domu

2.1 Konstrukce

Dům je třípodlažní, suterén je cihelný, tradičně vyzdívaný, obě obytná podlaží jsou montována ze stěnových dílců SIPOREX. Spojování dílců z tohoto materiálu je provedeno tak, aby nevznikaly ve stěnách tepelné mosty z vrstev betonu. Velké kusy SIPOREXU byly totiž kladeny vedle sebe, poté vysekávány větší venkovní a vnitřní spáry a zazděno. Tím se zamezilo tepelným mostům a dům má podstatně lepší parametry než mnoho domů z této doby. Nosné stěny mají v suterénu tloušťku 30 cm, v dalších patrech 25 cm. Vodorovné stropní konstrukce jsou ve všech podlažích montované z keramických stropních desek POD o síle 20 cm. Založení objektu je plošné na pásech z prostého betonu.

Podlahy jsou upraveny v jednotlivých částech domu různě, podle účelu daných prostor. Podlaha v garáži a dílně je z 8 cm silné betonové mazaniny a 2 cm silného cementového potěru. Ostatní prostory suterénu jsou vydlážděny. Na 8 cm silné betonové mazanině je nanášeno 1,2 cm silné maltové lože a na něm jsou 0,8 cm silné dlaždice. Tedy síla podlah suterénu je 10 cm.

V přízemí i prvním patře jsou podlahy opatřeny 3 cm silnou vrstvou polystyrénu. Dále následuje 5 cm silná vrstva betonové mazaniny, která je od polystyrénu oddělena folií. V prostorách pokojů, kuchyně a chodby je dále nanášena 2 cm silná vrstva cementového nátěru, na který je v kuchyni umístěno linoleum a v pokojích „jekar“. V koupelně je místo cementového potěru nanášeno maltové lože a následně položeny keramické dlaždice. Všechny tyto vrstvy mají shodnou sílu 10 cm.

Stropy mají také shodnou sílu 30 cm, z toho 20 cm tvoří keramické desky a 10 cm podlahové úpravy.

Siporexové stěny v druhém a třetím podlaží jsou smontovány z dílců výšky 260 cm, šířky 60 cm a tloušťky 25 cm.

Střecha je plochá. Je tvořena základními stropními keramickými deskami 20 cm tloušťky. Na deskách jsou přímo položeny duté cihly tloušťky 3 cm. Na cihlách je nanášena suchý písek ve spádu 3 – 15 cm od hrany střechy směrem ke střešní výpusti. Povrch celé střechy je dále zasypán plynosilikátem 500, a to od 18 cm u výpusti do 30 cm u okrajů střechy. Na svažitém plynosilikátu je nanášena 1 cm silná vrstva betonu 135, na kterou je nalepena asfaltová podkladní lepenka.

(Odkazy na výkresy Výkres 1 Nákres suterén, Výkres 2 Nákres 1. patra, Výkres 3 Nákres 2. patra)

2.2 Místnosti měřeného domu

Pro potřeby měření bylo nutné jednoznačně označit všechny místnosti názvem a jeho zkratkou. Místnosti byly tedy pojmenovány (viz Tabulka 1 Přehled senzorů a jejich umístění). Některé zkratky se zakládají na zvyklostech nazývat místnosti podle jejich „historie“, jiné na funkci dané místnosti.

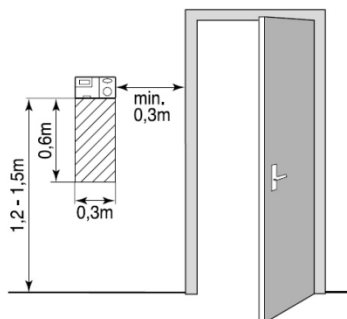
V přízemí se nalézá vstupní hala (**Hala**), která prochází spolu ze schodištěm celým domem (viz 12.1). Dále je v přízemí kotelna (**Kot**), prádelna a sušárna (**Su**).

Viz příloha 12.1 v každém ze dvou pater se nalézá obývací, (O I. a, O I. b; O II. a, O II. b), dětský pokoj, (D I.;D II.), kuchyň (K I., K II.) a další pokoj (MF I., MF II.) viz tabulka níže.

Rodinný dům Strašnická 27/1180 - přehled měřených místností		
Označení pokoje (místnosti)	Patro - světová strana	Objem [m ³]
<i>MF I</i>	1. patro - severní stěna	46
<i>K I</i>	1. patro - severní stěna	25
<i>D I</i>	1. patro - severní stěna	41
<i>O I</i>	1. patro - jižní stěna	73
<i>K II</i>	2. patro - severní stěna	28,5
<i>Kot</i>	Suterén - kotel	-
<i>D II</i>	2. patro - severní stěna	42
<i>Su</i>	Suterén - uvnitř domu	40
<i>Hala</i>	Suterén - uvnitř domu	17,5
<i>Out</i>	2. patro - severní parapet	-
<i>O II</i>	2. patro - jižní stěna	72,8
<i>MF II</i>	2. patro - severní stěna	46

Tabulka 1 Přehled senzorů a jejich umístění

2.3 Parametry vytápění domu



Správné umístění termostatu v místnosti[7].

2.3.1 Kotel

Zdrojem teplé vody a vody do topení je automatický plynový kotel značky Junkers. Typové označení kotle je ZWN 24-6 KE 23, jedná se o kotel s plynulou regulací výkonu v uspořádání pro průtokovou přípravu teplé užitkové vody (TUV) v nerezovém výměníku. Agregát je nástěnný s vloženou tlakovou expanzní nádobou, umístěný ve zvláštní samostatné suterénní místnosti.

Kotel má jmenovitý tepelný výkon 24 kW. Vybavení vývojové řady 6 (Carastar s elektronikou Bosch Heatronic). Součástí kotle je kouřovod s elektronickým hlídačem odtahu spalin. Pro plynulé zapínání a vypínání hořáků slouží elektronické zapalování a hlídání plamene.[6]

Kotel má přívod plynu a přívod studené vody z vodovodního řadu. Kotle protéká v uzavřeném okruhu voda do topné soustavy. Přiváděná studená voda je v kotli ohřívána na předem stanovenou hodnotu (více viz návod) a distribuována do koupelen a kuchyní. Kotel může být provozován ve dvou režimech. Jedná se o režimy komfort (COM) a úsporný režim (ECO). V ekologickém režimu se TUV ohřívá jen při odběru vody, v komfortním režimu je voda udržována na teplotě 26 °C.[7]

Souhrnné informace o kotli:

kotel Junkers Carastar ZWN 24-6 KE 23

Z	Kotel pro ústřední topení
W	Kombinované provedení
N	Základní provedení
24	Topný výkon až 24 kW
6	vývojová řada 6
K	Komínové provedení
23	Zemní plyn

Výkres 7 Schéma zapojení kotle

2.3.2 Topná tělesa

Trubní rozvod otopné vody je osazen pod stropem suterénu a není izolován. Stoupací větve a přípojky jsou vedeny při zdi a podlahách a taktéž nejsou izolovány. Celková délka potrubí je podle projektové dokumentace z roku sedmdesát devět uváděna 180 metrů. Vodní objem topného systému je podle této dokumentace udáván 64 litrů.

V suterénu jsou umístěna pouze dvě topná tělesa (radiátory). Jedno těleso se nachází ve vstupní hale a vyhřívá prostor schodiště, které prochází přes všechna poschodí. Druhé těleso je umístěno v zadní největší místnosti suterénu - sušárně.

Rozměry trubek:

ocelové trubky závitové běžné

(jmenovitá světlost v [mm])

1.	-	1"	=	25 [mm]
2.	-	3/4"	=	20 [mm]
3.	-	1/2"	=	15 [mm]
4.	-	3/8"	=	10 [mm]

Výkres 8 Schéma zapojení ohřevu vody uvnitř kotle

Počet topných těles (radiátorů):

počet žeber	počet radiátorů	šířka v cm
27	2	162 [cm]
25	3	150 [cm]
20	4	120 [cm]
15	1	90 [cm]
13	2	78 [cm]
10	1	60 [cm]
5	2	30 [cm]

(výška všech těles je 80 [cm], šířka žebra je 6 [cm])

3. Rozbor možných vlivů na tepelný komfort v domě

3.1.1 Větrání

Vzhledem k tomu, že vzduch při narůstající procentuální vlhkosti zvyšuje hmotnost, je pro vytápění domů velmi důležité větrání. Když totiž budovy - ať už pasivně či aktivně - neodvětráváme, dochází v nich zpravidla k velkému nárůstu vlhkosti. Vlhkost pak nejen ničí dům a dává silnější možnost vzniku plísní, ale vzhledem k tématu vytápění velmi podstatně zvyšuje hmotnost vzduchu, a tím i nároky na topnou soustavu. Těžší vzduch je energeticky náročnější vyhřát. A tím více také zaplatíme za plyn či elektřinu.

S příchodem kvalitních technologií tak paradoxně řešíme nejčastěji problém, kdy na jedné straně je perfektně izolovaný dům a na druhé straně je nutnost odvětrat nadbytečnou vlhkost, která se v domě hromadí přítomností lidí, zvířat, květin a samozřejmě vařením či mytím.

Vyhláška č. 137/1998 Sb. Ministerstva pro místní rozvoj o obecných technických požadavcích na výstavbu § 37 požaduje pro obytné a pobytové místnosti intenzitu výměny vzduchu $1 h^{-1}$.

4. Měření

Původním záměrem bylo nejdříve minimálně dva zimní měsíce měřit teploty v místnostech a posléze na základě dat sestavit model korespondující s naměřenými daty. Dále bylo v plánu na základě tohoto modelu vyvinout řízení pro samostatnou regulaci teplot v jednotlivých místnostech. Toto řízení měly umožnit bezdrátově řízené hlavice namontované namísto původních jednoduchých hlavic topných těles. Tento záměr bylo však nutné z důvodu podstatného zpoždění dodání měřicího hardware přepracovat a doplnit o vhodná podpůrná měření.

4.1 Druhy měření

Měření byla prováděna dvojího typu. V důsledku již zmíněného zpoždění potřebných komponent pro řízení a měření teploty v místnostech bylo rozhodnuto naměřit paralelně s teplotou v místnostech ještě spotřebu plnu pro celý dům. Provedená měření jsou tedy dvě, a to měření teploty v místnostech spolu s měřením teplé vody vstupující do topné soustavy (TVT), měřené každých cca 5 minut, a spotřeba plynu měřená v periodě 24 hodin prováděná fotoaparátem.

Na základě těchto naměřených dat byla dále provedena analýza domu a v programu IBPT navržen model domu (7.1). Souběžně probíhal ještě pokus o vhodnou regulaci pomocí ručního nastavení ventilů ÚT.

4.2 Technické informace k měření

Senzory byly umístěny pouze v místnostech větších rozměrů. Šatny, sklepní menší prostory a další malé servisní místnosti osazeny teplotními senzory nebyly. A to nejen z důvodu omezeného množství senzorů, ale hlavně proto, že v těchto místnostech radiátory nejsou; či naopak jsou, ale jako v případě koupelny zůstávají zapnuty na maximum a více se prostor nesleduje.

Pro rozmístění senzorů při měření bylo rozhodující umístění přímo v dané místnosti. Pokud se totiž senzor umístí příliš blízko k oknu, dveřím, lampičce či radiátoru, je silně

ovlivňován aktuálním stavem daného zdroje chladu či tepla, to pak zavádí nepřesnost do měření.

Co se týká technických prostor, ty se ani v již regulovaných domech neřídí. Tyto prostory se pouze temperují a jejich nastavení se určuje pevně při záběhu topné soustavy.

V domě však byl umístěn pro potřeby reference a případné zjištění dalších jevů senzor i v suterénu.

4.3 Úvodní nastavení

Jedná se primárně o nastavení termostatu v referenční místnosti, dále určité možné přednastavení kotle a v neposlední řadě i základní nastavení ventilů topných těles (radiátorů).

4.3.1 Nastavení kotle

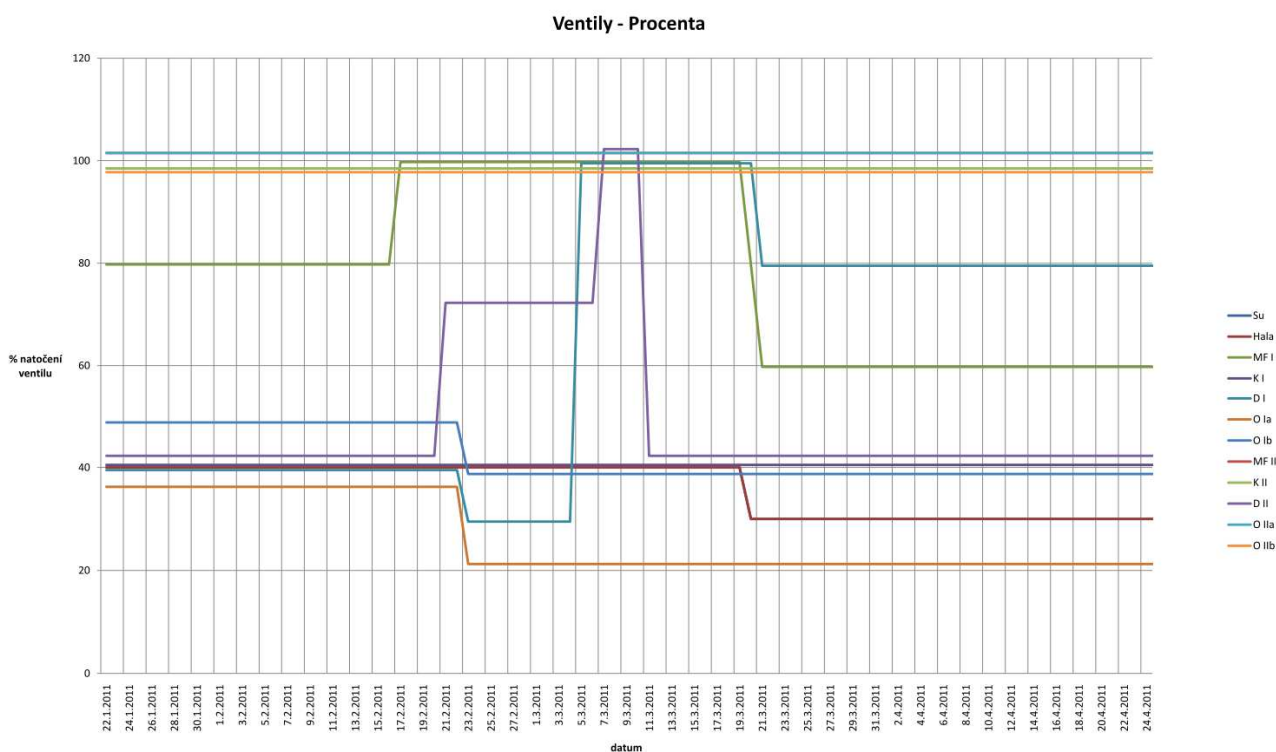
Kotel Junkers má možnost nastavit dva základní parametry. Maximální teplotu TUV a maximální teplotu oběhové vody v radiátorech. TUV máme nastavenou na 50 °C. Voda pro vytápění je nastavena na ekonomické náběhové teplotě do 75 °C.

Dále je možné zvolit mezi komfortním COM a úsporným ECO režimem. Při komfortním provozu COM je upřednostněn zásobník. Nejprve je ohřátá voda v zásobníku na nastavenou teplotu a poté přejde kotel do provozu topení. V ekonomickém provozu ECO střídá kotel topný režim každých 12 minut mezi topným provozem a ohřevem do zásobníku. Kotel byl od začátku nastaven do režimu ECO a až přibližně v polovině měření byl tento režim pro zajímavost vypnut.

Termostat v referenční místnosti byl po celou dobu měření nastaven na 21°C.

4.3.2 Nastavení ventilů

Jako referenční místnost byla pro umístění termostatu vybrána (již v době stavby v roce 81) místnost DI, která je málo používaná a nedochází v ní k výraznému ovlivnění teploty vzduchu, jako je například větrání. Místnost se navíc nachází na severní straně, takže zde nemá velký vliv ani sluneční svit. Dá se proto předpokládat, že nastavíme-li ventily radiátorů ostatních místností tak, aby byla soustava hydraulicky vyvážená a v místnostech byla pocitově příjemná teplota, potom můžeme očekávat, že bude možné celý dům komfortně řídit jedním termostatem. Tento předpoklad můžeme podpořit argumentem, že dům se z fyzikálního hlediska chová v podstatě lineárně, viz například v [5].



Graf 1 Ventily - nastavení otevření v %

Abychom mohli prohlásit, že stačí vyvážit ventily, je nutné nejdříve ventily sjednotit, respektive umožnit relevantní nastavování. Proto jsem vyrobil štítky (viz Fotografie 1), které sloužily jako měřidla procentuelního natočení ventilů (viz Graf 1).

Do začátku měření si v domě každý z rodiny nastavoval ventil ve svém pokoji velmi rozdílně dle momentálního pocitu. Po sepsání přibližných požadavků a naměření úvodních cca 5 dnů jsme přistoupili k postupnému ladění soustavy jako celku. Od začátku bylo hlavním pravidlem pohodlí obyvatel domu a vyvážení celé soustavy.

Zaměřil jsem se na stažení ventilů v místnostech, kde není nutná stálá teplota, a tedy je možné stáhnout částečně teplotu pro navýšení teploty v ostatních místnostech. Základním předpokladem na začátek je přiškrcení ventilu v referenční místnosti. Kotel pak začne přetápět a je možné vše postupně snižovat a na závěr pouze zvýšit procentuelní nastavení ventilu v referenční místnosti.

Výsledek se dostavil velice rychle. Bezprostředně (řádově v hodinách) po nastavení ventilů při přizavření ventilu v referenční místnosti se systém dostal do požadovaného stavu.

Na základě pocitové teploty proběhlo v následujících dnech k několika doladěním. Výsledky jsou sepsány v kapitole 5.1.1.

4.4 Slepé uličky

Pro měření jsme v úvodu vybrali průmyslový počítač ARK-1310 od firmy Advantech. Ten se jevil vhodným hlavně pro své pasivní úložiště dat Compact Flash (*dále již CF*), a tedy nižší spotřebu a minimální hluk. Zároveň disponoval procesorem Advantech Embedded Core X4150 32-bit X86-based SoC a frekvencí 133 MHz, a to při napětí $1.8 V \pm 5\%$ a spotřebě 0.8W.

Tento počítač s čtečkou karet CF, dvěma USB sloty a třemi vstupy pro síť Ethernet se však ukázal po mnoha marných pokusech o překlad funkční konzolové verze Linuxu jako nevhodné řešení. Měl totiž výrobní vadu hardware, a nebyla tedy možná plnohodnotná komunikace mezi CF a procesorem. Proto jsme přešli na průmyslový počítač Vortex86DX, pracující na ~~000MHz~~. Tento průmyslový počítač již fungoval velmi dobře, ale velmi záhy se ukázalo, že myšlenka měření a ukládání dat na CF není možné. Nároky na počítač při práci s takovým množstvím dat nás nakonec dovedly k rozhodnutí připojit na tento počítač malý 2,5" disk pro notebooky. Po tomto kroku, který nám otevřel cestu k ukládání dat do databáze MySQL, se již naplno rozjel vývoj software.

Plánovaná měření po celou zimu se pak ještě podstatně opozdila v důsledku problémů s dodavatelskou firmou. Ta totiž sice dodala teploměry, byť o něco později, ale bezdrátové ventily na topná tělesa nedodala doposud. Proto ani v této práci není o řízení daných ventilů zhora nic.

V důsledku těchto problémů jsem se rozhodl paralelně začít provádět měření spotřeby plynu a dále také postupně vytvořit funkční nastavení ventilů topných těles ručně. Více o těchto měřeních a řízeních v kapitole 5.2.

4.5 Měřicí soustava

Pro měření teplot v místnostech byl využit systém IQRF. Tato platforma pro bezdrátovou komunikaci vyvinutá českou firmou MICRORISC s.r.o. je využívána pro telemetrii, automatizaci domů, průmysl a další oblasti. Základním komunikačním prvkem je modul RF transceiveru ve formátu karty SIM. Integrovaný řídicí mikrokontrolér je vybaven operačním systémem, což spolu s dalšími vlastnostmi IQRF (včetně plné podpory komplexních sítí IQMESH) umožňuje tvorbu aplikací. [4]

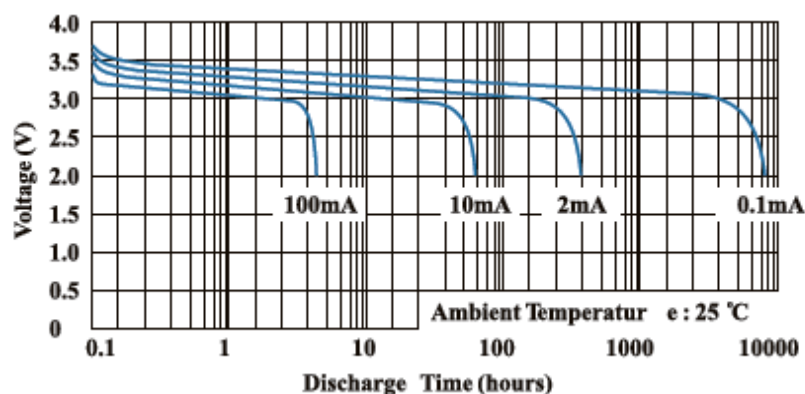
Do bezdrátové sítě je možný přístup zvenčí, prostřednictvím brány (Gateway), která realizuje interface mezi sítí a počítačem. V praxi se jedná o krabičku o velikosti 120 mm x 80 mm x 28 mm (viz Obrázek 7 Gateway GW-ETH-01-868 (fotografie)), která je vybavena komunikačními standardy USB, Ethernet, GSM, RS485 a ZigBee.[4] Pro naše měření bylo využito přímé připojení do sítě Ethernet. Respektive v důsledku měření na počítači bez síťové karty byla data stahována z Gateway přes wifi router.

IQRF bezdrátová komunikace probíhá v rámci Evropy na volných ISM pásmech 868 MHz. Přenosová rychlost je 86.2 kb/s, výstupní výkon až 3,5 mW. Pro komunikaci přes síť (IQMASH) je možné využít až 240 přeskoků na packet, a to údajně až na vzdálenost 700m/skok.[4] Podle zkušenosti však jako u ostatních bezdrátových systémů výrazně záleží na prostorovém uspořádání v místě měření, složení zdi atd.

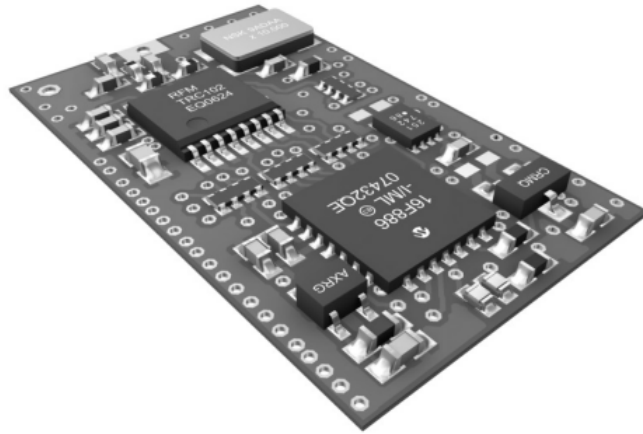
4.6 Teploměry

Pro měření teplot slouží univerzální moduly DK-PGM-02 napájené baterií o velikosti ½ AA s napětím 3,6V DC a kapacitou 800mAh. Odběrová charakteristika (viz Obrázek 2 Odběrová charakteristika baterie) ukazuje, že při kontinuálním odběru 2mAh, je životnost až 400hodin. K tomu výrobce uvádí, že modul DK-PGM-02 má při režimu spánku odběr 1µA a v režimu XLP Rx, což je režim komunikace s Gateway odebírá 35µA. Je osazen pamětí EEPROM 256 b a RAM pamětí o velikosti 368 b.

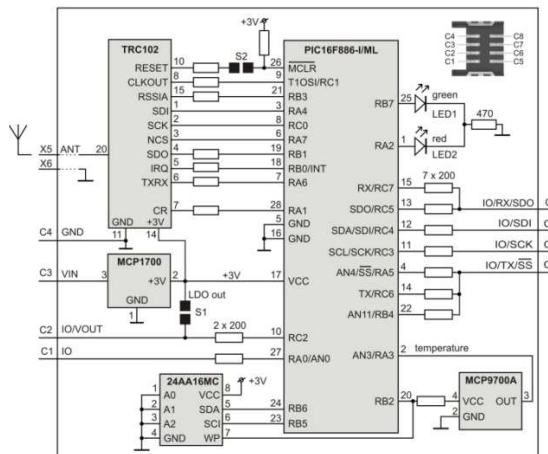
Na výše zmíněných univerzálních modulech je napojena IQRF „SIM“ karta TR-52B (verze 1.0) (viz Obrázek 3) o velikosti 14,9 x 25 mm, a pak samozřejmě teploměr. Tento plošný spoj označovaný jako TS_MCP9804 je osazen 9 vývodovým teploměrem s označením AET 946 oG7.



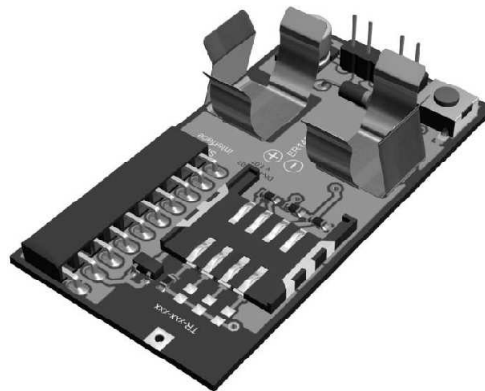
Obrázek 2 Odběrová charakteristika baterie



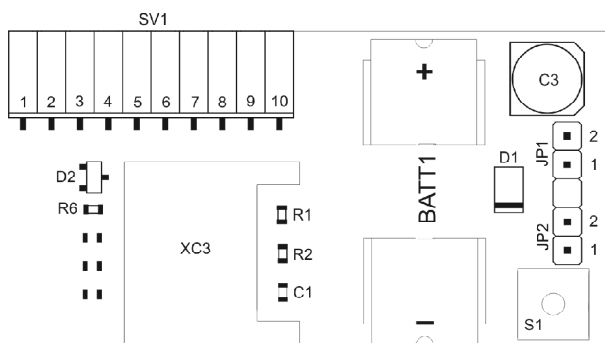
Obrázek 3 Modul přenosu TR 52B



Obrázek 4 Schéma přenosového modulu TR 52B



Obrázek 5 Development kit - DK-PGM-02



Obrázek 6 Development kit - DK-PGM-02 (schéma)

Vysvětlivky k Obrázek 6:

XC3 - konektor SIM karty pro TR modul.
SV1-SV10 - konektory slouží k připojení I/O vstupů a výstupů pro měření a řízení.
JP1 – jumpery pro aktivaci baterie.
JP2 - jumper je určen na trvalé propojení tlačítka S1.

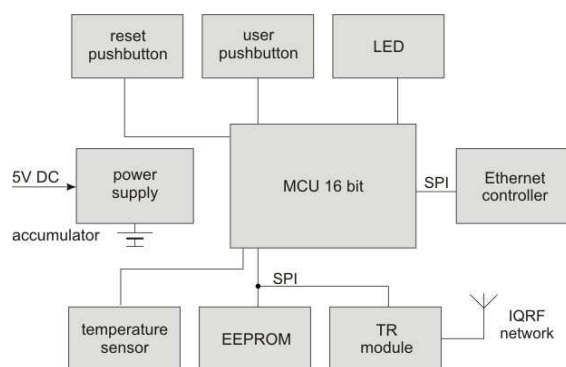
4.6.1 Komunikační brána (Gateway)

GW-ETH-01-868(viz Obrázek 7) slouží pro propojení modulů DK-PGM-02(viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**) s měřicím či řídicím počítačem. Tato krabička je připojena k místní síti pomocí kabelu Ethernet a vysílá a přijímá všechna data, která se mají v dané lokalitě přenést přes síť IQRF.

Je možné přicházející komunikaci pozorovat přes webové rozhraní přímo v komunikační bráně. Jak již však bylo výše řečeno: „Pro potřeby této práce - tedy velké objemy dat - bylo však vhodnější ukládat do databáze.“



Obrázek 7 Gateway GW-ETH-01-868 (fotografie)



Obrázek 8 Gateway (schéma)

4.7 Popis programu

V úvodu je třeba poznamenat, že tvorba programu užitého pro měření dat nebyla součástí této práce. V rámci práce jsem se pouze seznámil s programovacím prostředím IQRF a vytvořil několik menších měřících programů, pro lepší orientaci v programu a jeho jazyce.

Přesto zde pro komplexní přehled uvádíme základní informace o užitých programech. Program se skládá ze tří částí, které spolupracují. Program spuštěný v počítači, kam se ukládají naměřená data, program nahraný přímo v teploměrech a program pro Gateway, která tvoří přemostění z bezdrátové sítě IQRF na síť Ethernet.

Program pro PC je spustitelný na běžných distribucích OS Linux. Co do hardware je výhodou síťová karta pro přímé připojení Gateway k PC, ale i připojení přes wifi router je dostačující. Jediným softwarovým požadavkem je instalace balíku pro MySQL a knihoven jazyka C. Hlavní program zajišťující komunikaci mezi sběrným zařízením IQRF Gateway a databází MySQL je napsán v jazyce C. Autorem je Ing. Ondřej Nývlt a program je vytvořen na základě dokumentace firmy Microrisc s.r.o. – dodavatele senzorů.

V programu musely být skloubeny dva proti sobě stojící požadavky - minimalizace ztráty dat a co možná nejvyšší úspora energie baterií. Jak je uvedeno výše u popisu baterie, spotřeba je při režimu „standby“ podle literatury 1 μ A, zatímco v komunikačním módu pro přenos informace přes IQRF spotřebuje modul údajně 35 μ A. Proto bylo nutné určit periodu měření. Ta byla zvolena s přihlédnutím k pomalým změnám systému na 300 s (5 minut). Podle zkušeností po měření bych interval ještě prodloužil.

V době mezi měřeními se tedy senzory uvádí do režimu „sleep“ a po zmíněných 300 s se zapne celá síť, Gateway postupně načte data od sensorů a uloží do MySQL databáze (viz kapitola 4.8).

Data ukládá program do databáze již přeložená z hexadecimálního kódu, a to ve formátu: Id,"Sensor","Data","TimeDate", tedy pro příklad:

Jestliže jsme obdrželi 16. 3. 2011 v 18:08:35 zprávu od senzoru číslo 2, tedy KI (=kuchyň v 1. patře), a to jako 32. odměr a teplota byla 24,625 °C, bude zpráva vypadat následovně:

32,2,24.625,2011 – 03 – 16 18: 08: 35

4.8 Ukládání dat

Program v jazyce C, který přijímá data od Gateway, ukládá tato data po převodu z hexadecimální soustavy (viz 4.7) do databáze MySQL. Pro úplnost níže uvádím strukturu databáze (viz Obrázek 9).

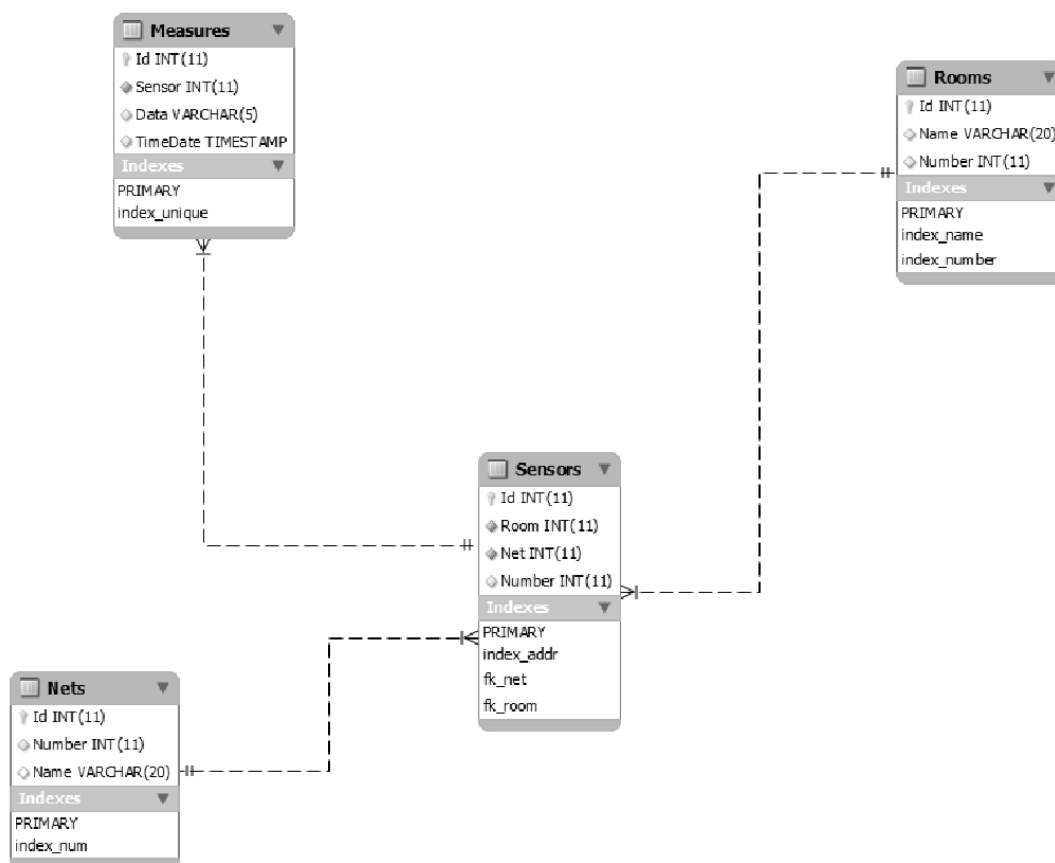
Struktura logicky vychází z uspořádání měřených dat. Každý senzor má svoje číslo (Sensors - ID_SENZOR) a patří do nějaké sítě (Nets - ID_SIT), tato kombinace musí být unikátní a definuje se před kompilací přímo do vnitřních proměnných programů pro každý senzor zvlášť. Každému senzoru je pak přiřazen nějaký pokoj (Rooms - ID_MISTNOST) a od každého senzoru podle nastavené periody přicházejí data z jednotlivých měření (Measures).

Data jsou přijímána po 19 - ti bytových „packetech“. Nejdříve je 9 bytů hlavička (header), z ní nás zajímají pouze první 2 byty, kde první byt je identifikátor Gateway a druhý musí být roven 0x22 a jde o příkaz (command), který musí být roven 0x04. Poslední 2 byty jsou kontrolní součet CRC, který nás pro zpracování výsledků nezajímá. [8]

Zbytek dat - 8 bytů (9.-16.byte) v poli přijatých dat jsou naše uživatelská data:

byte 9	Id sítě sensoru, od kterého přišel odměr
byte 10	Id sensoru, od kterého přišel odměr
byte 11	Id místnosti, ke které je přiřazen sensor
byte 12	Znaménko hodnoty teploty
byte 13	Teplota – desítky
byte 14	Teplota – jednotky
byte 15	Desetinná tečka teploty
byte 16	Teplota – desetiny

Tabulka 2 Přehled datové struktury příchozí informace o teplotě



Obrázek 9 Struktura databáze DataLogger

5. Naměřená data

5.1 Teplota

Jak již bylo řečeno, teplota v místnostech byla měřena ve dvou časových úsecích.

První období měření po zkušební instalaci měřícího systému probíhalo ve dnech 16. 3. 2011 (18:08:35) – 22. 3. 2011 (12:24:50). Měření probíhalo osmi senzory (teploměry) a toto období je velmi důležité proto, že ještě do teploty v domě významně nezasahovala sluneční záření, resp. ozáření $G [W/m^2]$. Bylo naměřeno 7754 hodnot. A v průběhu také probíhala ladění ventilů.

Po updatu všech senzorů, resp. jejich programů byla zahájena druhá fáze měření, která probíhala od 23. 3. 2011 (00:44:53) do 25. 4. 2011 (18:39:11). Měření probíhalo s 12 senzory a bylo naměřeno 53477 hodnot.

Pro srovnání a relevanci dat jsem si opatřil data ještě z dvou měřících stanic. Jedná se o data z meteo stanice Praha - Libuš (Czech Republic), (ID 11520), GPS: 50° 1' 0.0", 14° 27' 0.0", nadmořská výška 304 m a data z ústavu fyziky atmosféry AVČR z meteo stanice VII Spořilov, která jsou podkladem pro první měření.

5.1.1 První měření

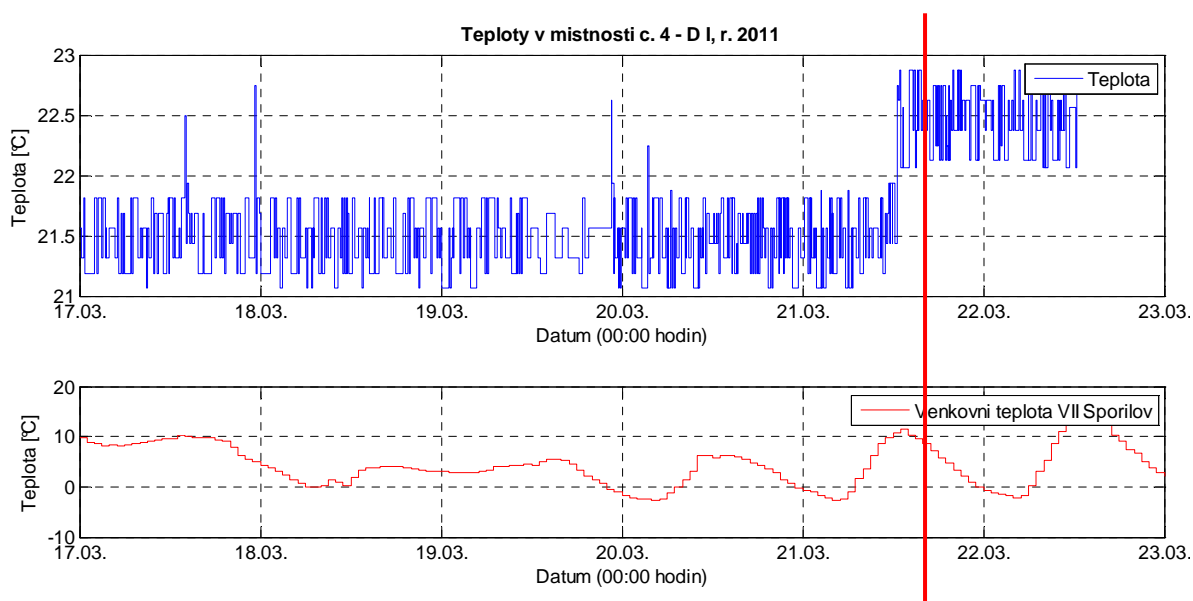
První měření probíhalo pouze na devíti senzorech a jen krátkou dobu, ale během této doby byly nejvíce nastavovány ventily topných těles. A proto si, stejně jako pak u druhého měření, projdeme některé grafy a vysvětlíme základní jevy, které se v průběhu měření objevily a které byly vhodné pro rozbor a reprezentaci daného problému.

Vhodné je ještě předem dodat, že referenční hodnota venkovní teploty pro první měření je z meteo stanice VII Spořilov.

Měření č.1 - přehled místností	
vzorky od 1 do 7754	
<i>číslo v databázi</i>	<i>pokoj</i>
2	MF I
3	K I
4	D I
5	MF II
6	chodba u kotle
7	DII
8	Su
9	Hala
10	Out

Tabulka 3 Přehled senzorů a jejich umístění

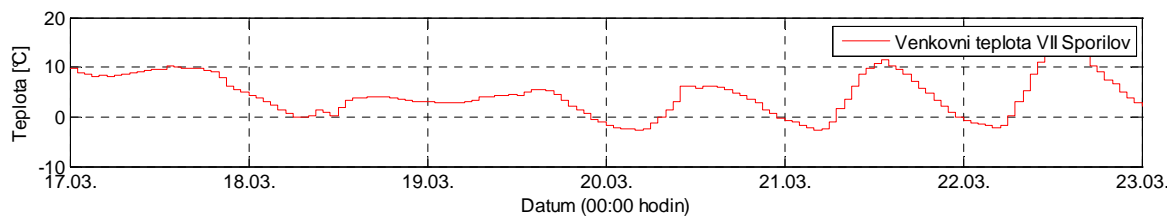
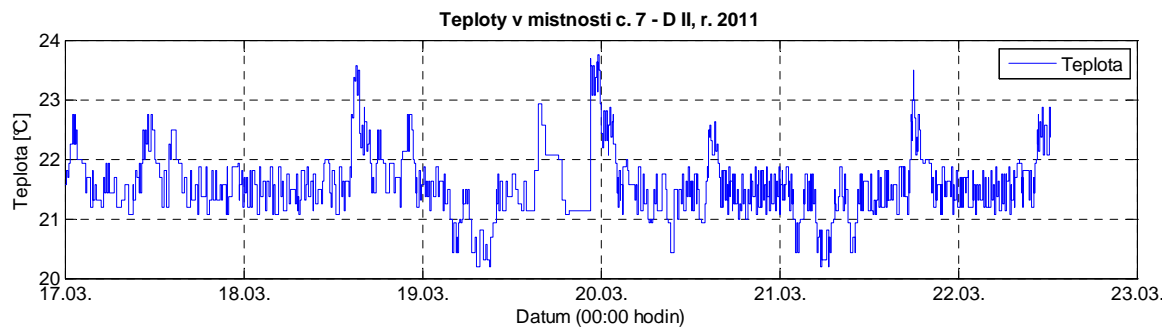
Referenční místnost DI je prvním příkladem zvláštního chování. Jde totiž o fakt, že červená čára zobrazuje místo, kde jsem přiškrtl topení ze 100 % na 80 %, a to na topném tělese v referenční místnosti. Je tedy poněkud s podivem, že se v místnosti vzduch při přiškrceném topení ohřívá více. To však poukazuje na fakt, že do určité chvíle, která je u každého topení jiná, se opravdu užším vstupním ventilem musí pouze dostat více teplé vody a proudění se zrychluje. To by také mělo vysvětlit, proč se místnost ohřála tak prudce.



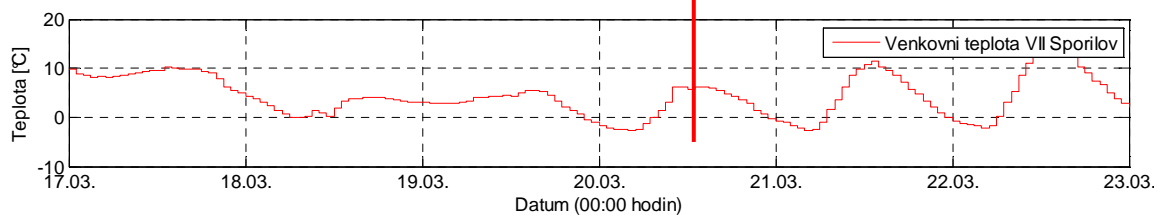
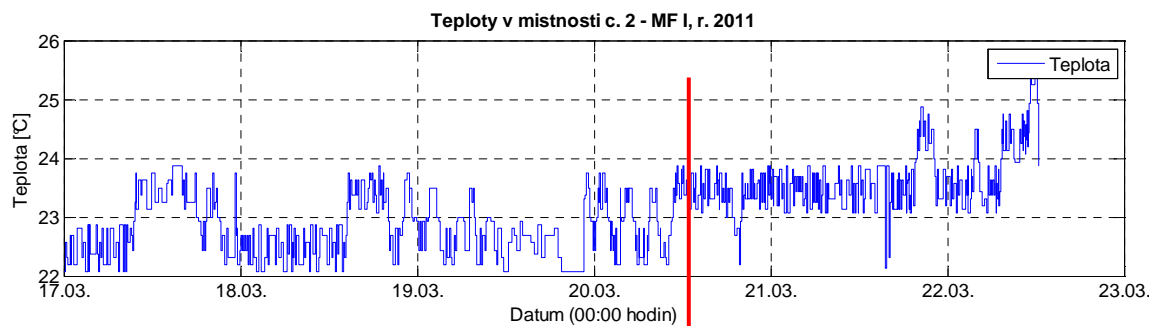
Graf 2 místnost č. 4 - D I (červeně vyznačen čas změny 13:30 ze 100 % na 80 %)

V porovnání s referenční místností je místnost DII, která se nachází na stejné větvi vytápěcího potrubí, velmi nestabilní. To by se dalo vysvětlit několika způsoby. Je dosti pravděpodobné, že i vzhledem k časům nástupu teplot (odpoledne, případně večer) jde o vliv slunečního záření. V druhém sledu ale půjde o sálání vyhřátých zdí a střechy směrem do domu. To se dá usoudit podle postupného klesání teploty v průběhu první poloviny noci.

Je ale již zde patrné, že určité výkyvy nelze pomocí jednoduchého termostatu v referenční místnosti regulovat.



Graf 3 místnost č. 7 - DII



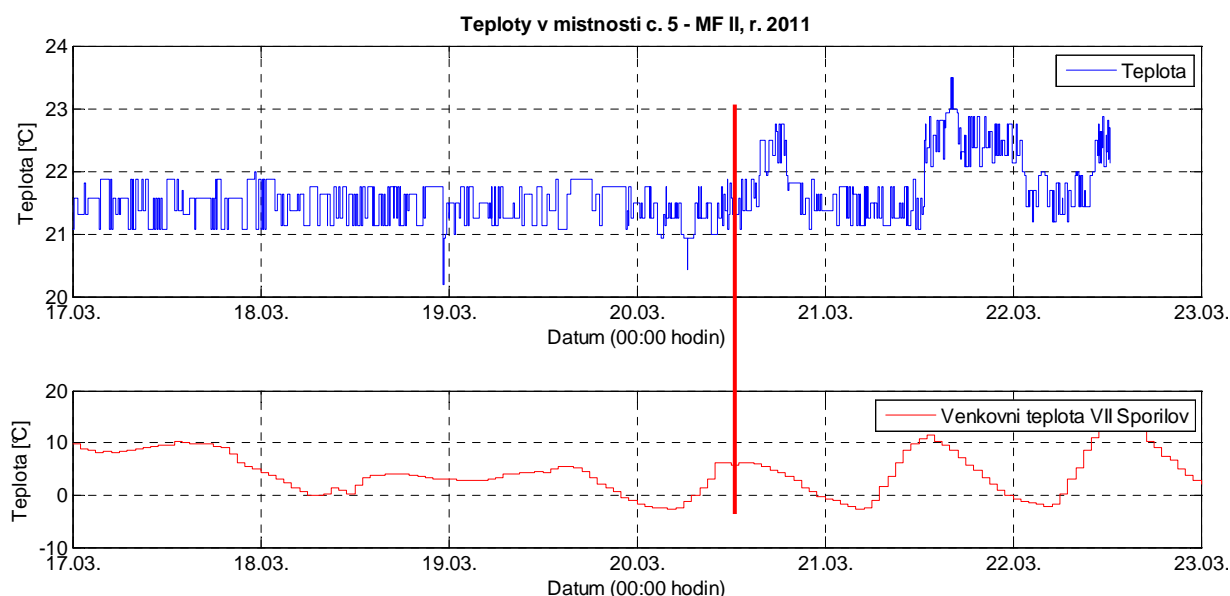
Graf 4 místnost č. 2 - MF I (červeně vyznačen čas změny cca v 15:30 ze 100 % na 80 %)

Nyní se budeme věnovat větvi topení, která je na opačném konci stejné severní zdi domu. Jedná se o pokoje MF I (Graf 4) a MF II (Graf 5).

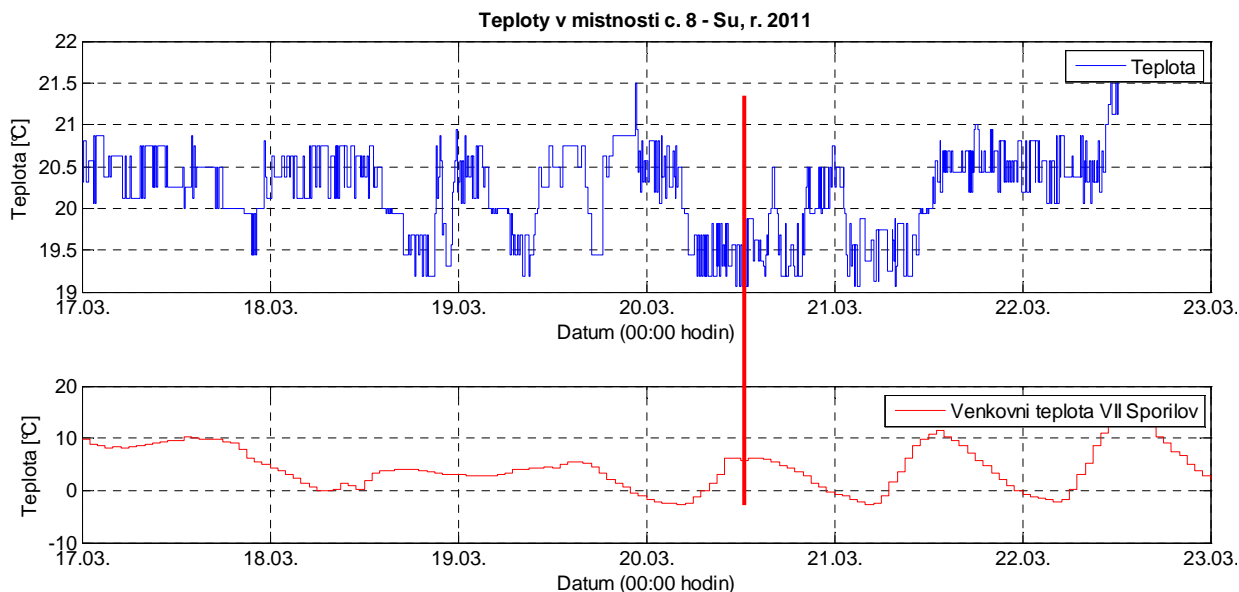
V místnosti MF I se opakuje stejná situace jako v místnosti D I, s tím rozdílem, že zde bychom mohli usuzovat, že přes přiškrcení ventilu stále převáží teplotní vzestup, v důsledku přiškrcení tělesa na stejné větvi o patro níže v přízemní místnosti označené zkratkou Su.

Zcela evidentní je pak i vzestup teploty v místnosti MF II, která - řekněme s nadsázkou - vydělá na zaškrcení všech výše zmíněných topných těles. To byl také jeden z důvodů celé této operace.

Co je ale paradoxní a bohužel nemožné kvalitně doložit (měření musela být přerušena při reinstalaci systému), je jisté rozkmitání teploty právě v místnosti MF II po této operaci.



Graf 5 místnost č. 5 - MF II (čas změny v pokoji MF I cca v 15:30 ze 100 % na 80 %)



Graf 6 místnost č. 8 – Su (červeně vyznačen čas změny cca v 16:00 ze 40 % na 30 %)

K místnosti Su v suterénu by bylo dobré poznamenat, že obyvatelům moc nezáleží na konstantní teplotě v této místnosti, a tudíž důsledek přiškrcení – ještě větší snížení robustnosti teploty v této místnosti – není nijak velkou ztrátou.

5.1.2 Druhé měření

Pro druhé měsíc trvajících měření byla podstatně rozsáhlejší data, závěry taktéž probereme postupně u každého grafu či souvisejících grafů zvlášť.

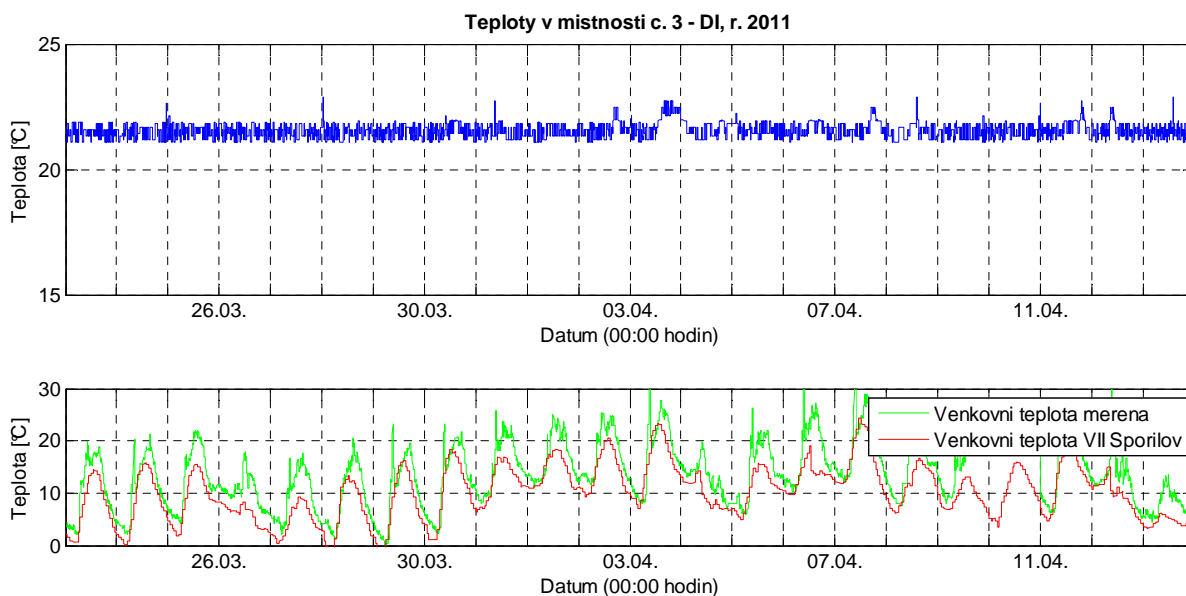
Pro přehlednost a stručnost si uvedeme jen ty výsledky, které nejvíce demonstrují konkrétní pozorované jevy a poznatky, které se v průběhu měření a řízení objevily.

Měření č.2 - přehled místností

vzorky od 1 do 53477

Číslo senzoru	číslo v databázi	pokoj
3	1	MF I
4	2	K I
5	3	D I
6	4	O I
7	5	K II
8	6	Kot
9	7	D II
11	8	Su
12	9	Hala
13	10	Out
14	11	O II
15	12	MF II

Tabulka 4 Přehled senzorů a jejich umístění



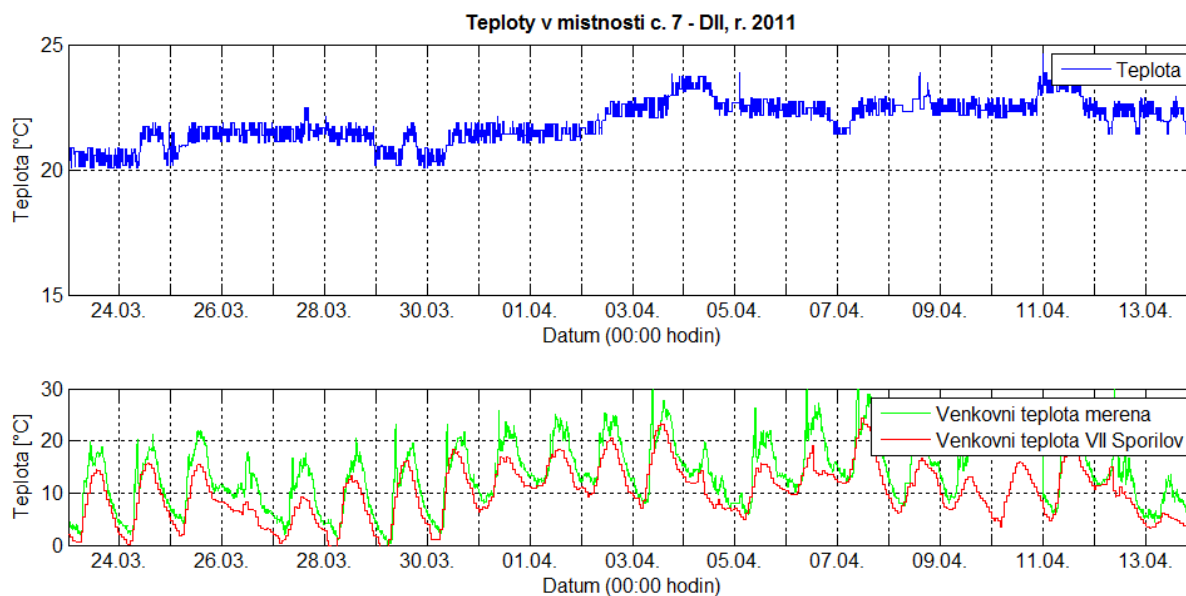
Graf 7 místnost č. 3 - D I

V místnosti č.3 - DI je umístěn termostat. Jedná se tedy o referenční místnost celého systému vytápění. Jak je vidět z grafu, jedná se opravdu o teplotně velmi stabilní pokoj, i když je propojen se všemi ostatními pokoji bytu v 1. patře stále otevřenými dveřmi. Je také vidět, že změny teploty v pokoji jdou natolik pozvolna – tedy prostup chladu z venkovního

prostředí je natolik pomalý, že kotel stačí velmi stabilně regulovat teplotu i při výkyvech řádově 10 – 20°C. Je to jistě ovlivněno i tím, že místnost je ve stínu, je dále v zásadě obklopena ostatními místnostmi, kromě stěny sousedící s vedlejším domem. Vedlejší dům je však také obýván, a proto stěna není významně vychlazená a rozhodně nemá rychlé výkyvy teplot.

Nyní se přesuneme o patro výše. V porovnání s místností DI je místnost DII o poznání méně stabilní, a to je napojena na stejné větvi topení. To spolu s podobným případem kuchyně KI a KII dokazuje nejen snazší regulaci vytápění ve stinných místnostech, ale také to je první indicie poukazující na složitější chování v případě vystavení přímému slunci. To však neznamená vystavení slunci pouze přes okna, ale i přes stěny či strop (střechu).

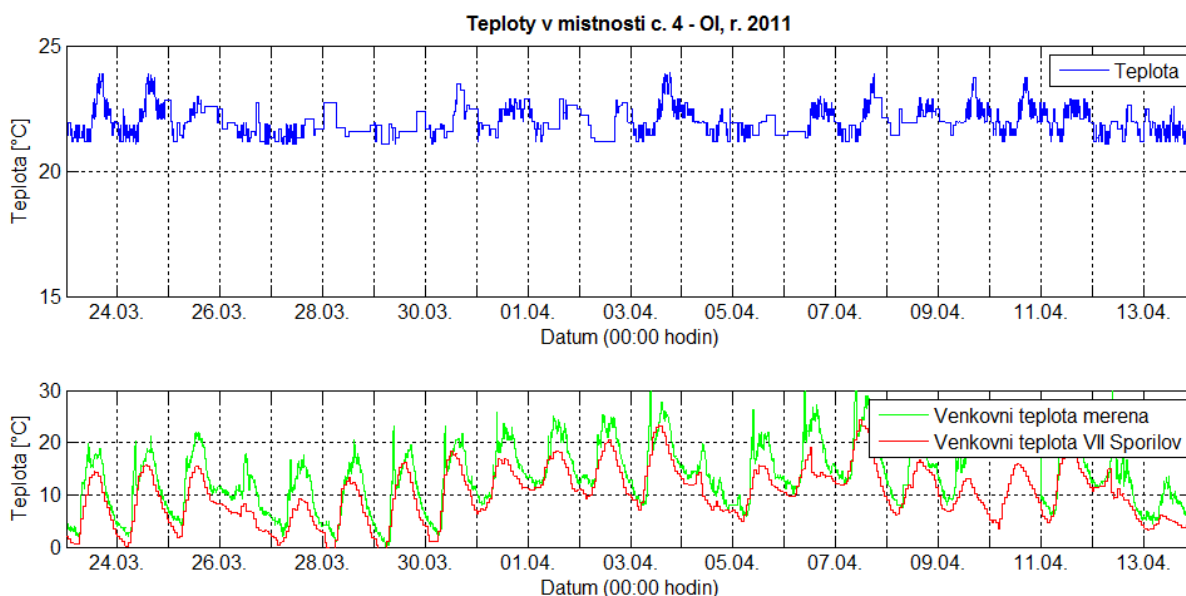
V případě, že totiž střecha naakumuluje teplo například přes den, sálá pak toto teplo v extrémních případech i celou noc. Když se však, jako v případě měřeného domu, nalézá referenční místnost v nižším patře, kotel při poklesu teplot v nižším patře začíná topit. Pak se v nejvyšším patře dotápí kotlem a zároveň sálá střecha, a tak vznikají zbytečné ztráty. Proto je pochopitelná i vyhláška č. 152/2001 Sb., která určuje pravidla pro vytápění a dodávku teplé užitkové vody a kde se mimo jiné píše o povinnostech instalace termostatických ventilů na topná tělesa.



Graf 8 místnost č. 7 - DII

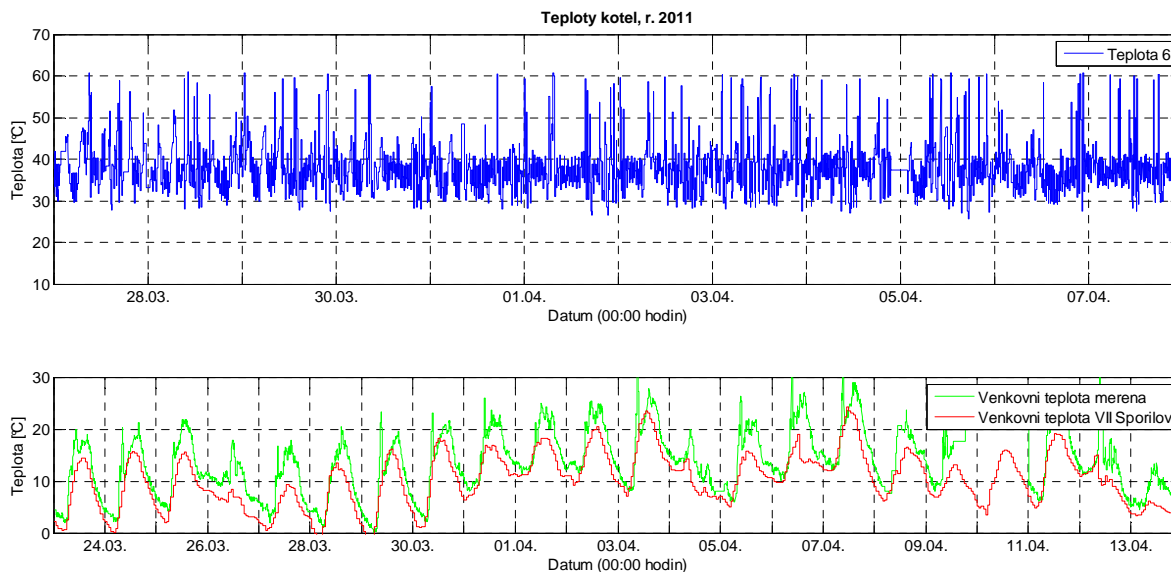
V následující graf ukazuje jak významně zasahuje sluneční záření do tepelné bilance pokoje. Obývací v 1. patře je směřován na jih a slunce tedy velmi zasahuje do teploty v místnosti.

Zde je typický příklad, kde by se hodilo využít termostatických hlavic, které by ořezaly vytápění od kotle ve chvíli kdy slunce zasahuje do pokojů tohoto typu.



Graf 9 místnost č. 4 - O I

Z následujícího grafu je zřejmé, že teplá vody, která vytápí dům, nepřesahuje 60 °C. Tedy kotel nikdy nepracuje ani na maximální povolenou teplotu. Systém je tedy nepřetížen a je možné i v případě výrazně studenějších dní ještě zvyšovat výkon. Je však důležité si uvědomit, že většina špiček na grafu jsou navíc ohřevy TUV, které se přes trubky přenesly i na čidlo teploty výtokové vody do topného systému. Standardní teplota vody, kterou je dům vytápěn je 35-40°C.

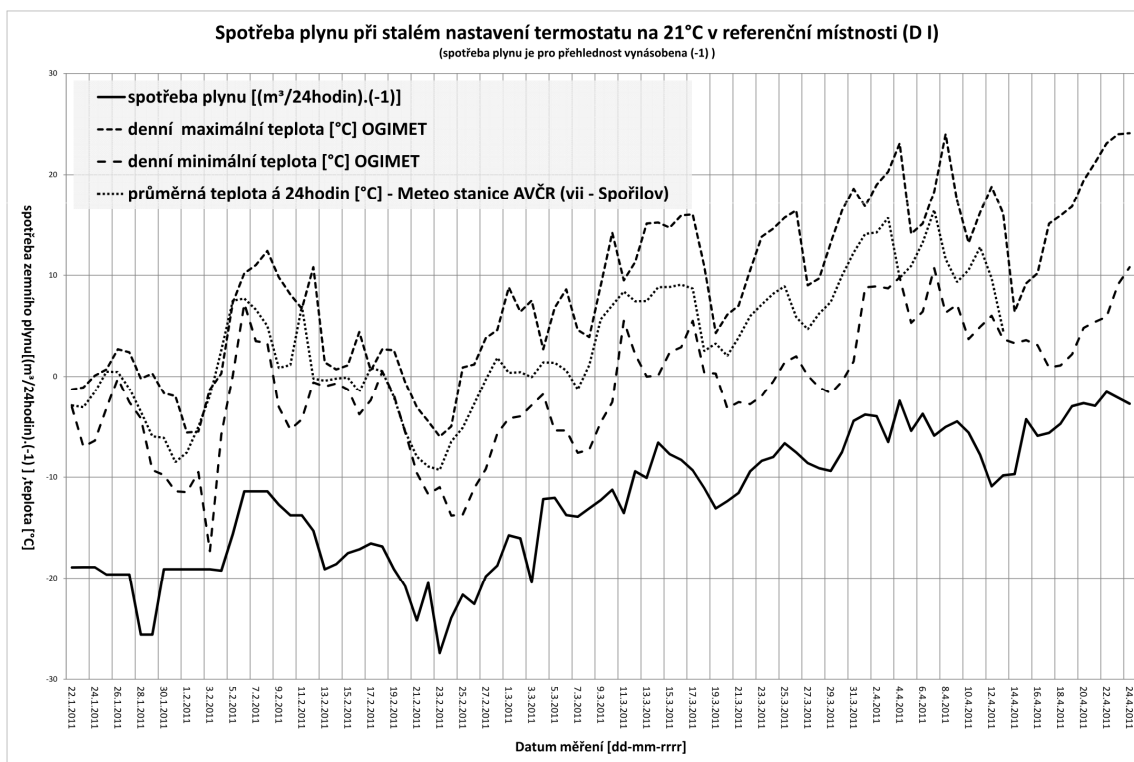


Graf 10 senzor č. 6 - kotel – voda do topné soustavy

5.2 Spotřeba plynu

Spotřeba plynu byla, jak již bylo výše řečeno, zaznamenávána fotoaparátem na plynoměru, a to v období od 12. 2. 2011 do 24. 4. 2011. Zvolený způsob měření (pořizování fotografií) pro dané potřeby zcela dostačoval. Čas pro fotografování byl zvolen na hodinu po půlnoci. V tomto čase již odezní všechny významné nárůsty a poklesy spotřeby TUV (sprchování, mytí nádobí atd.) a i na topná tělesa již není vyvíjen extrémní nárok (již se nevětrá v prostoru vchodových dveří, nevaří v kuchyni atd.). Měřením v této na spotřebu klidné době se zároveň zamezilo velkému vlivu chyby způsobené nepřesností fotografování v rozmezí až ± 30 minut. Kdyby totiž odběr (fotografie) byl prováděn v době velkých výkyvů (sprchování obyvatel domu či vlivem velkého větrání příchozími atd.), mohla tato chyba ovlivnit měření velmi podstatně.

Z měření a následných výpočtů vyplývá, že na ohřev TUV se spotřebuje v zimních měsících denně 18 – 25 [m^3] plynu, a z toho 1,2 – 2,6 [m^3] je zcela objektivně využita na výrobu TUV právě ve večerních a ranních hodinách pro koupání a sprchování.



Graf 11 Spotřeba plynu při stabilním nastavení termostatu na 21 °C

6. Analýza dat

6.1 Spotřeba plynu a ECO režim kotle

Z naměřené spotřeby plynu za 24 hodin chceme nyní spočítat, kolik m^3 plynu kotel spotřebuje na výrobu TUV a kolik m^3 plynu spotřebuje na vytápění, tedy vodu do oběhu ústředního topení (ÚT). A zároveň testujeme vliv ECO režimu kotle.

Kotel Junkers je standardně nastaven tak, aby stále dohříval obsah expanzní nádoby na požadovanou teplotu. Tedy i v případě, kdy teplou vodu neodebíráme, se stále v kotli předehřívá 15 -20 litrů TUV proto, aby nám voda tekla co možná nejrychleji po otočení kohoutkem.

Režim ECO tuto funkci potlačuje, nepředehřívá tedy stále určité množství vody, ale šetří a obyvatelé domu si pouze po zapnutí vody musí počkat o chvíli déle, než kotel dosáhne plného výkonu a je schopen dohřívat protékající vodu. To se však ze zkušenosti děje do cca 1 minuty.

6.1.1 Výpočet spotřeby plynu

Využil jsem metodu nemenších čtverců, která bývá často používána při regresní analýze pro aproximaci naměřených hodnot nějakou funkcí z předepsaného prostoru.

Rovnice se tedy skládá z maximální denní teploty o den dříve $t_{den}(k-1)$ [°C], maximální denní teploty v počítaném dnu $t_{den}(k)$ [°C] a minimální noční teploty $t_{noc}(k)$ [°C] a doby slunečního svitu v měřeném dnu $G_{slunce}(k)$ [W/m²]. Hodnoty (viz Graf 12).

$$Plyn(k) = a + b * t_{den}(k-1) + c * t_{den}(k) + d * t_{noc}(k) + e * G_{slunce}(k)$$

přepíšeme jako

$$\begin{aligned} P_1 &= a + b * t_{den(0)} + c * t_{den(1)} + d * t_{noc(1)} + e * G_{slunce(1)} \\ P_2 &= a + b * t_{den(1)} + c * t_{den(2)} + d * t_{noc(2)} + e * G_{slunce(2)} \\ &\vdots \\ P_n &= a + b * t_{den(n-1)} + c * t_{den(n)} + d * t_{noc(n)} + e * G_{slunce(n)} \end{aligned}$$

rozepíšeme do maticové rovnice

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & t_{den(0)} & t_{den(1)} & t_{noc(1)} & G_{slunce(1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & t_{den(n-1)} & t_{den(n)} & t_{noc(n)} & G_{slunce(n)} \end{bmatrix}^T$$

rovnici si dále rozložíme takto

$$P_n = \begin{bmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix}, a = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \end{bmatrix}, T = \begin{bmatrix} 1 & t_{den(0)} & t_{den(1)} & t_{noc(1)} & G_{slunce(1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & t_{den(n-1)} & t_{den(n)} & t_{noc(n)} & G_{slunce(n)} \end{bmatrix}^T,$$

a dále již počítáme s maticemi

$$P = a * T$$

které je třeba upravit

$$PT^T = a * TT^T$$

pro převedení a vyjádření a provedeme transpozici

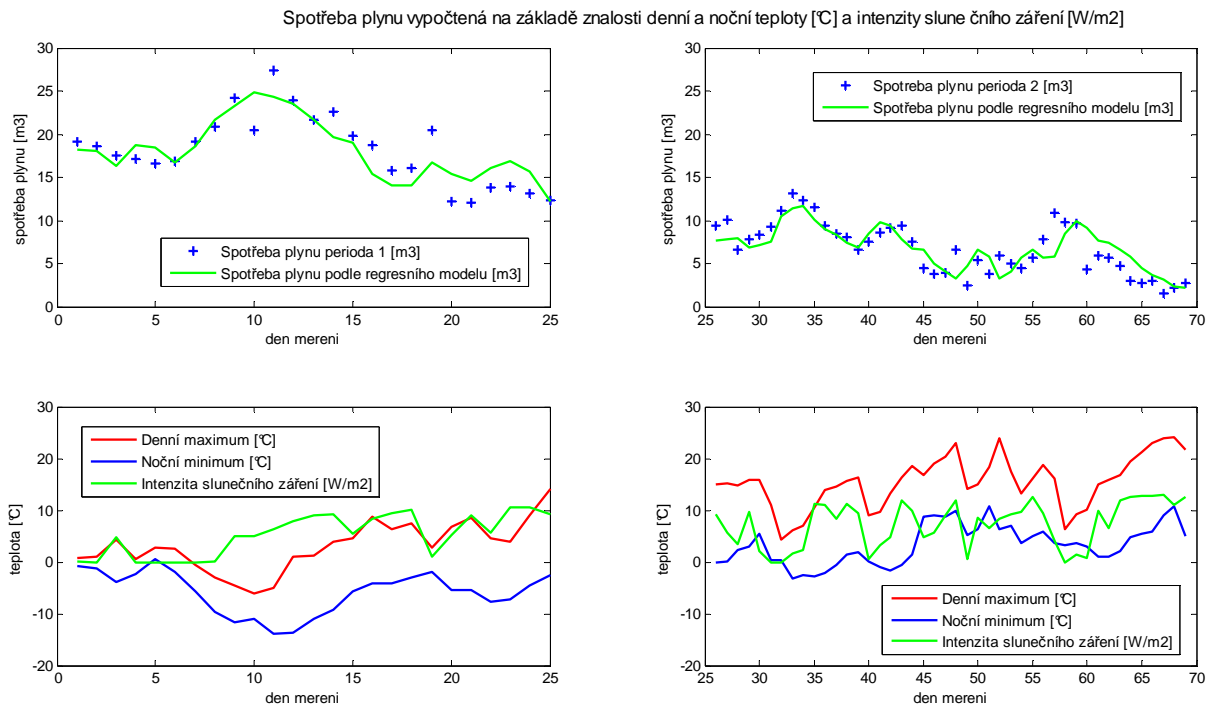
$$PT^T(TT^T)^{-1} = a$$

tedy můžeme psát pomocí operace pseudoinverze

$$a = PT^\dagger$$

a v Matlabu pak možno spočítat pomocí zápisu „ $a = P_{ij} \backslash T_{ij}$ “

Výsledkem výše uvedených rovnic je pak regresní křivka spotřeby plynu, která je vypočtena v závislosti na denním maximu a nočním minimu v kombinaci s intenzitou slunečního záření daného dne. A to pro dvě po sobě jdoucí období, kdy v prvním období byl zapnut režim ECO a v druhém byl vypnut.



Graf 12 Spotřeba plynu dle regresního modelu pro období ECO/ Normal

Matice a_1 (27 dní), pro výpočet za první období tedy vypadá následovně.

$$a_1 = [18.2534 \quad -0.2439 \quad -0.2514 \quad -0.4474 \quad -0.2478]^T$$

Z matice je zřejmé, že spotřeba je ovlivněna nejvíce teplotami v noci

$a_{14} = -0.4474$. Jinak řečeno, vytápění je nejdražší v noci, což je celkem logický důsledek nižších teplot v noci, a tím i větších tepelných ztrát domu.

Matice a_2 (46 hodnot) pro druhé období vypadá následovně.

$$a_2 = [13.2503 \quad -0.1850 \quad -0.1466 \quad -0.2212 \quad -0.0834]^T$$

Z matice vyplývá taktéž nejvyšší zatížení v noci, tedy na pozici $a_{24} = -0.2212$. Ale oproti minulému výpočtu je váha na slunečním záření výrazně nižší.

Pro zajímavost ještě uvádím kvadratickou odchylku pro oba průběhy. Pro období 13. 2. – 11. 3. je střední kvadratická odchylka 2.218. a pro období 12. 3. – 25. 4. je střední kvadratická odchylka 1.847.

6.2 Spotřeba plynu a teplotní ztráty

Vzhledem k tomu, že dokumentace k měřenému domu se často velmi liší od domu reálného. Zajímalo nás spočítat součinitel prostupu tepla $U [W/(m^2K)]$, který charakterizuje tepelně izolační vlastnosti domu.

Standardní postup tohoto výpočtu je následovný. Vezmeme tabulkové hodnoty materiálů, ze kterých bude či byl dům postaven, a spočítáme námi požadovanou veličinu.

Vzhledem ke stáří domu a nemožnosti zjistit přesné parametry materiálů je však výpočet prováděn opačně. Tedy vezmeme naměřená data spotřeby plynu a na základě těchto reálných hodnot vypočítáme průměrný součinitel prostupu tepla domem na $1 m^2$ obálky domu.

Výsledek nám sice neřekne přesné parametry jednotlivých materiálů, ale získáme představu, jak si dům vede v porovnání s dnešními normami na energeticky úsporné domy, pasivní domy atd.

Znalost průměrného součinitele U_m a dlouhodobých venkovních teplot z místních meteorologických teplotních statistik pak umožňuje stanovit denní, měsíční a celoroční spotřebu tepla budovy. To je vlastně cíl našeho snažení, který usnadní návrh a dimenzování otopné soustavy a připraví nás na platby za vytápění.

Výpočet U_m

Výhřevnost plynu je $9,5 \text{ kWh/m}^3$. Teplotu venku budeme počítat -15°C . Spotřebovaný plyn za počítaný den máme ze zkušenosti při takové zimě 10 m^3 . Soustavě jsme proto dodali $9,5 \text{ kWh/m}^3 \times 10 \text{ m}^3 = 95 \text{ kWh}$ tepla, které bylo nutné k udržení teploty 20°C .

Protože má den 24 hodin, tak za hodinu jste spotřebovali

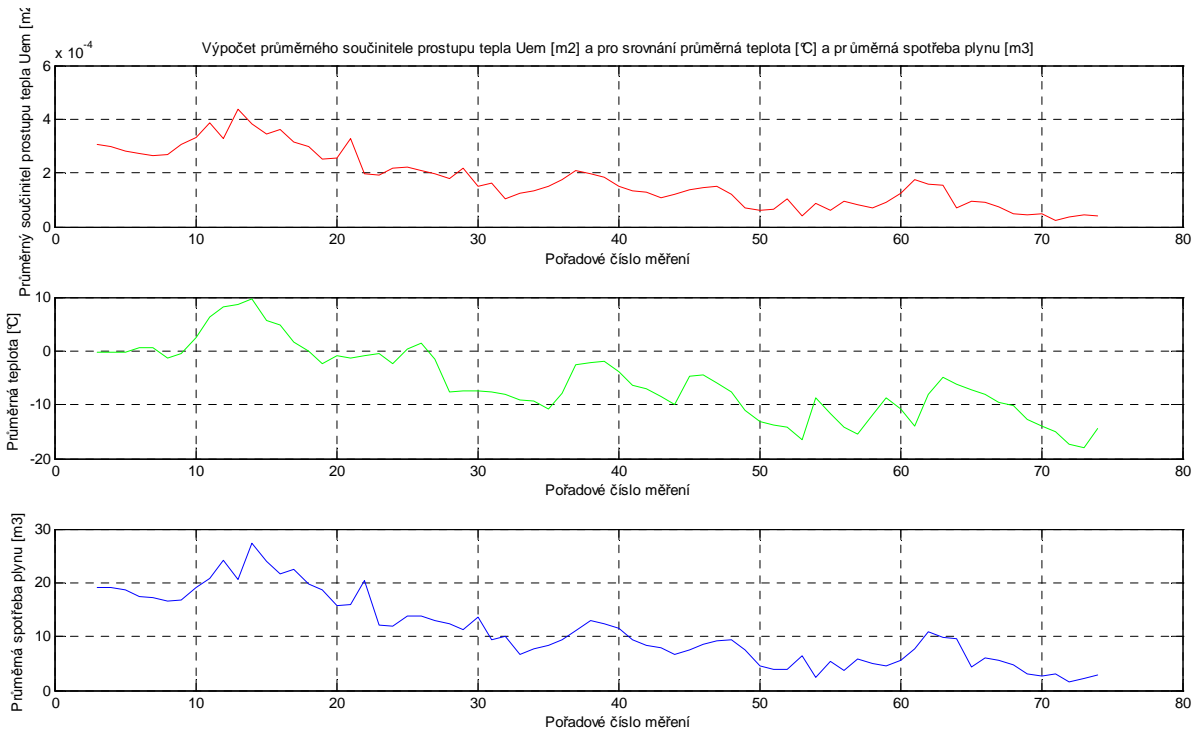
$95 \text{ kWh} / 24 \text{ h} = 3,958 \text{ kWh/h}$ energie = výkon P kotle a zároveň tepelnou ztrátu ($Z \text{ kW}$).

$P = 3,958 \text{ kW} = 3958 \text{ W} = Z$ a pokud vydělíme rozdílem mezi vnitřní a venkovní teplotě $\Delta = 20^\circ\text{C} - (-15)^\circ\text{C} = 35^\circ\text{C} (=K)$, dostaneme důležitý parametr, totiž měrnou ztrátu prostupem tepla

$$H_T = \frac{P}{\Delta T} = \frac{3958 \text{ W}}{35 \text{ K}} = \frac{113 \text{ W}}{\text{K}}$$

jestliže nyní vydělíme měrnou tepelnou ztrátu prostupem tepla plochou A celé obálky konstrukce.

Výsledek pro měřený dům v průběhu 73 dnů uvádí graf.



Graf 13 průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} na 1 m²

6.3 Naměřené teploty v místnostech/ ladění ventilů

Jak už bylo uvedeno výše, v důsledku pozdních dodání či dokonce nedodání komponent musela být část úkolu této práce přehodnocena. Namísto řízení radiátorů bezdrátovými hlavicemi bylo provedeno experimentální nastavení ventilů podle pocitové teploty. Jednalo se především o tepelný komfort, minimální výkyvy, a v konečném důsledku i pokus co nejvíce prověřit možnosti autonomního přednastavení jednotlivých topných těles bez nutnosti komunikovat. Tedy prověřit možnosti pro případný budoucí systém řízení z hlediska minimalizace spotřeby při čerpání energie z baterií pro komunikaci sítě IQRF.

Tento experiment neměl tedy být jen pokusem, zda lze danou soustavu vyregulovat ručně, ale také šlo o to zjistit, jestli pouze nezávislé přednastavení jednotlivých ventilů, jejich přiškrcení či naopak úplné otevření postačí k primárnímu vyregulování dané soustavy. Jakákoli částečná autonomie jednotlivých bezdrátových hlavic by měla být pro případný systém, resp. šetření energií bezdrátových hlavic, výhodou.

6.4 Spotřeba TUV podle regresního modelu

datum	spotřeba plynu [m ³]	teplotní maximum [°C]	teplotní minimum [°C]	doba svitu slunce [h]
20.4.2011	4,719	16,800	2,200	0,6
21.4.2011	2,993	19,400	4,800	0,6
22.4.2011	2,691	21,200	5,400	1,7
23.4.2011	2,959	23,100	5,900	0,6
24.4.2011	1,552	24,000	9,100	1,8
25.4.2011	2,156	24,100	10,800	1,6

Tabulka 5 Naměřená data na domě v době kdy již termostat nespínal

Abychom ověřili správnost regresního modelu, zadáme nyní zpětný výpočet spotřeby plynu pro období, kdy se již netopilo, tím by nám měla jako výsledek vyjít čistá spotřeba plynu pro TUV za den.

Do programu tedy sestavíme matici $a_b_c1' = [1 \ 24.1 \ 24 \ 10.8 \ 1.6]'$, která je složena viz rovnice 6.1.1, respektive $a_b_c2' = [1 \ 24.1 \ 24 \ 10.8 \ 1.6]'$.

Jako výsledek dostáváme $ans = 2.932$ přičemž spotřeba reálná je 2,156. Model je tedy vpořádku.

Provedeme ještě několik pokusů:

$$a_b_c2' = [1 \ 21 \ 20 \ 15 \ 2]', \quad ans = 2.9495,$$

$$a_b_c1' = [1 \ 21 \ 19 \ 12 \ 1]', \quad ans = 2.7364,$$

Model tedy odpovídá realné situaci – hodnoty se blíží reálné spotřebě plynu.

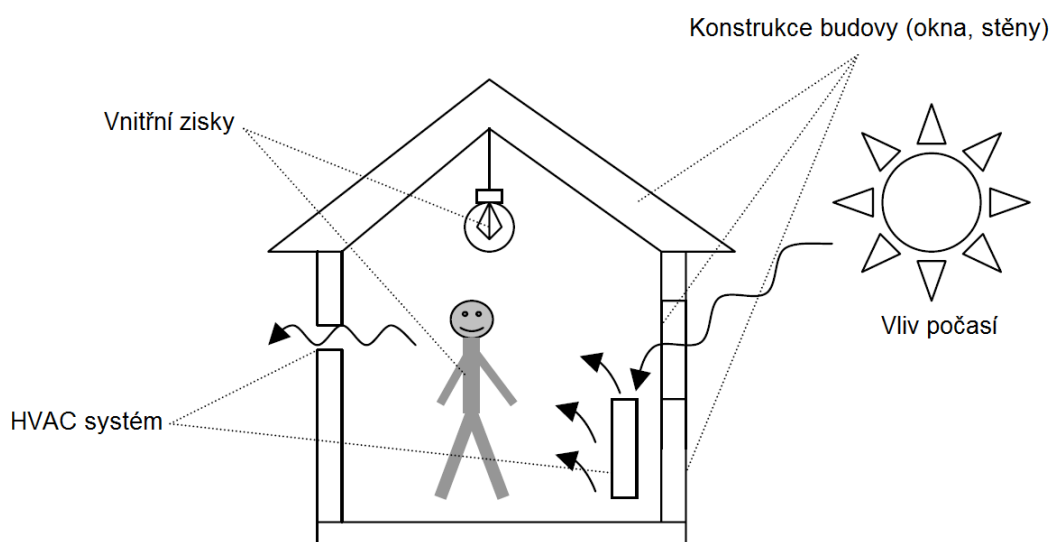
7. Řízení

7.1 Obecné parametry

Pro tvorbu modelu byla využita knihovna IBPT [6]. Jedná se o toolbox, který byl vytvořen ve spolupráci dvou univerzit DTU (Technical University of Denmark) a CTH (Chalmers University of Technology) právě pro modelování tepelných výměn malých budov.

7.2 International Building Physics Toolbox (IBPT)

IBPT¹ je knihovna bloků speciálně vytvořená pro simulaci a analýzu tepelného chování budovy. Většina bloků je tvořena duplicitně, kde každá z dvojice byla navržena na základě odlišného matematického modelu na jedné či druhé univerzitě. Dva shodné bloky jsou řešeny naprosto odlišným přístupem a popisují stejný problém různým matematickým popisem. Kompletní model vytvořený pomocí propojených bloků poskytuje detailní informace o tepelném stavu každého komponentu v závislosti na zadaných okolních podmínkách. Pro příklad je níže uvedeno schematické znázornění budovy na obrázku (Obrázek 10 Vlivy působící na prostředí v budově).



Obrázek 10 Vlivy působící na prostředí v budově

7.2.1 Struktura bloků

Stavebním kamenem modelu budovy jsou jednotlivé konstrukční bloky. Toolbox obsahuje pět rozdílných kategorií bloků, a to:

Systémové prvky: Tato skupina zastupuje HVAC² zařízení, což je kotel či klimatizace.

Konstrukce: Zastupuje stavební prvky pláště budovy jako jsou okna, zdi a různé izolace.

¹ Text o simulink toolboxu IBPT zpracoval na základě anglického originálu dokumentace Ing. Jakub Kubečka

² z anglického Heating, Ventilating, and Air Conditioning

Prvky zóny: Jedná se o samotné jádro celé místnosti, prostor, který člověk vnímá. Je reprezentován vzduchem objemu dané místnosti.

Pomocné prvky: Jedná se o pomocné bloky pro načítání počasí a dalších nezávislých vstupů.

Ostatní zisky: Reprezentuje další zdroje umístěné uvnitř zóny, například člověk či domácí spotřebiče.

V každé kategorii bloků je také nezbytné zvolit tvůrce bloku, zda byl vytvořen DTU (Technical University of Denmark), nebo CTH (Chalmers University of Technology). Pro náš model jsem užil návrhy DTU.

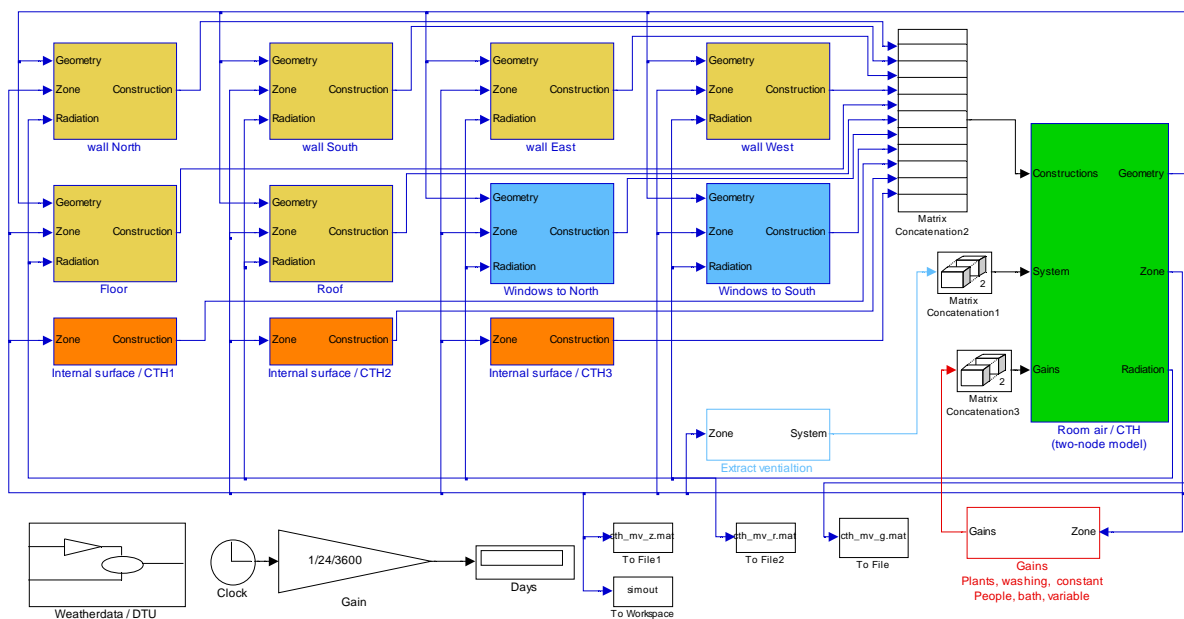
7.2.2 Výměna dat

Jednou z důležitých věcí Building Physics Toolboxu je forma předávání parametrů mezi jednotlivými bloky. Celkem je použito sedm interních komunikačních polí pro předávání dat:

- *konstrukce*,
- *systém*,
- *geometrie*,
- *zóna*,
- *vyzařování*,
- *zesílení*, (předává zisky a určuje, jak jsou zastoupeny)
- *počasí* (jsou zde zastoupeny hodnoty počasí jako například venkovní teplota vzduch, vlhkost vzduchu, přímé solární záření, rychlost větru atd.)

7.2.3 Vytvoření modelu

Celý model se vytváří sestavováním jednotlivých konstrukčních bloků a propojením (viz Obrázek 11). Jednotlivým komponentám bylo nutno nastavit potřebné parametry. Vlastnosti materiálů, ze kterých se jednotlivé konstrukční bloky skládají, jsou uloženy v knihovně materiálů. V našem případě bylo však potřeba materiály dodefinovat. Vzhledem ke stáří domu totiž v knihovně nebyly.



Obrázek 11 Model domu v IBPT toolbox pro Matlab

7.2.4 Nastavení parametrů

Veliké množství materiálů a velké množství parametrů domu vedou na ukládání dat ve formě určité struktury, která je nazvána knihovna materiálů. Knihovna značně zjednodušuje načítání parametrů. Při takovémto přístupu lze opakovaně využívat stejný materiál ve více blocích pomocí jednoduchého přiřazení. Další výhodou je rychlá a snadná změna materiálů definovaných v knihovně.

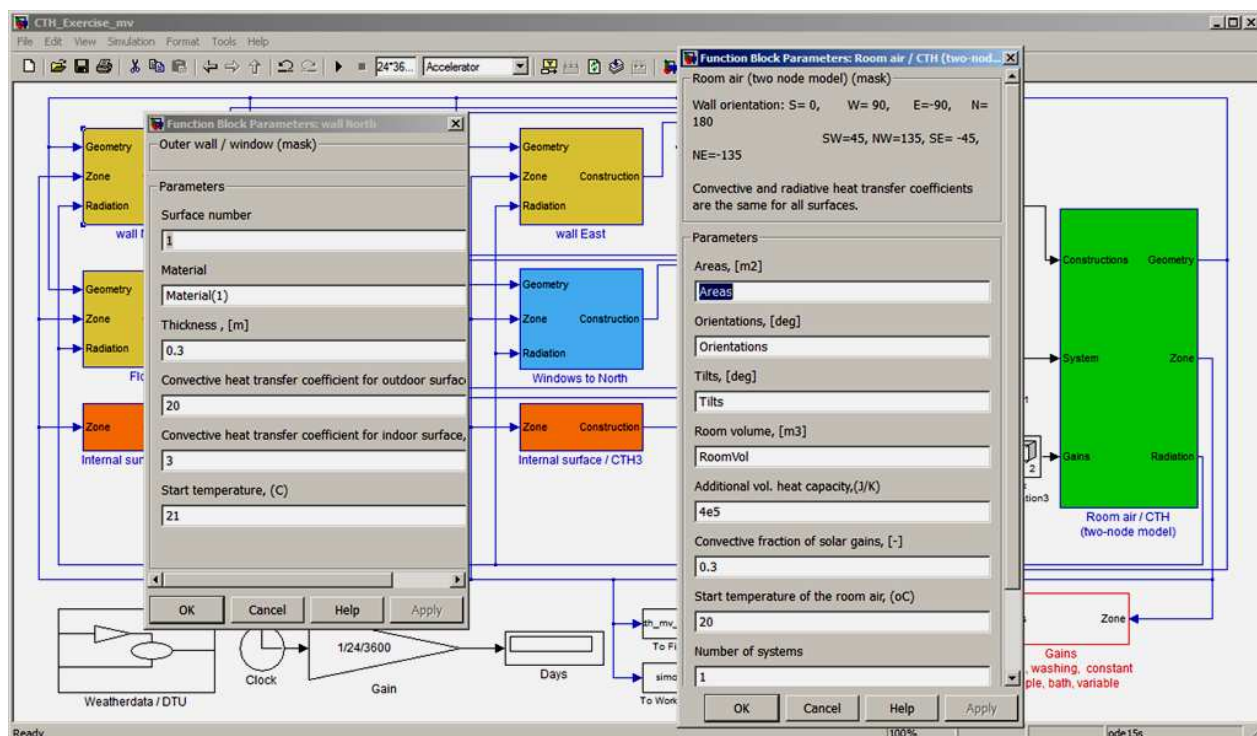
7.2.5 Soubor hodnot počasí

Pro úspěšné provedení simulace chování budovy je nezbytné poskytnout data o počasí v místě, ve kterém se budova nachází. Jednotlivé parametry počasí jsou tedy uloženy v matici a je možné je i paušálně měnit na základě dat z nejbližších meteostanic. V našem případě se jedná o stanici Spořilov či Libuše.

7.2.6 Simulace

Po nastavení všech potřebných parametrů a načtení hodnot počasí je možné simulovat průběh vytápění (případně i chlazení – klimatizace) dané budovy. Jelikož se jedná o simulace velmi náročné, je třeba počítat s velmi dlouhými časovými intervaly výpočtů.

Doba výpočtu se u měřeného domu pohybovala od 15 do 30 minut v závislosti na periodě vzorkování.



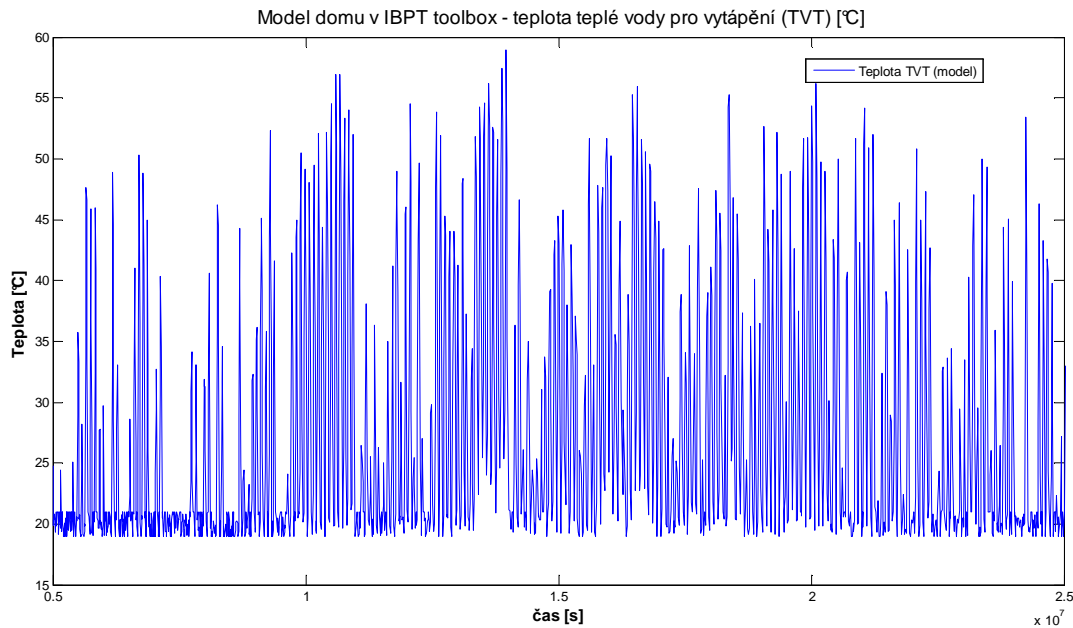
Obrázek 12 Ukázka vkládání parametrů

7.3 Parametry domu pro simulace

Pro simulaci bylo třeba znát základní rozměry pláště domu. Rozměry oken, dveří a zdí a potom nadefinovat všechny materiály do databáze materiálů.

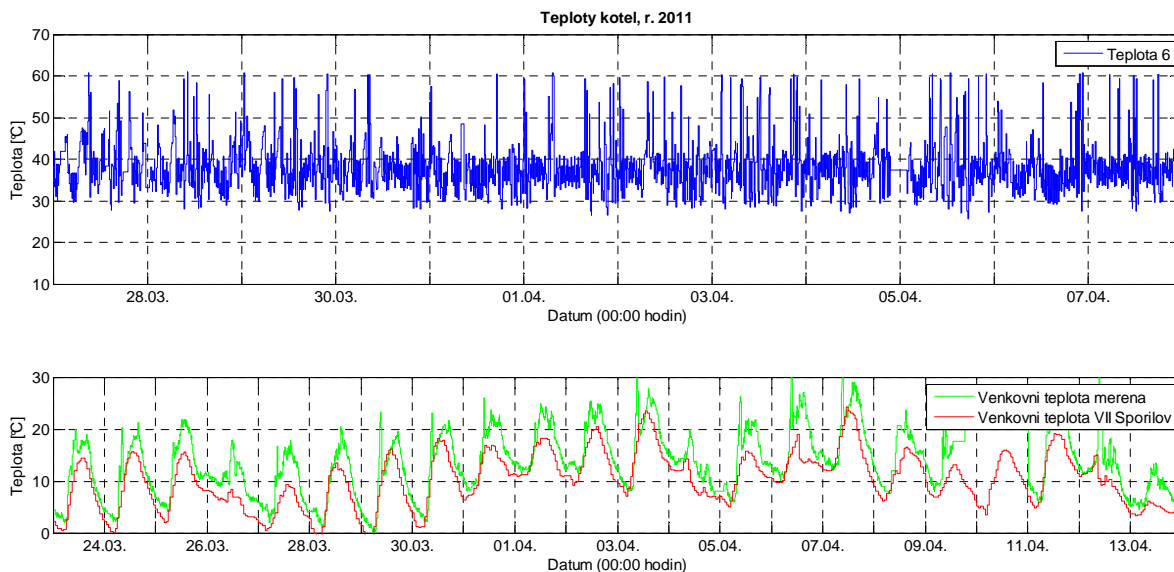
V závěru je třeba mít k dispozici data z co nejbližší meteo stanice.

8. Výsledky



Graf 14 Graf teploty vody pro vytápění - model domu IBPT toolbox

Jak je vidět z uvedených grafů, teploty a charakter vytápění se rozsahem i vzhledem podstatně neliší. I když metoda IBPT v podání CTH neumožňuje zásadně modelovat vnitřní prostor domu. Graf vody pro topení se podstatně neliší. Jde samozřejmě o velmi jemné rozdíly v ladění konstant, aby se opravdu vše podobalo. Pro nás je důležitý základní fakt, že teplota vody pro model a i pro reálný dům má horní maxima kolem 50 °C. Což ukazuje na stejnou měrnou ztrátu prostupu tepla, resp. můžeme tak usuzovat z faktu, že model má stejnou velikost stejné vlastnosti zdí a zároveň nastavenu stejnou teplotu na „termostatu“ - tedy 21 °C.



Graf 15 Graf teploty pro vytápění rodinného domu Strašnická 27/1180

9. Závěr

Obsahem této práce mělo být původně naměření dat na rodinném domě, následně provedení návrhu řízení. Po laboratorním odzkoušení měl být zrealizován komplexnější návrh měření a řízení vytápění rodinného domu, včetně hlídání parametrů spotřeby energie. Vzhledem k okolnostem vývoje a tvorby celého systému (hardware i software), pozdním dodávkám komponent a měřících a řídicích prvků se nakonec téma i práce neubírá přesně zadaným směrem.

Našly se však jiné parametry, konkrétně měření spotřeby plynu a závislosti mezi spotřebou a slunečním zářením. Dále se podařilo namodelovat měřený dům v simulačním prostředí simuling toolbox IBPT, a rozšířila se tím možnost ověřit si některé závěry.

V průběhu práce byly zjištěny velké možnosti v oblasti regulace teploty v rodinném domě přímo jeho obyvateli na základě jednoduché intuice a individuální pocitové teploty. Bylo zjištěno, že v domech jsou velké rozdíly mezi regulací místností podle polohy – tedy zvláště orientace oken vzhledem ke světovým stranám.

Velkou roli při vytápění hraje slunce a jeho nepravidelný svit a otáčení kolem budov v průběhu dne.

Závěr, který jsem v průběhu práce pociťoval na základě měřených dat, a to zbytečnost termostatických hlavice, беру zpět a nahrazuji na základě srovnání dat z několika místností za závěr následující. Termostatické hlavice jsou velmi důležitou podmínkou pro šetrné vytápění domů. Je však nutné zvážit (zvláště vzhledem k ceně a někdy i ke kontraproduktivnímu chování), kde se jejich výhody využijí. Není třeba je dávat bezhlavě do všech místností v domě. Konkrétně v místnostech přízemních, směřujících okny na sever, postačí bez problémů hlavice nejjednodušší – pevně nastavitelné.

Simulace v prostředí simulink toolbox IBPT ověřila, že model pracuje s velmi podobným rozsahem teploty vody pro vytápění a při nemožnosti simulovat vnitřní prostředí je to dostačujícím výsledkem.

10. Použitá literatura

- [1] *Professional information about meteorological conditions in the world* (online) 22. 1. - 30. 4. 2011 (cit. 30. 4. 2011) World Wide Web: <http://www.ogimet.com>
- [2] *STAVEBNICTVÍ A INTERIÉR v elektronické podobě* (časopis) (online) 20. 2. 2011 (cit. 20. 4. 2011) World Wide Web: <http://www.stavebnictvi3000.cz>
- [3] *TZB-info – internetové stránky - informační Topinfo s.r.o* (online) 15.2.2011 (cit. 20. 4. 2011) World Wide Web: <http://www.tzb-info.cz/>
- [4] *MICRORISC s. r. o. firma specializovaná elektronické komponent a moduly* (online) 15. 2. 2011 (cit. 19. 4. 2011) World Wide Web: <http://www.microrisc.com>
- [5] *HVAC control systems: modelling, analysis and design*, Underwood, C. P., London Spon, 1999, ISBN-10 0-419-20980-8
- [6] *International Building Physics Toolbox in Simulink* (online) 16. 3. 2011 (cit. 19. 3. 2011) World Wide Web: <http://www.ibpt.org/>
- [7] *Plynové závěsné kotle Junkers CERASTAR a CERAMINI ZWN/ZSN 18/24-6 KE (AE), ZSN 5 (7)/11-6 KE (AE)* (pdf) (online) 16. 3. 2011 (cit. 25. 4. 2011) World Wide Web: <http://www.junkers.cz/>
- [8] *Návod DataLogger* (pdf), Nývlt, O., Praha 2011
- [9] *Presentation of the international building physics toolbox for simulink*, Weitzmann, P., Nielsen, T.R., Peuhkuri, R., Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, DK-2800 Lyngby, Denmark
- [10] *Presentation of the international building physics toolbox for simulink*, Kalagasidis, A.S., Hagentoft, C.E., Chalmers University of Technology, Department of Building Physics, SE-412 96 Göteborg, Sweden
- [11] *České normy, Měsíčně aktualizovaný seznam českých národních norem ČSN i s možností vyhledávání* (online) 17. 3. 2011 (cit. 5. 5. 2011) World Wide Web: <http://www.ceske-normy.cz>
- [12] *Stavební zprávy, informace, finance, bydlení, stavební zákony.* (online) 17. 3. 2011 (cit. 5. 5. 2011) World Wide Web: <http://www.estav.cz>
- [13] *Okrajové podmínky výpočtů (podklady na cvičení), Teploty, vlhkosti, vítr*, Staněk, K., ČVUT Fakulta stavební, Praha 2009

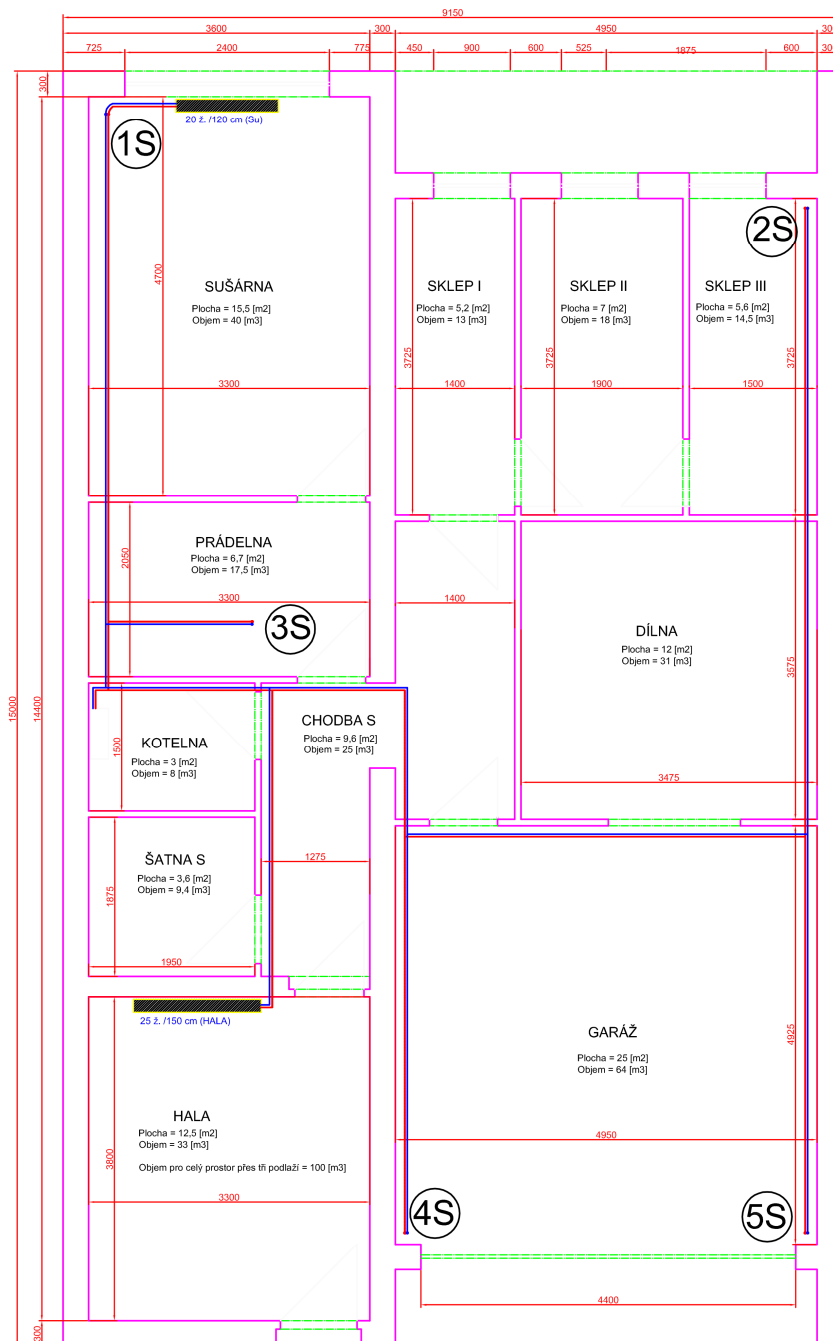
- [14] *Modelování environmentálních veličin pasivních domů pro podporu návrhu řídicích systémů*, Novák, P., Praha 2009
- [15] *Legislativní a normové požadavky na vnitřní klima*, (online) 16. 3. 2011 (cit. 4. 5. 2011) World Wide Web: <http://tzb2.fsv.cvut.cz>
- [16] Autor fotografií. Bc. Marek Vachule

11. Příloha A – Obsah vloženého CD

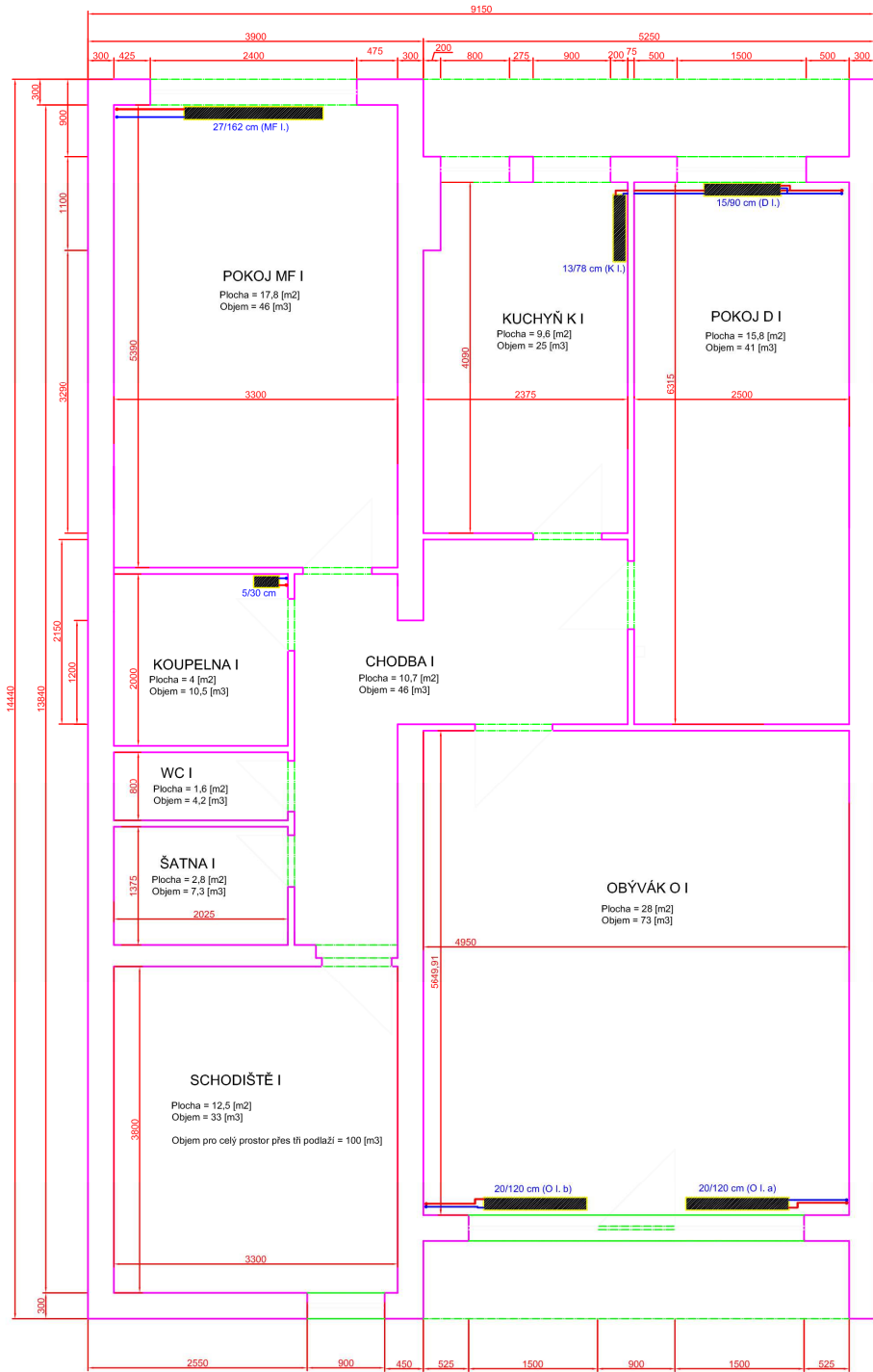
- elektronická podoba této práce ve formátu pdf (dp_prace_mv_vytapeni.pdf)
- výkresy domu ve formátu pdf (dp_prace_mv_dum_... .pdf)
- všechny tabulky užívané v práci (dp_prace_mv_vytapeni_tabulky.xls)
- všechny grafy užívané v práci (adresář - grafy)
- zdrojové kódy programu pro Matlab

12. Příloha B – Projektová dokumentace domu Strašnická 27

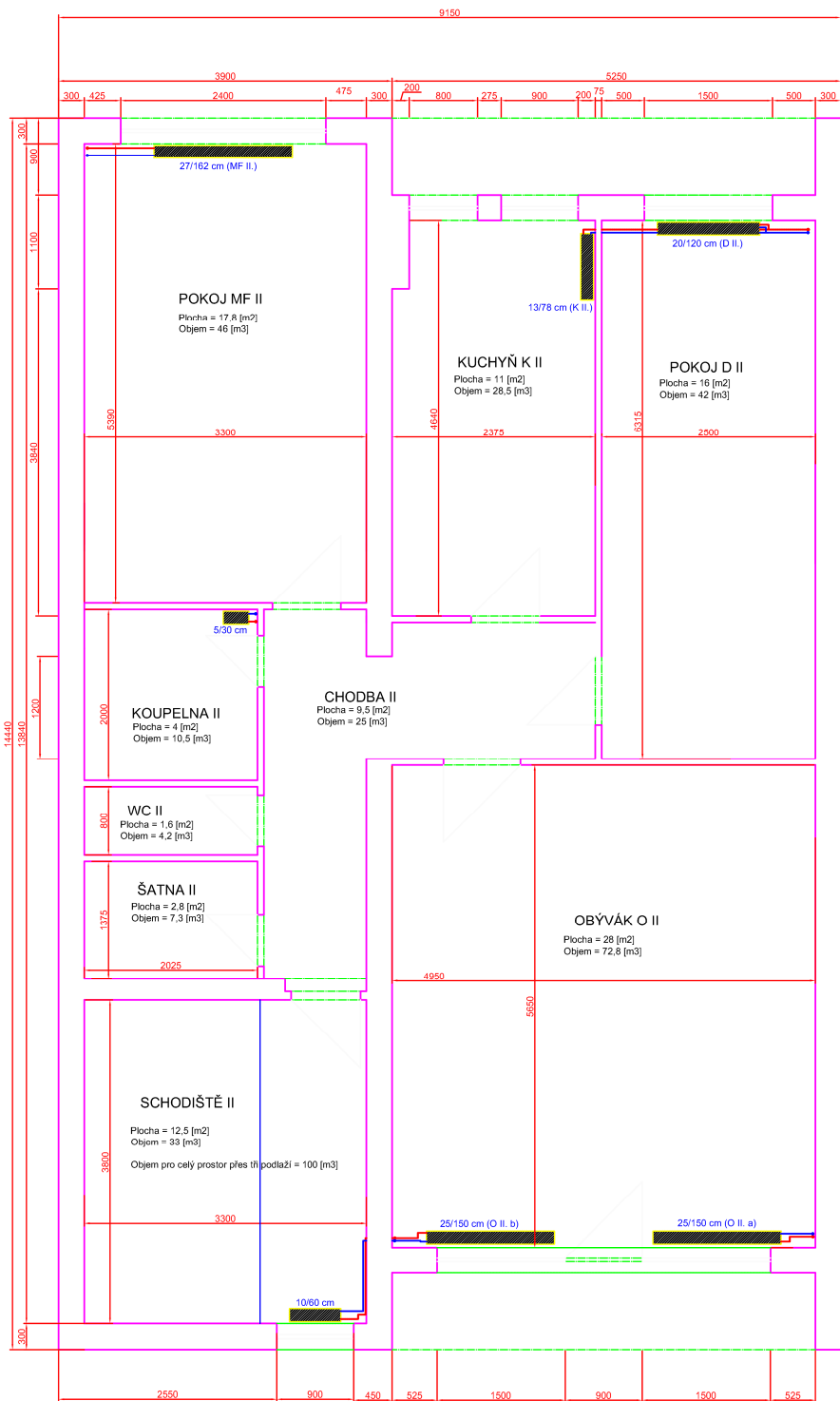
12.1 Dům



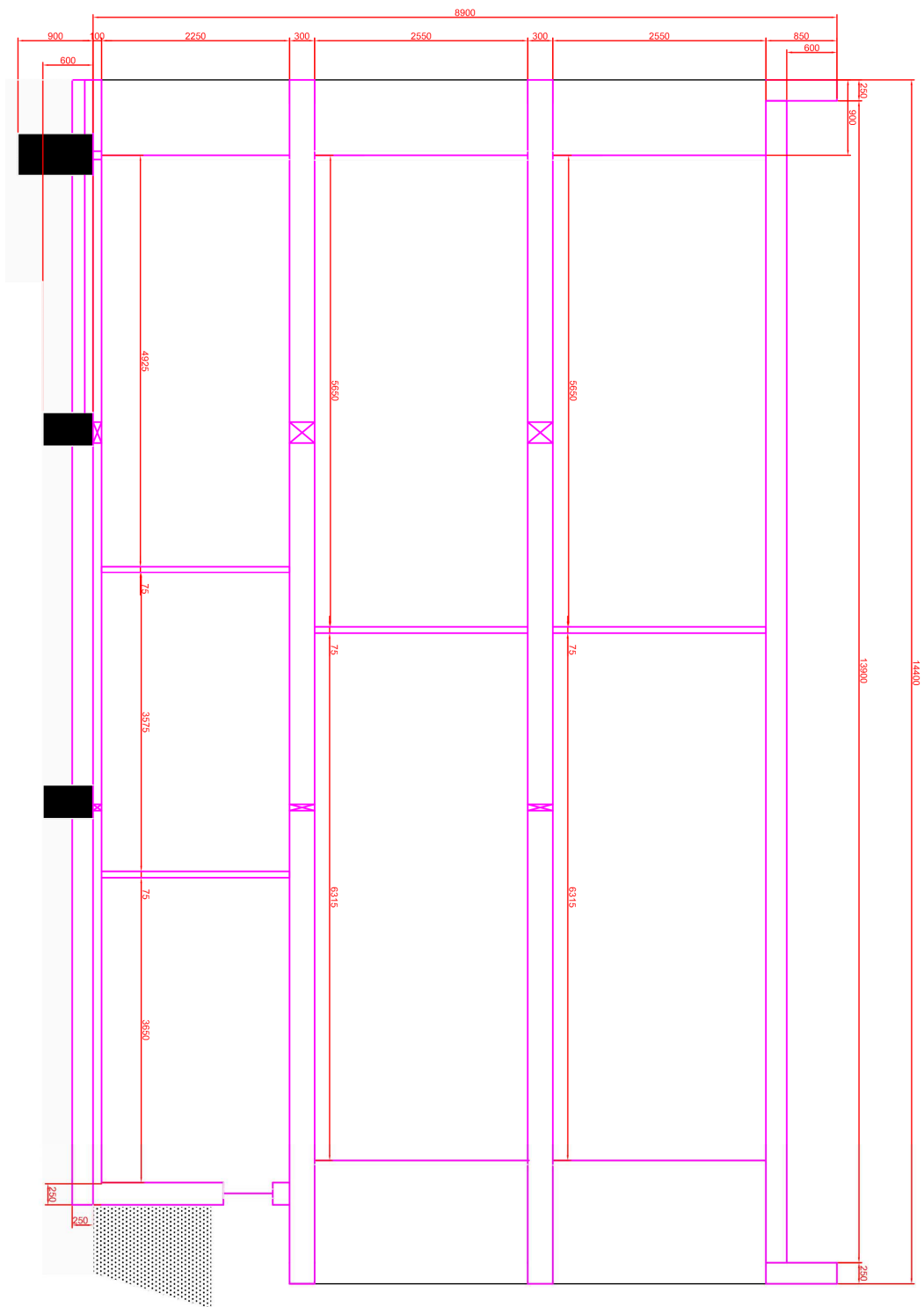
Výkres 1 Náskres suterén



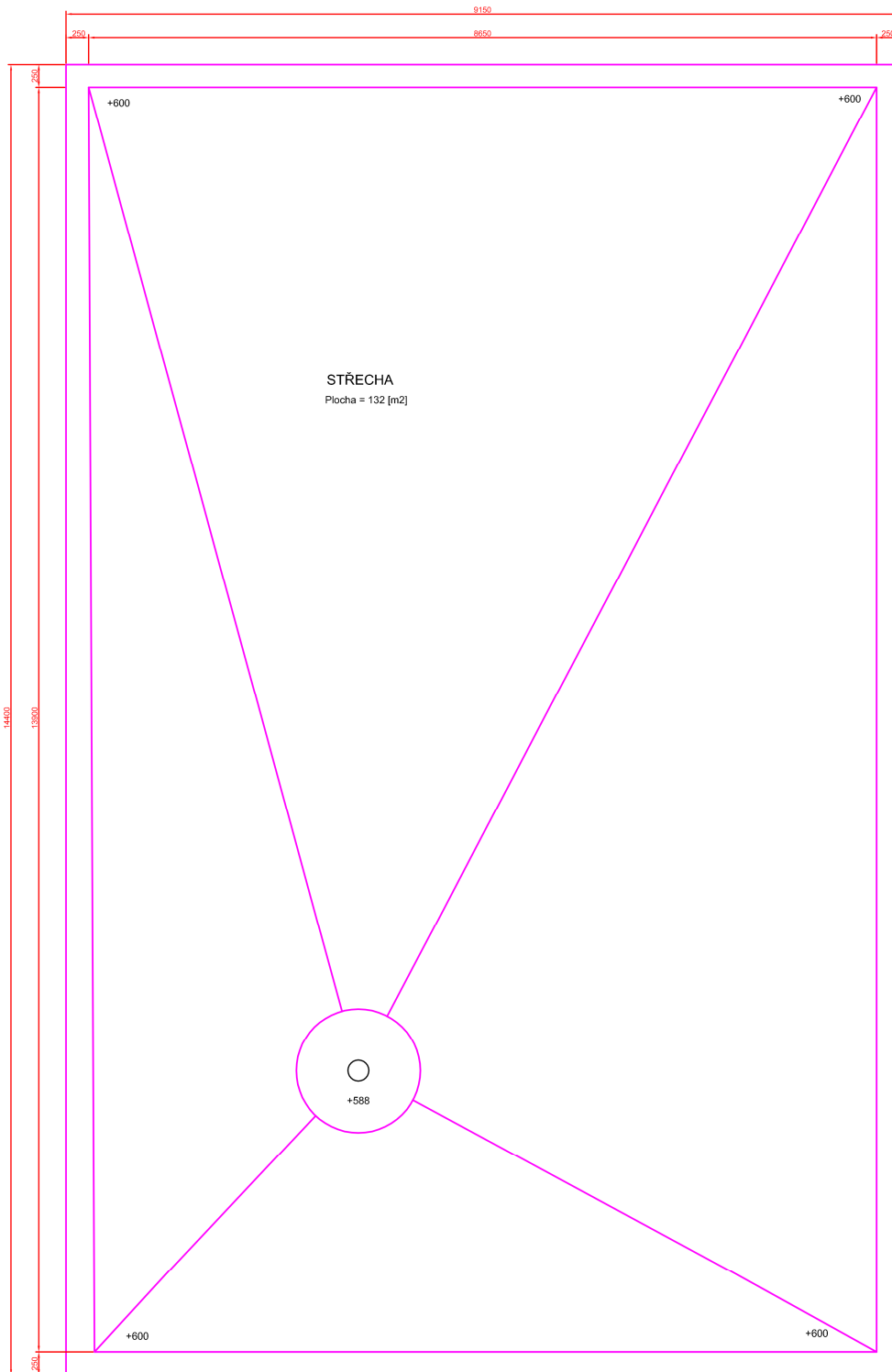
Výkres 2 Nákres 1. patra



Výkres 3 Nákres 2. patra

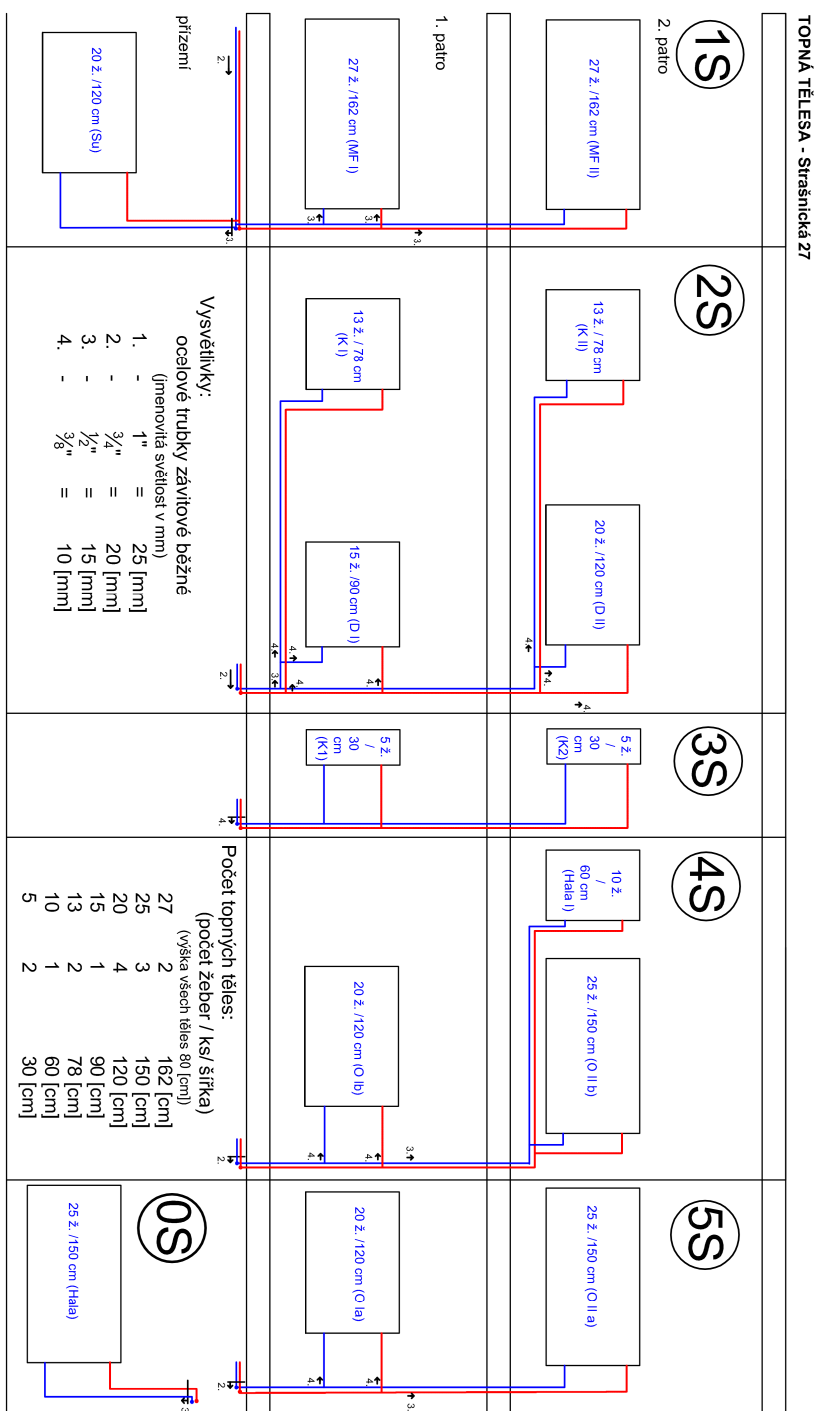


Výkres 4 Pohled z leva



Výkres 5 Střecha

12.2 Topná tělesa

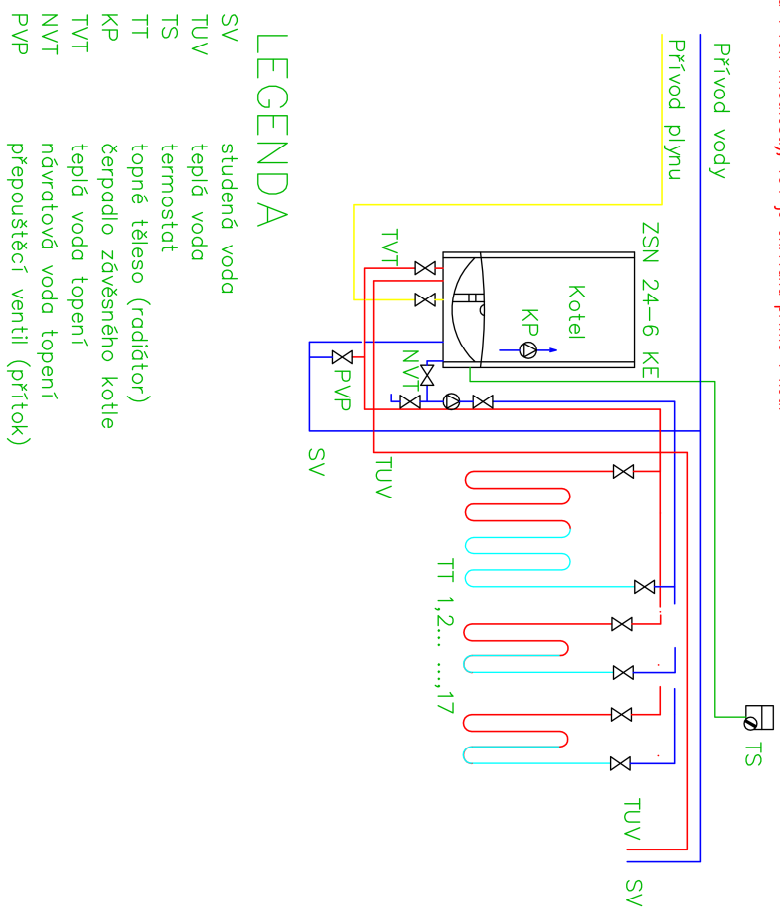


Výkres 6 Nákres topných těles

12.3 Kotel

Schéma zapojení kotle – teplá užitková voda(TUV) + radiátory

Radiátory tvoří uzavřený okruh a ohřev se zajišťuje ve výměníku, kotel se řídí termostatem (resp. teplotou v ref. místnosti), TUV je ohřívána přímo v kotli

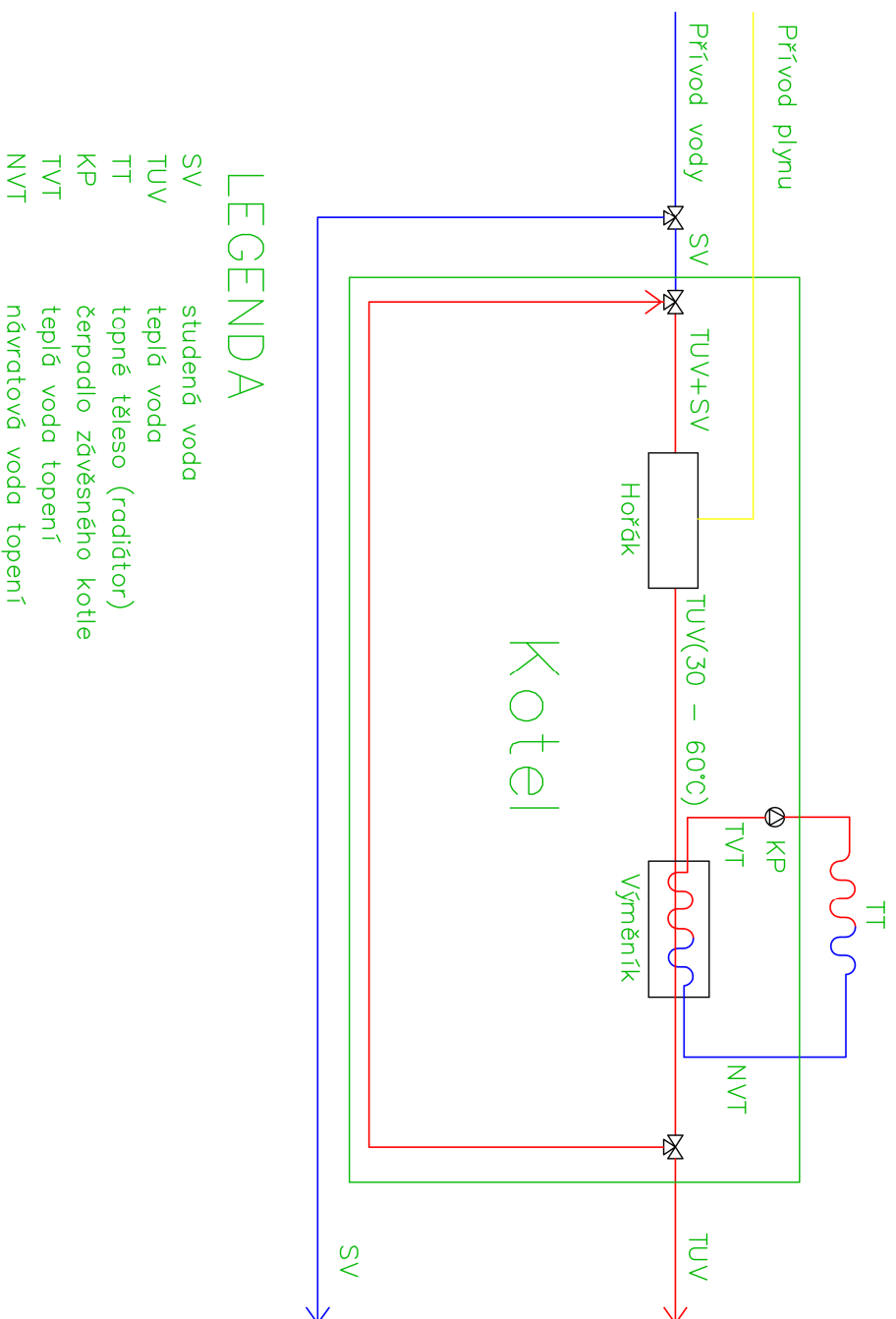


LEGENDA

SV	studená voda
TUV	teplá voda
TS	termostát
TT	topné těleso (radiátor)
KP	čerpadlo závěsného kotle
TVT	teplá voda topení
NVT	návratová voda topení
PVP	přepouštěcí ventil (přítlak)

Výkres 7 Schéma zapojení kotle

Schéma zapojení ohřevu vody uvnitř kotle



Výkres 8 Schéma zapojení ohřevu vody uvnitř kotle

12.4 Tabulky (všechny) – ogimet, spořilov

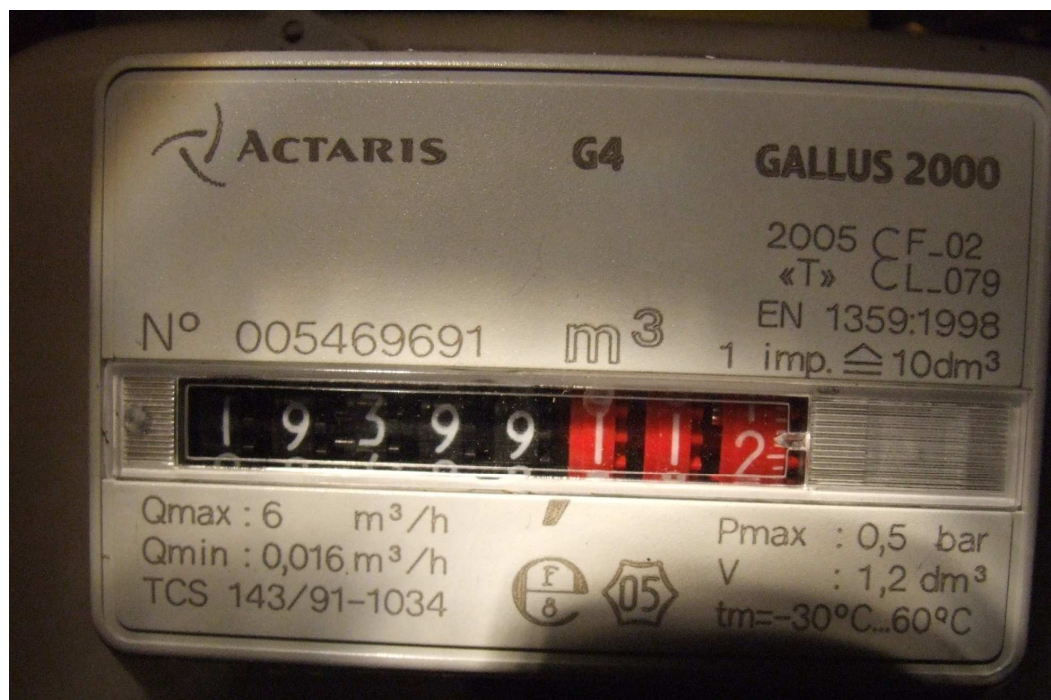
Graf 16 Přehled vybraných hodnot U

stěna od r . 1992	$U = 0.4 \text{ W/m}^2\text{K}$
stěna po roce 1978 do 1992	$U = 1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$
stěna do r. výstavby 1978	$U = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$
stěna cihelná 60 cm a silnější	$U = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$
stěna cihelná tl. 45 cm	$U = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$
stěna kamenná	$U = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>podlaha bez tepelné izolace</u>	$U = 3.10 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>podlaha s tepelnou izolací 5 cm</u>	$U = 0.68 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>podlaha s tepelnou izolací 8 cm</u>	$U = 0.43 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>podlaha s tepelnou izolací 10 cm</u>	$U = 0.35 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>podlaha s tepelnou izolací 15 cm</u>	$U = 0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>střecha s podbitím bez tepelné izolace</u>	$U = 2.20 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>střecha s tepelnou izolací 10 cm mezi krokviemi</u>	$U = 0.44 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>střecha s tepelnou izolací 14 cm mezi krokviemi</u>	$U = 0.33 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>střecha s tepelnou izolací 16 cm mezi krokviemi</u>	$U = 0.29 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>střecha s tepelnou izolací 24 cm mezi a pod krokviemi</u>	$U = 0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>střecha s tepelnou izolací 20 cm nad krokviemi</u>	$U = 0.19 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>střecha s tepelnou izolací 25 cm nad krokviemi</u>	$U = 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>střecha s tepelnou izolací 35 cm nad krokviemi</u>	$U = 0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>dvojitá (špaletová, kastlíková)</u>	$U = 2.35 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>zdvojená (paneláková)</u>	$U = 2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>stará eurookna</u>	$U = 2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>stará plastová okna</u>	$U = 2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>nové kvalitní domovní dveře</u>	$U = 1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>domovní dřevěné dveře bez výplně</u>	$U = 2.6 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>standardní starší domovní dveře</u>	$U = 3.5 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>domovní dřevěné dveře s jedním sklem</u>	$U = 4.7 \text{ W/m}^2\text{K}$
<u>domovní kovové dveře s jedním sklem</u>	$U = 6.5 \text{ W/m}^2\text{K}$

12.5 Fotografie



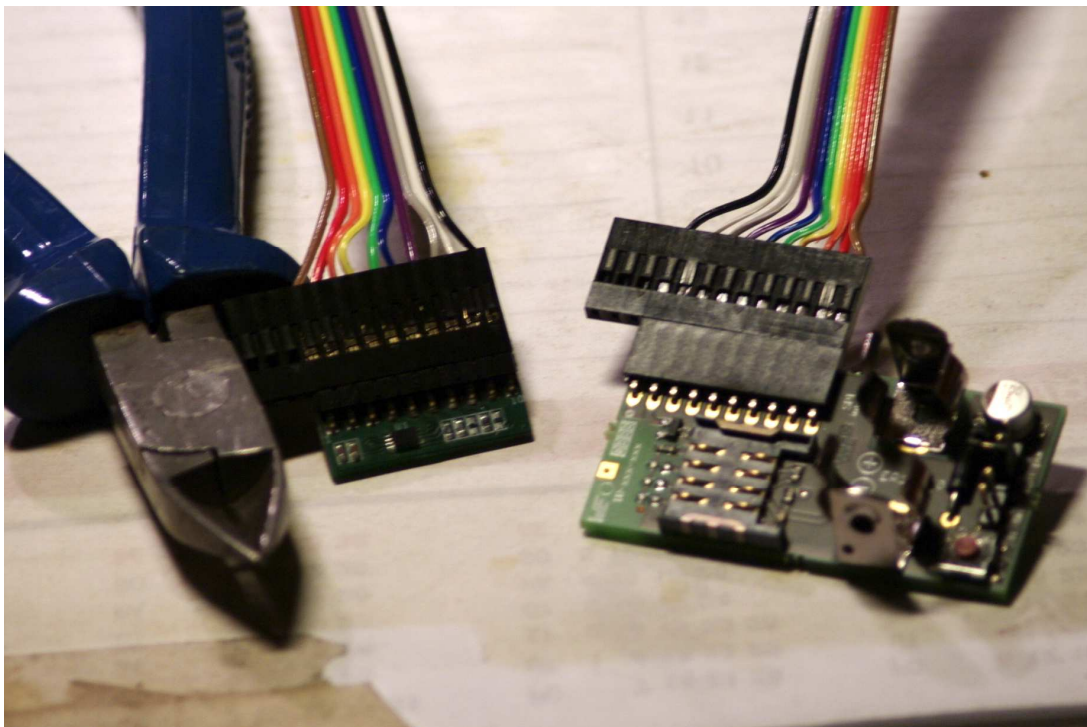
Fotografie 1 Štítek ventilu - místnost K II



Fotografie 2 Měření – plynoměr



Fotografie 3 Senzor teploty - Kotel



Fotografie 4 Detail měřícího kabelu ke kotli