VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

TERMINÁL PRO VIZUALIZACI A OVLÁDÁNÍ PODMÍNEK V OBYTNÉM DOMĚ

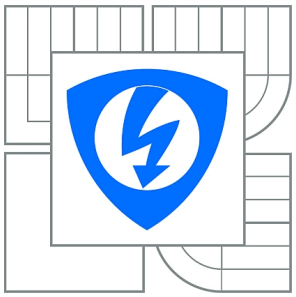
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE PATRIK SZALAY
AUTHOR

BRNO 2015

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

TERMINÁL PRO VIZUALIZACI A OVLÁDÁNÍ PODMÍNEK V OBYTNÉM DOMĚ

TERMINAL FOR VISUALIZATION AND CONTROL CONDITIONS IN HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — PATRIK SZALAY

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. PETR PETYOVSKÝ

SUPERVISOR

BRNO 2015

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Patrik Szalay ***ID:*** 154882
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2014/15

NÁZEV TÉMATU:

Terminál pro vizualizaci a ovládání podmínek v obytném domě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Úkolem je navrhnout a realizovat HW a SW jednotky pro vizualizaci a ovládání podmínek v obytném domě.
1. Seznamte se s dostupnými jednotkami pro vizualizaci a ovládání podmínek v obytném domě.
2. Proveďte rešerši dostupných zařízení na trhu.
3. Na základě získaných informací navrhněte vlastní řešení a definujte měřené a regulované veličiny.
4. Realizujte jednotlivá měření a navrhněte způsoby regulace akčních veličin.
5. Zvolte vhodný HW pro realizaci terminálu (případně navrhněte vlastní).
6. Implementujte měřicí a regulační algoritmy do zvoleného HW terminálu.
7. Proveďte oživení a ověřte funkčnost celého zařízení.
8. Zhodnoťte dosažené výsledky a diskutujte další možná vylepšení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MATOUŠEK, David. Práce s inteligentními displeji LCD. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 224 s. ISBN 80-7300-121-7.
[2] HEROUT, Pavel. Učebnice jazyka C. 4., přeprac. vyd. České Budějovice: Kopp, 2004, 271 s. ISBN 80-7232-220-6.

Termín zadání: 9. 2. 2015 ***Termín odevzdání:*** 25.5.2015

Vedoucí práce: Ing. Petr Petyovský
Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem regulace plynového kotle a oběhového čerpadla pro vytápění rodinného domu a zprovoznění měření potřebných veličin k zajištění optimální regulace. Při návrhu je kladen důraz na nejjednodušší provedení, maximální účinnost, nejnižší pořizovací ceny a nejdelší životnost. Regulace je prováděno pomocí Tower Systému Freescale MC9S08LH64, který získává data z teplotních čidel přes sběrnici I^2C. Jako ovládací panel je použit alfanumerický displej s ovládacími tlačítky. Terminál je možné ovládat pomocí počítače přes sériové komunikační rozhraní.

KLÍČOVÁ SLOVA

Regulace, plynový kotel, vytápění rodinného domu, oběhové čerpadlo, mikrokontrolér, snímač, sběrnice, sériová sběrnice, I2C, Freescale, MC9S08LH64, HCS08.

ABSTRACT

This bachelor's thesis is interested in designing of regulation of a gas boiler and circulation pump for heating a family house, and commissioning measurements required to ensure optimal regulation. The emphasis of this thesis is in simplest implementation, reaching the maximum efficiency, lowest cost and longest life of elements in the system. Regulation is carried out by Freescale MC9S08LH64 Tower System, which receives data from temperature sensors over serial I^2C bus. As a user interface, an alphanumeric display is used with control buttons. The terminal can be configured via serial interface from PC.

KEYWORDS

Regulation, gas boiler, house heating, circulation pump, microcontroller, sensor, bus, serial bus, Inter-Integrated Circuit, Freescale, MC9S08LH64, HCS08.

SZALAY, P. *Terminál pro vizualizaci a ovládání podmínek v obytném domě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 62 s. Vedoucí práce: Ing. Petr Petyovský.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Terminál pro vizualizaci a ovládání podmínek v obytném domě“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů („autorský zákon“), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne ....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petr Petyovskému za účinnou metodickou, odbornou, pedagogickou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne ....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků **9**
Seznam grafů **10**
Seznam tabulek **11**
Úvod **12**
1 Problematika regulace vytápění obytného domu **14**
1.1 Vytápění domu 14
1.2 Rodinný dům 14
1.3 Topná tělesa 14
1.3.1 Zapojení topných těles 14
1.3.1.1 Jedno-trubkové zapojení 15
1.3.1.2 Dvou-trubkové zapojení 15
1.4 Plynový kotel 16
1.4.1 Princip a účinnost kotle 16
1.5 Současná regulace vytápění 16
2 Dostupné zařízení na trhu pro regulaci vytápění **18**
2.1 Mechanické manuální termostaty 18
2.2 Digitální manuální termostaty 18
2.3 Programovatelné pokojové termostaty 19
2.4 Honeywell JADE Economizer W7220 20
2.5 ABB termostaty s týdenními spínacími hodinami 22
2.5.1 Zvláštní funkce termostatu ABB 23
2.6 Regulátory Siemens REV 24
2.6.1 Optimalizace času vytápěcího cyklu regulátoru Siemens REV 25
2.6.2 Automatická synchronizace času 26
2.6.3 Regulační algoritmus PID regulátoru Siemens REV 26
2.6.4 Zvláštní režimy regulátoru Siemens REV 26
2.6.5 Dálkové ovládání regulátoru Siemens REV 26
2.7 Srovnání jednotlivých systémů 27
3 Měřené a regulované veličiny **28**
3.1 Měřené veličiny 28
3.2 Regulované veličiny 29
4 Vlastní návrh **31**
4.1 Centrální jednotka 31

4.1.1 Základní parametry MC9S08LH64 31
4.2 Snímače 32
4.2.1 Snímač teploty a vlhkosti vzduchu pro venkovní prostředí HTU21D 32
4.2.1.1 Ovládání snímače HTU21D 33
4.2.1.2 Výpočet vlhkosti naměřené snímačem HTU21D 34
4.2.1.3 Výpočet teploty naměřené snímačem HTU21D 34
4.2.1.4 Výpočet parciálního tlaku naměřený snímačem HTU21D 35
4.2.1.5 Výpočet rosného bodu naměřený snímačem HTU21D 35
4.2.2 Snímače teploty LM75AD 35
4.2.2.1 Ovládání snímače LM75AD 36
4.2.2.2 Výpočet teploty u snímače LM75AD 37
4.2.3 Snímač pokojové teploty MCP9808 37
4.2.3.1 Ovládání snímače MCP9808 38
4.2.3.2 Výpočet teploty u snímače MCP9808 38
4.2.4 Srovnání popsaných snímačů 39
4.3 Řídicí jednotka 40
4.3.1 Obvod reálného času (RTC) 40
4.4 Uživatelský panel 40
4.4.1 Displej 40
4.4.2 Spínání silové části 41
4.5 Návrh regulace 42
4.5.1 Zahájení a ukončení vytápěcího období 43
4.5.2 Denní a noční teploty regulace 43
4.5.3 Návrh regulace pokojové teploty 44
4.5.4 Ochrana proti přehřátí vody v systému a proti zamrznutí 44
5 Návrh softwaru 45
5.1 Knihovna pro řízení LCD displeje Tower Systému 45
5.1.1 Úprava výpisu času ve dvanáctihodinovém formátu AM/PM 45
5.2 Knihovna pro řízení I^2C sběrnice 45
5.3 Knihovny pro snímače 46
5.4 Ošetření chyb při čtení naměřených dat 46
5.5 Kontrola CRC součtu u snímače HTU21D 46
5.6 Vlastní datové typy 46
5.6.1 Datový typ ADDRESS 46
5.6.2 Datový typ decimal 47
5.7 Registr časových přerušení 47

5.8 Knihovna pro řízení LCD displeje MC42004A6W-BNMLW 47
5.9 Knihovna pro řízení obvodu reálného času DS1307+ 47
5.10 Komunikace s terminálem 47
5.10.1 Pomocný registr pro jednotlivé stavy komunikace 50
5.11 Hlavní program terminálu 50
5.12 Algoritmus regulace 51
5.13 Ovládání jednotky 51
5.14 Uživatelská aplikace pro dálkové ovládání jednotky 53
5.14.1 Hlavní okno aplikace 53
5.14.2 Nastavovací menu uživatelské aplikace 54
5.15 Ověření funkčnosti hardwaru 55
5.15.1 Příprava pro ověření pomocí simulace obytného domu v programu MATLAB 55
5.15.2 Ověření funkčnosti pomocí uživatelské aplikace 56
6 Závěr 57
Literatura 59
Seznam symbolů, zkratek a veličin 62
Přílohy 63

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1.3.1 – Jedno-trubkové zapojení topných těles 15
Obrázek č. 1.3.2 – Dvou-trubkové zapojení topných těles.....16
Obrázek č. 1.5.1 – Blokové schéma skutečného zapojení topné soustavy v domě 17
Obrázek č. 2.3.1 – Příklad programovatelného pokojového termostatu 19
Obrázek č. 2.4.1 – Hlavní modul systému Honeywell JADE Economizer W7220.....21
Obrázek č. 2.5.1 – Přístroj termostatu s týdenními spínacími hodinami.....22
Obrázek č. 2.6.1 – Regulátor Siemens REV24RF 24
Obrázek č. 3.2.1 – Blokové schéma plánovaného zapojení topné soustavy v domě 30
Obrázek č. 4.2.1 – Přehled pinů snímače HTU21D.....33
Obrázek č. 4.2.2 – Komunikační sekvence při měření teploty se snímačem HTU21D..34
Obrázek č. 4.2.3 – Přehled pinů snímače LM75AD 36
Obrázek č. 4.2.4 – Přehled pinů snímače MCP9808.....38
Obrázek č. 4.4.1 – Schéma zapojení uživatelského panelu terminálu 42
Obrázek č. 5.10.1 – Datagram komunikačního protokolu.....48
Obrázek č. 5.10.2 – Struktura datagramu komunikačního protokolu 48
Obrázek č. 5.13.1 – Displej uživatelského panelu 52
Obrázek č. 5.13.2 – Displej Tower System-u.....53
Obrázek č. 5.14.1 – Hlavní okno uživatelské aplikace House Heating Terminal.....54
Obrázek č. 5.14.2 – Nastavovací menu uživatelské aplikace 55
Obrázek č. 5.15.1 – Simulační model obytného domu v MATLAB Simulink-u 56

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 2.6.1 – Průběh teplot při optimalizace času zapnutí vytápění regulátoru Siemens REV 25

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 4.2.1 – Srovnání parametrů snímačů 39
Tabulka č. 5.10.1 – Popis podporovaných příkazů vlastním komunikačním protokolem 49
Tabulka č. 5.10.2 – Stavový registr SCIS 50
Tabulka č. 5.10.3 – Popis jednotlivých bitů stavového registru 50

ÚVOD

V dnešní době existuje mnoho způsobů vytápění, jako jsou například elektrické přímotopy, kotle na tuhá paliva (uhlí, dřevo), plynové kotle, solární panely nebo tepelná čerpadla. Každé z uvedených zařízení nebo systémů má své výhody a nevýhody. Nejmodernější kotle na tuhá paliva je již možné zcela přesně regulovat, ale pořizovací cena tohoto systému je vysoká. U solárního ohřevu je dodávané teplo závislé na počasí, což není možné ovlivňovat.

Vytápění pomocí plynu je nejrozšířenější způsob vytápění vůbec. Stále narůstající ceny plynu poukazují pouze na fakt, že je třeba hledat nejlepší řešení regulace takového vytápění. Výhodou tohoto i dalších systémů je možnost automatizace celého procesu.

Cílem této práce je navrhnout a sestavit regulátor pro plynový kotel na vytápění rodinného domu. Původně bylo řízení uvedeného kotle vyřešeno pomocí obyčejného bimetalového termostatu, který je nepřesný. Navíc, řízení vůbec nebralo do úvahy povětrnostní podmínky. Při snímání povětrnostních podmínek je možné zoptimalizovat regulaci a dosáhnout tím menších nákladů na vytápění. Popisovaný způsob může zahájit období vytápění na základě počasí, zabránit tím vychladnutí budovy, a tím také zabrání větší spotřebě při prvním spuštění topení.

Jako vývojový prostředek je použit Tower System MC9S08LH64 od firmy Freescale Semiconductors. Po úspěšném vývoji bude možné vyvinutý regulátor přenést na jiný mikrokontrolér. Regulace je rozdělena do dvou částí – dvoustavová regulace teploty v obytných prostorech obytného domu a udržování teploty vody v systému. Regulace teploty v domě je řízena podle teploty v referenční místnosti. Jedná se o starší systém, při kterém nejsou na radiátorech instalovány řiditelné ventily a v současné době nejsou k dispozici dostatečné finanční prostředky na obnovu celého systému. Uživatelským rozhraním je displej a klávesnice, pomocí nichž je možné nastavit žádané teploty, nebo průběh těchto hodnot v určitém rozmezí a také sledování aktuálních hodnot. S ohledem na co nejdelší životnost systému je třeba, aby spínání kotle a oběhového čerpadla bylo sníženo na minimum.

V dnešní době existuje celá řada podobných regulátorových systému od různých firem, jejich cena je poměrně vysoká a většinou vyžadují ostatní moduly dané firmy.

Cílem bakalářské práce je nalezení vhodného řešení na regulaci tohoto systému s ohledem na nízké náklady, komfort osob, univerzálnost a robustnost systému. Dalším požadavkem je, aby se daný regulátor dal připojit k jakémukoliv systému bez nutnosti vážnější změny jeho vlastností (propojení čidel, připojení k topnému systému a k nadřazeným systémům tzv. inteligentního domu).

1 PROBLEMATIKA REGULACE VYTÁPĚNÍ OBYTNÉHO DOMU

1.1 Vytápění domu

Jedna z nejdůležitějších otázek týkajících se rodinného domu je otázka volby topení. Je důležité, aby topení bylo co nejlevnější - to se týká seřízení i provozu daného systému, rychlé, abychom dosáhli co největší komfort, a s optimální životností.
Na trhu existuje více typů systémů na vytápění. Nejčastěji se setkáváme s ústředním vytápěním s plynovým kotlem, ať už se jedná o starší nebo o nové obytné domy.

1.2 Rodinný dům

V daném případě se jedná o dvoupatrovou nezateplenou starší budovu, kde vytápění je zabezpečeno pomocí plynového kotle kombinovaného s kotlem na tuhá paliva. Kotle se nacházejí ve sklepní části domu. Jako topné médium se používá voda. Referenční místnost pro teplotu se nachází v přízemí domu. Oběhové čerpadlo pro oba kotle je společné, přičemž je možné uzavřít výstup z kotlů pomocí kulových ventilů. Tím je zabezpečeno, aby při samotném provozu plynového kotle nedocházelo k ochlazení topného média, a nevznikala smyčka oběhu vody mezi plynovým kotlem a kotlem na tuhé palivo.

1.3 Topná tělesa

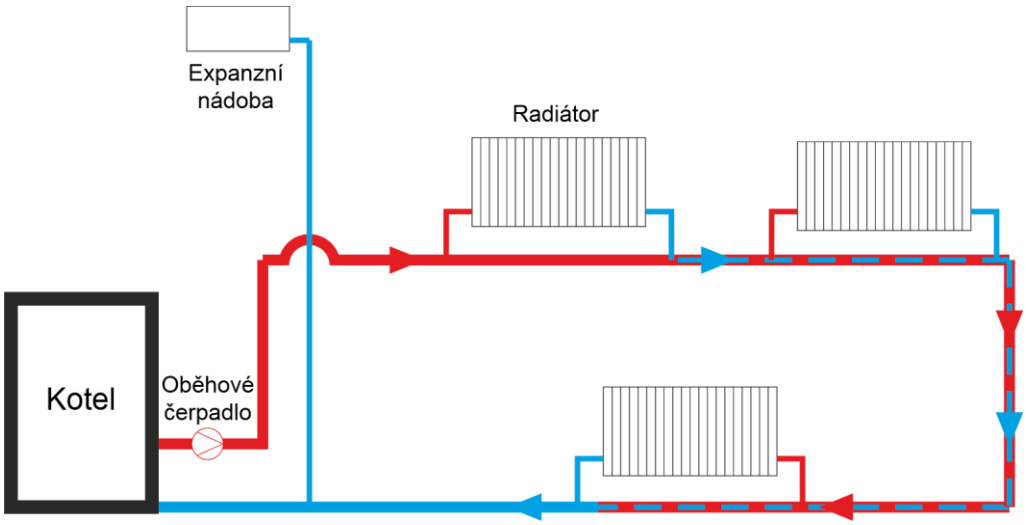
Na předání tepla z topné vody jsou použita topná tělesa. Jako topná tělesa se používají radiátory.

1.3.1 Zapojení topných těles

Topná tělesa (radiátory) je možné zapojit více způsoby. Nejobvyklejším zapojením jsou jedno- a dvou-trubková zapojení. Uvedená zapojení topných těles jsou popsána v následujících podkapitolách.

1.3.1.1 Jedno-trubkové zapojení

U jedno-trubkového zapojení jsou napojeny radiátory do topné soustavy tak, že na hlavní větve pro přívod jsou za sebou napojeny sériově všechny ostatní radiátory, což znamená, že vratná voda z prvního radiátoru je vstupní vodou druhého radiátoru, atp. V popisovaném zapojení při uzavření kteréhokoliv radiátoru zastavíme průtok topného média. Z toho důvodu je nutné u uvedené soustavy použít vhodné ventily (např. míchací), které umožní průtok i při zavření jednoho z radiátorů.

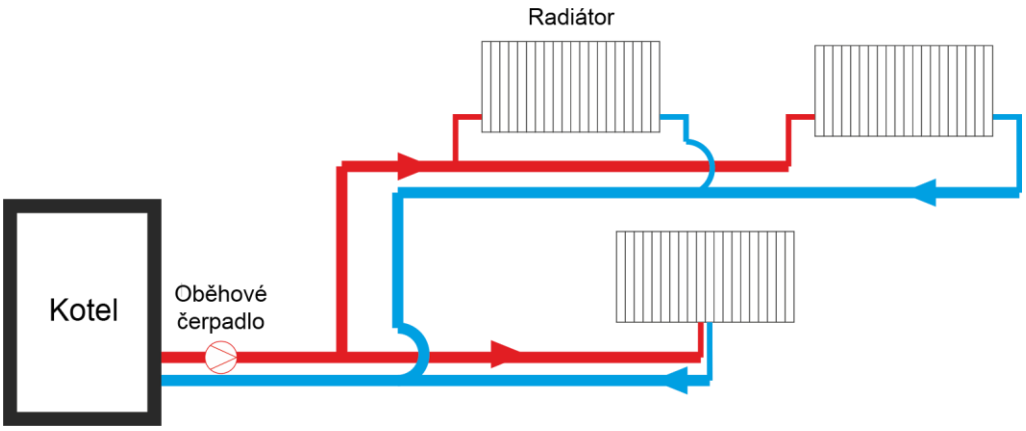


Obrázek č. 1.3.1 – Jedno-trubkové zapojení topných těles[1]

1.3.1.2 Dvou-trubkové zapojení

U dvou-trubkového zapojení jsou napojeny radiátory do topné soustavy tak, že každý radiátor má svůj vstup a výstup z a do hlavní větve, čímž je zajištěn přívod stejně ohřáté vody pro každý radiátor. Na rozdíl od jedno-trubkového zapojení zde nehrozí omezení průtoku, a je jednodušší udržovat stálé teploty v systému.

[1] Obrázek převzatý z webové stránky zdroje (Cit. [5])



Obrázek č. 1.3.2 – Dvou-trubkové zapojení topných těles[2]

Ve zmíněném systému se používají plechové a litinové radiátory, bez termostatických a míchacích ventilů, zapojených ve dvou-trubkovém zapojení.

1.4 Plynový kotel

Kotel je centrální jednotkou topného systému budov. Je to zařízení, v němž se spalováním tuhých, kapalných nebo plynných paliv vyvíjí teplo, kterým se ohřívá teplonosná látka. Tou bývá nejčastěji voda.

1.4.1 Princip a účinnost kotle

Plynový kotel funguje na principu spalování zemního plynu. Zapalování plamene zabezpečuje věčný plamen. Výkon kotle ve zvolené realizaci činí 25kW. Kotel má vlastní zabezpečovací prvky. Prvním je kontrola věčného plamene. V případě zhasnutí plamene se odstaví přívod plynu. Dalším zabezpečovacím prvkem je omezovací termostat teploty vody, který při dosáhnutí teploty 85°C samočinně zastaví přívod plynu, a zhasne i věčný plamen. V obou případech je nutný manuální zásah - zapálení věčného plamene a opětovné uvedení kotle do provozu.

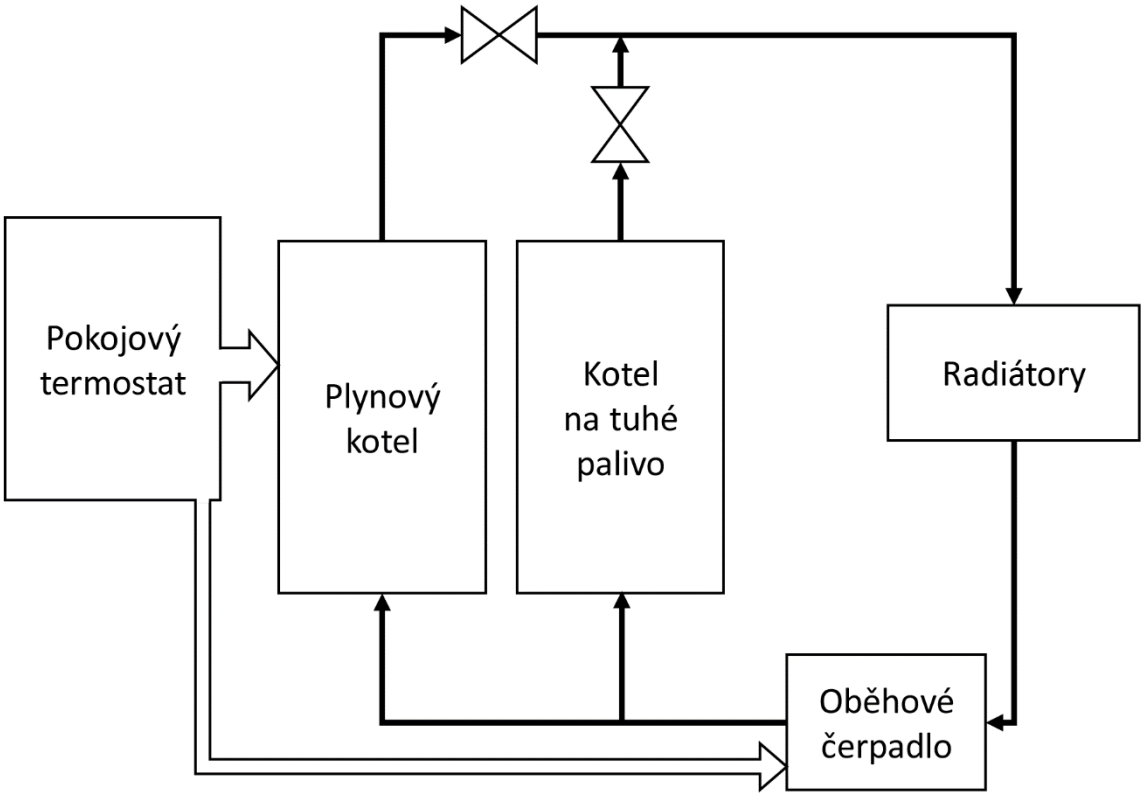
1.5 Současná regulace vytápění

Regulace topení je zabezpečena pomocí bimetalového pokojového termostatu, který ovládá elektromagnetický plynový ventil v kotli. Pokojový termostat spíná fázi ze sítě

[2] Obrázek převzatý z webové stránky zdroje (Cit. [5])

230V 50Hz. Cirkulaci teplonosné látky zabezpečuje oběhové čerpadlo na sacím potrubí kotle. Bimetalový termostat ovládá i časové relé se zpožděným vypnutím pro oběhové čerpadlo.

Původní bimetalový termostat je potřeba nahradit digitálním – přesnějším termostatem, protože při spínání vlivem působení i malého pracovního proudu na kontakty termostatu dochází k ohřátí celého mechanizmu a tím i bimetalového proužku, což negativně působí na snímání a regulaci teploty. Především to způsobuje příliš časté spínání kotle, což negativně ovlivňuje životnost kotle. Problém současné regulace topení je ve velkých časových odezvách a ve velkých nákladech na topení.



Obrázek č. 1.5.1 – Blokové schéma skutečného zapojení topné soustavy v domě

2 DOSTUPNÉ ZAŘÍZENÍ NA TRHU PRO REGULACI VYTÁPĚNÍ

Před výběrem samotného regulátoru ústředního topení (dále jen ÚT) je nutné se ujistit, že daný regulátor bude kompatibilní se systémem vytápění. Na trhu existuje velké množství regulátorů, ze kterých je třeba vybrat ten správný, který zabezpečí optimální regulaci vytápění dle zvolených požadavků a zároveň zajistí co nejmenší náklady na provoz.

2.1 Mechanické manuální termostaty

Mechanické manuální termostaty spínají topení pomocí bimetalových proužků. Bimetal je pásek ze dvou proužků kovů o různých tepelných roztažnostech, které jsou navzájem pevně spojeny. Při ohřátí proužku dojde k prohnutí, které se přenáší na pružinový mechanismus spínacího prvku. Aby došlo k co nejmenšímu ovlivnění spínání, je bimetalový proužek oddělený od spínacího mechanismu za pomoci tepelně nevodivého sloupku.

Teplota spínání se nastavuje pomocí mechanizmu, který napíná pružiny uvnitř spínacího mechanismu. Tyto termostaty nezobrazují aktuální naměřenou okolní teplotu, pouze aktuální stav topného systému.

Uvedený typ termostatu nepotřebuje ke své funkci napájení, proto zapojení je dvou- nebo třívodičové. V případě třívodičového zapojení představuje třetí vodič nulový vodič a je potřebný pouze k signalizaci stavu systému, signalizuje obvykle doutnavkou. Výstup termostatu je bezpotenciálový, spínací kontakt bimetalového spínacího prvku.

2.2 Digitální manuální termostaty

Další typ termostatů reguluje vytápěcí systém (dále jen VS) pomocí elektronických obvodů (ve většině případů pomocí komparátoru), kterým se porovnává nastavená teplota s aktuální teplotou, snímaná pomocí termistoru. Výsledek porovnání ovládá reléový spínač nebo – kvůli nižší spotřebě – pomocí malého motoru a asymetrického kola mechanický spínač. Pomocí manuálního termostatu je možné řízení jak topného, tak i chladicího systému. Použitý mód se však musí nastavit. Digitální manuální termostaty

obsahují displej, na kterém se zobrazuje aktuální teplota nebo nastavená požadovaná teplota.

Digitální termostat ke své funkci potřebuje napájení, ve většině případů z tužkových baterií nebo pomocí napájecího transformátoru. Výstup spínače je bezpotenciálový, přepínací kontakt.

2.3 Programovatelné pokojové termostaty

Programovatelné termostaty zaručují efektivní využití systému ÚT s automatickým nastavením požadované teploty po celý den. Termostaty se montují do nejčastěji obývaných místností domů, jako jsou například obývací pokoje, kde se po delší dobu zdržuje (shromažďuje) nejvíce členů rodiny.

Obrázek č. 2.3.1 – Příklad programovatelného pokojového termostatu[3]

Na trhu existuje více značek takových programovatelných pokojových termostatů, ale jejich princip fungování je téměř stejný. Jedná se o digitální termostat s displejem, u kterého je možné nastavit dvě různé teploty (komfortní a noční). Rozdílné teploty se dají nastavit na jednotlivé hodiny dne v rozsahu celého týdne. Poté termostat podle aktuálního času přepíná mezi hodnotami nastavenými na komfortní a noční teploty, které jsou potřeba v předem určenou dobu udržovat.

Popisované termostaty se naprogramují tak, aby budova byla vytápěna pouze tehdy, když je to potřeba. Znamená to například, že při nočním odpočinku se snižuje požadovaná teplota, tím se šetří náklady, a v ranních hodinách se požadovaná teplota zvýší zpět na komfortní úroveň. U programovatelných termostatů je možné změnit teplotu na určité

[3] Obrázek převzatý z: http://www.thermo-control.cz/foto/produkty/zm/16-20130618124236.jpg

časové intervaly, což se dá využít při opuštění budovy na delší předem známý časový úsek.

Na každý den týdne se dá zvolit jeden z více programů. Každý program představuje nastavení pro každou hodinu dne, a to volbou komfortní nebo noční teploty pro danou hodinu. Programovatelné termostaty mají několik přednastavených programů, které se nedají měnit, ale je nabízena možnost uživatelsky definovatelných programů.

Pomocí možnosti volby hystereze je možné dosáhnout co největší komfort. S menší hysterezí můžeme zabezpečit nižší kolísání teploty v místnostech domu.

Tyto termostaty se napájí z tužkových baterií, které uchovávají nastavení i při výpadku elektrické energie. Stejně jako u předchozího typu, je výstupem bezpotenciálový přepínací kontakt.

2.4 Honeywell JADE Economizer W7220

Systém *JADE Economizer System* je kontrolní systém na řízení vytápění a klimatizace budov od firmy Honeywell, který je možné dále rozšiřovat. Je možné ho připojit přímo, jako řídicí modul pro VS. Také je možné ho doplnit o další prvky od firmy Honeywell a vytvořit tak celý řídicí systém s možností sledování teploty a vlhkosti na více místech, venkovním snímačem a snímači CO_2, které mohou být připojeny pomocí sběrnice *Sylkbus*. Sylkbus je jednoduchá dvouvodičová komunikační sběrnice od firmy Honeywell. Slučuje v sobě napájení a komunikační linku.

Hlavní modul Economizer Systému provádí monitorování stavů v normálním i nastavovacím módu, různé testovací funkce, zobrazování chyb a hlášení. Obsahuje dvouřádkový šestnáctiznakový LCD displej a čtyři ovládací tlačítka. Modul je napájen střídavým napětím 20-30V 50/60Hz.

Obrázek č. 2.4.1 – Hlavní modul systému Honeywell JADE Economizer W7220[4]

Ke své funkci *JADE Economizer System* potřebuje připojení alespoň analogového *snímače smíšeného vzduchu* (anglicky *Mixed Air (MA)*), a *snímač venkovního vzduchu* (anglicky *Outdoor Air (OA)*) pro změny suché teploty nebo *Sylkbus* čidlo pro venkovní změny entalpie. Entalpie je energie uložená v termodynamickém systému, která je závislá na jeho velikosti. Její absolutní hodnotu nelze měřit, stanovuje se jen změna entalpie, vztažená na standardní stav, kterému odpovídá teplota 25 °C a tlak 101,325 kPa.

Systém *JADE Economizer System* podporuje až tři vstupní moduly na lince *Sylkbus*. Dostupné přídavné vstupní moduly jsou:

- snímače teploty a vlhkosti
- snímače obsahu oxidu uhličitého (CO_2).

Dále modul obsahuje ještě čtyři binární vstupy, každý s napětím 24VAC, se společnou zemí (GND). Systém obsahuje výstup na sběrnici Sylkbus pro ovládání *aktuátorů* (akčních členů), a další čtyři 30V/1,75A reléové výstupy pro ovládání odtahového ventilátoru a dalších modulů připojených do systému.

[4]Obrázek převzatý z: http://www.honeywellnow.com/wp-content/uploads/2011/08/jade.jpg [cit. 2014-11-20]

2.5 ABB termostaty s týdenními spínacími hodinami

Přístroj termostatu od firmy ABB je kompaktní víceúčelový termostat určený na řízení ústředního nebo podlahového topení. Je určený pro montáž do běžné zapuštěné elektroinstalační krabice. Je uceleným celkem, nevyžaduje další zařízení, může být instalován do již existujícího systému.

Termostat disponuje LCD displejem se zobrazením nastavené teploty a času, a čtyřmi ovládacími tlačítky.

Obrázek č. 2.5.1 – Přístroj termostatu s týdenními spínacími hodinami[5]

Uživatel může nastavit tři teploty:

- Komfortní – teplota nastavená při přítomnosti osob.
- Noční – teplota nastavená na noc.
- Pohotovostní – teplota nastavená při nepřítomnosti osob.

Termostat na základě nastaveného programu přepíná mezi těmito teplotami. Teploty je možné nastavit v rozmezí +5 až +30°C s krokem 0,5°C, v případě verze pro podlahové topení +10°C až +50°C.

[5] Obrázek převzatý z: http://www.organiska-elektro.de/WebRoot/Store/Shops/15235348/4ABC/ACA2/E4D7/D626/A932/C0A8/28B8/2537/f_1098uf.jpg [cit. 2014-12-06]

Regulace vytápění je možná ve třech režimech:

- Automatický – teplota se nastavuje na základě časového programu, přičemž je možný manuální zásah, který platí do nejbližšího naprogramovaného času. Intervaly časového programu mohou být minimálně 30 minut.
- Manuální – trvalá regulace na nastavenou teplotu.
- Vypnutý – regulace teploty je vypnutá, není přístupné žádné nastavení.

Při výpadku napájení termostatu zůstanou vnitřní hodiny v chodu asi 10 hodin. Potom je třeba znovu nastavit datum a čas. Ostatní údaje zůstanou uchovány. Systém je napájen se síťovým střídavým napětím 230V 50Hz. V případě řízení podlahového topení do termostatu je nutné připojit vnější teplotní snímač NTC o hodnotě 10kΩ při teplotě 25°C.

Termostat disponuje přepínacím kontaktem pro ovládání ventilů nebo pohonů do pracovního proudu maximálně 10A. Jako vstup proudu do přepínacího kontaktu je využit napájecí fázový vodič termostatu.

2.5.1 Zvláštní funkce termostatu ABB

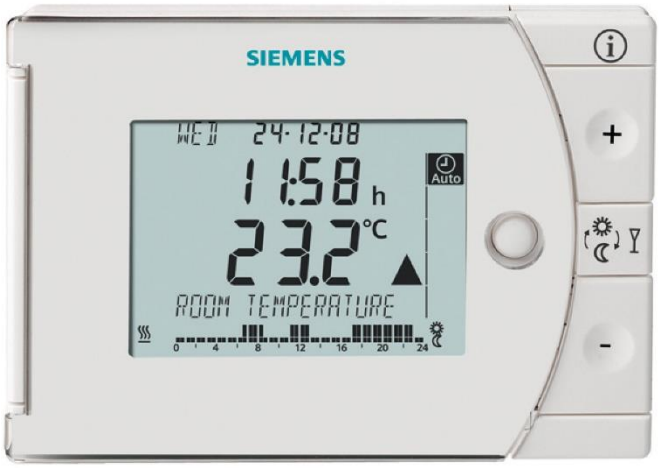
Přístroj termostatu umožní nastavení následujících zvláštních funkcí:

- Maximální a minimální teplota – systém umožňuje nastavitelné teploty omezit shora a zdola s krokem 0,5°C a zúžit tím rozsah nastavitelných teplot.
- Blokování tlačítek – výrobce nastavil interval tak, že se tlačítka zablokují po dvou minutách od posledního stisku a tím zabránil náhodné změně provozních parametrů. Pro odblokování je nutné stisknout libovolné tlačítko po dobu alespoň pěti vteřin.
- Teplotní offset – lze provést přizpůsobení, jestliže měřená teplota nesouhlasí se skutečnou teplotou.
- Ochrana ventilu – aby se zabránilo zatuhnutí ventilů nebo oběhového čerpadla v případě jejich dlouhodobého nepoužívání (např. v letním období), lze aktivovat ochrannou funkci, která zajistí každodenní aktivaci připojeného zařízení po dobu pěti minut.

Jelikož při nastavení systému je nutné nastavit i přesné datum, systém automaticky přepíná mezi zimním a letním časem.

2.6 Regulátory Siemens REV

Jedná se o regulátory prostorové teploty od firmy Siemens, s dvoustavovým výstupem a s možností dálkového ovládání po telefonu.



Obrázek č. 2.6.1 – Regulátor Siemens REV24RF[6]

Regulátory obsahují modul týdenního programovatelného regulátoru s PID řídicím algoritmem s adaptovatelnou nebo přímo nastavitelnou dobou spínacího cyklu. Regulátory jsou vhodné jak pro řízení topení, tak i pro řízení chlazení.

Na regulaci máme na výběr z pěti režimů:

- Automatický s týdenním programem
- Zvláštní den
- Trvale komfortní režim
- Trvale útlumový (noční) režim
- Ochranný režim proti zamrznutí nebo přehřátí

Regulátor umožňuje nastavení až tří komfortních fází regulace v rámci dne. Mezi komfortními fázemi je teplota nastavena na útlumovou (noční) teplotu. Teploty se dají nastavit s přesností 0,2°C v rozmezí od 3°C do 35°C. Časy spínání se dají nastavit po 10 minutách.

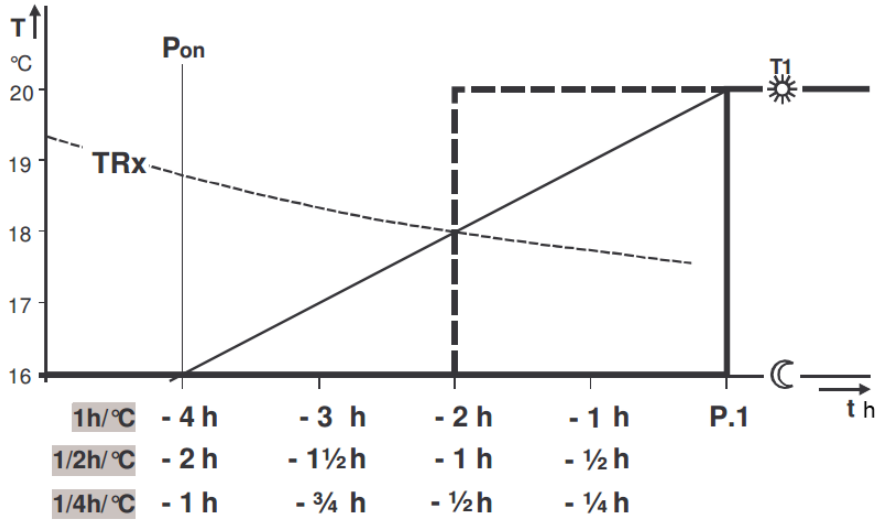
Regulátor REV se napájí pomocí dvou alkalických baterií AA 2x1,5V, díky kterým regulátor uchová nastavení i pří výpadku elektrického proudu. Regulátor disponuje jedním přepínacím kontaktem relé pro ovládání elektroniky nebo případně

[6] Obrázek převzatý z: http://www.swe.siemens.com/france/web/fr/sbt/EE/Produits/notre-offre/Thermostats/PublishingImages/REV/REV24RF.jpg [cit. 2014-12-06]

elektromagnetického ventilu kotle, oběhového čerpadla, pohonu dvou- nebo třícestného směšovacího ventilu.

2.6.1 Optimalizace času vytápěcího cyklu regulátoru Siemens REV

Regulátor je možné nakonfigurovat na základě vlastností topné soustavy. Optimalizací času zapnutí je možné posunout čas spínání mezi jednotlivými fázemi komfortní teploty tak, aby se žádané teploty dosáhlo v nastavený čas. Nastavení je závislé na vlastnostech topné soustavy, na rychlosti vytápění tzn. na přenosu tepla (rozvody, topná tělesa), dynamice budovy (materiál, izolace) a topném výkonu (výkon kotle, teplota topné vody).



Graf č. 2.6.1 – Průběh teplot při optimalizace času zapnutí vytápění regulátoru Siemens REV[7]

Legenda ke Graf č. 2.6.1:

T	teplota (°C)
t	čas předstihu spínacího bodu (h)
TRx	skutečná teplota prostoru
Pon	startovací bod optimalizace času zapnutí

[7]Graf převzatý z produktového listu regulátoru Siemens REV (Cit. [7])

2.6.2 Automatická synchronizace času

Čas přístroje se denně synchronizuje s časovým signálem *DCF77* z Frankfurtu nad Mohanem - Německo. Jestliže se hodiny nebyly schopné synchronizovat, jsou řízeny pouze vnitřním krystalem.

2.6.3 Regulační algoritmus PID regulátoru Siemens REV

Regulační algoritmus PID regulátoru se dá nastavit do čtyř režimů:

- PID s automatickou adaptací pro všechny běžné aplikace
- PID 6 pro rychlé regulační soustavy, pro aplikace na místech s velkými teplotními výkyvy.
- PID 12 pro běžné regulační soustavy, pro aplikace na místech s normálními teplotními výkyvy.
- Dvoubodová regulace se spínací hysterezí 0,5°C pro obtížně regulovatelné soustavy.

2.6.4 Zvláštní režimy regulátoru Siemens REV

V případě nepřítomnosti, v době prázdnin nebo dovolené, je možné nastavit začátek a konec nepřítomnosti a požadovanou teplotu. Na začátku nepřítomnosti se regulátor přepne na nastavenou požadovanou teplotu, a na konci se přepne zpět do předchozího režimu.

2.6.5 Dálkové ovládání regulátoru Siemens REV

Pomocí vhodného přístroje je možné přepnout regulátor na libovolnou nastavenou teplotu. Přepnutí se provádí sepnutím bezpotenciálového kontaktu připojeného ke svorkám regulátoru. Aktivace dálkového ovládání okamžitě přepne regulaci na nastavenou požadovanou teplotu nezávisle na aktuálním druhu provozu. Po vypnutí dálkového ovládání se regulátor vrátí do předchozího provozního režimu. Tímto můžeme ovlivnit regulaci teploty např. v případě otevření oken, dveří, detektoru přítomnosti, ručního spínače nebo pomocí telefonu.

2.7 Srovnání jednotlivých systémů

V předchozí části byly podrobně popsány některé dostupné regulátory vytápění. Jak již bylo zmíněno, existuje velké množství dostupných regulátorů, ale je třeba vybrat nejlépe vyhovující. Z hlediska požadavků na cenu – nejlevnějšího regulátoru – se jeví nevhodnější manuální termostat. Ten ale v konkrétním případu nevyhovuje, protože reguluje pouze podle teploty v dané místnosti a nezohledňuje stavy systému a nedovoluje nastavení teplot na určité fáze dne. Proto jsou lepší variantou programovatelné termostaty, jejichž cena se ale obvykle pohybuje od jednoho tisíce až do deseti tisíc korun. Splňují podmínku nastavitelnosti teplot, ale regulují pouze podle teploty v místnosti, bez ohledu na stav vytápěcího systému.

Termostat od firmy *ABB* je možné zařadit mezi programovatelné termostaty. Jeho výhodou je vysoké rozlišení nastavitelnosti, jednoduché nastavení a velká nabídka dostupných nastavení. Cena se pohybuje přibližně od 6 000,- do 10 000,- Kč v závislosti na typu přístroje.

Systém *Honeywell Jade Economizer* není optimální volbou pro řízení daného systému, protože byl navržen hlavně na regulaci vytápění budov pomocí klimatizačních systémů. Jako vstupní parametry se používají vlastnosti vzduchu v systému a reguluje se teplota výstupního vzduchu z klimatizačního modulu do místnosti. Jeho cena se v závislosti na zakoupeném příslušenství pohybuje řádově od 5 000,- Kč až do desítek tisíc korun.

Ze všech popsaných regulátorů nejlépe vyhovuje regulátor *REV* od firmy *Siemens*. Splňuje kladené požadavky, přesto ale chybí několik možností, jako jsou například: udržování teploty v topném systému, přizpůsobení vytápění povětrnostním podmínkám. Jejich cena se v závislosti na počtu funkcí regulátoru pohybuje od 4 000,- Kč až do deseti tisíc korun.

Cílem této práce je navrhnout vhodnou řídicí jednotku, která vyhovuje zadaným požadavkům regulace za nižší cenu, než jsou nabízené varianty systémů od ostatních výrobců.

3 MĚŘENÉ A REGULOVANÉ VELIČINY

K dosažení nejlepší funkce vytápěcího systému je potřebné optimální řízení každého zařízení v daném systému. Proto je důležité, aby řídicí systém byl schopný řídit na základě co nejvíce měřených veličin. Z hlediska univerzálnosti navrhovaného systému je třeba, aby měření těchto veličin bylo co nejjednodušší.

3.1 Měřené veličiny

Pro udržování konstantní teploty v místnosti s nejmenší hysterezi, je nutné měřit tuto teplotu s vyšší přesností, alespoň s přesností 0,5°C.

U vytápěcích systémů, u kterých je topným médiem voda, platí, že čím je nižší teplota venku, tím je třeba vyšší teplota topné vody (dále jen TV) na vytápění celého domu, a to tak, aby se budova stačila vytápět. Tato závislost musí mít své meze, použití příliš horké TV v systému je neekonomické a může být i nebezpečné. Naopak, TV s nízkou teplotou nedokáže budovu vytopit, a pokud ano, tak za cenu vysokých energetických ztrát. V daném systému se tyto meze nacházejí mezi 35°C, kdy pod touto teplotou není vytápění účinné, až 65°C, nad kterými je regulace vytápění možná pouze s velkým překmitem, a stává se tak neekonomickou.

U zmíněného systému, kde se společně s plynovým kotlem může využívat v případě nižších venkovních teplot i kotel na tuhé palivo, může teplota TV dosahovat i vyšší teploty (jako u plynového kotle), a to z důvodu neregulovatelnosti předané tepelné energie z tuhého paliva. Na tento fakt je třeba dbát při návrhu regulace, systém se musí přizpůsobit tomuto stavu.

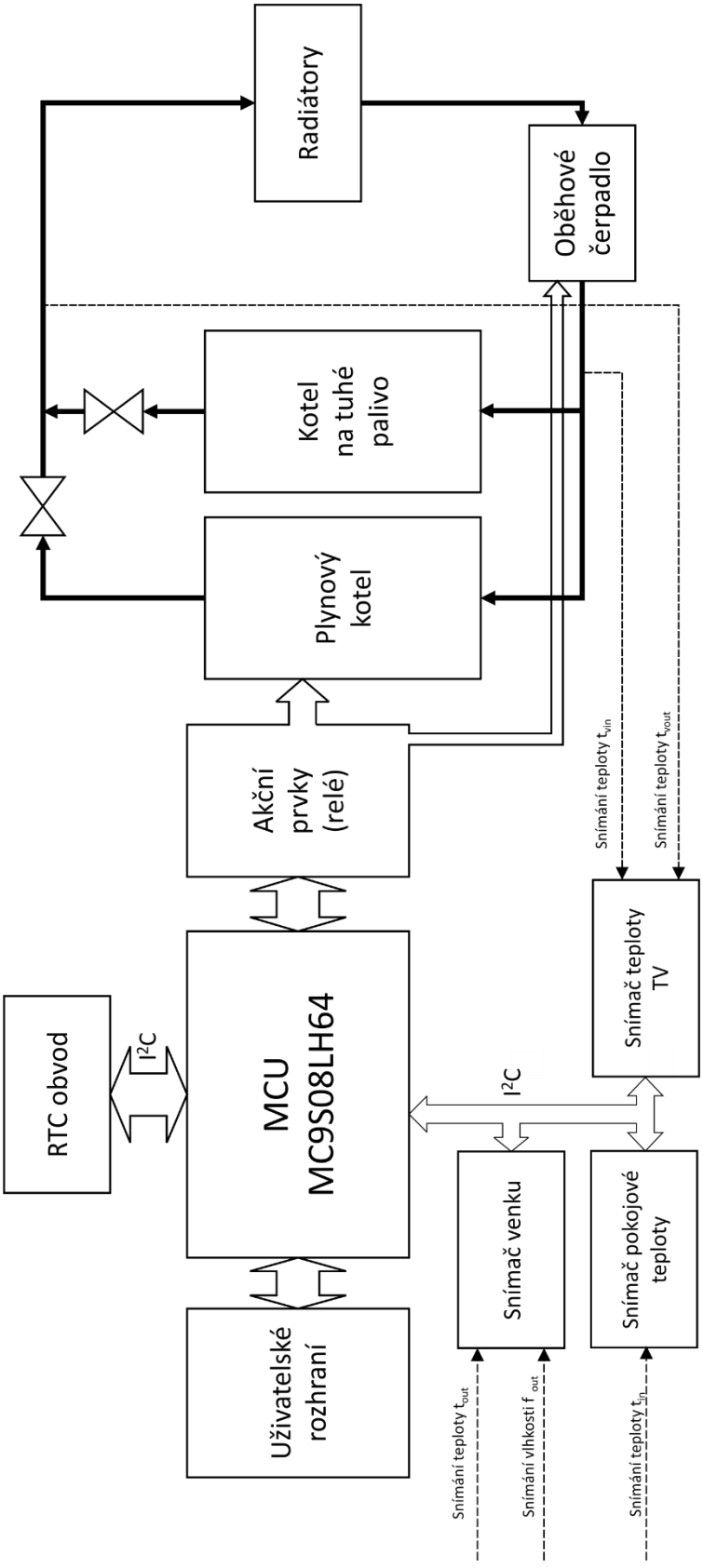
Jelikož se jedná o vytápění pomocí systému, kde využívaným médiem je voda, je potřebné udržovat teplotu TV tak, aby na vstupním a výstupním potrubí kotle byl určitý teplotní rozdíl (tepelný spád). Tím je možné zabezpečit optimální vytápění, protože změnu teploty je možné pořídit malým akčním zásahem. Proto se bude měřit i teplota těchto dvou bodů v systému, a tak bude možné optimalizovat ohřívání vody. Pro měření teploty vody postačují snímače s nižší přesností měření.

Jak již bylo zmíněno, je možné zahájit vytápěcí období na základě venkovní teploty. Z tohoto důvodu bude měřena i teplota venkovního vzduchu. Pro komfort uživatele

je vhodné, aby se měřená teplota a vlhkost venkovního vzduchu zobrazovala na terminálu.

3.2 Regulované veličiny

V systému je jediným řiditelným zdrojem tepelné energie plynový kotel. První regulovanou veličinou proto bude napájení kotle. Ta se bude řídit dle potřeby v závislosti na žádané teplotě v referenční obytné místnosti domu. Dalším řiditelným prvkem v systému je oběhové čerpadlo TV. Jeho řízení bude v závislosti na teplotě TV a provozu kotle.



Obrázek č. 3.2.1 – Blokové schéma plánovaného zapojení topné soustavy v domě

4 VLASTNÍ NÁVRH

Na trhu je velmi mnoho dostupných zařízení, ale většina z nich spolupracuje pouze se zařízeními dané firmy. Proto jsem se rozhodl, že u mého návrhu budu upřednostňovat řešení, které si navrhnu sám. Význam mého řešení bude spočívat v tom, že bude sjednocovat nejlepší vlastnosti již popsaných komerčních systémů, bude univerzální, aby se dal implementovat do již existujících systému bez ohledu na jejich výrobce.

4.1 Centrální jednotka

Jako centrální jednotku jsem se rozhodl zvolit *Tower System* s procesorem *MC9S08LH64* od firmy *Freescale Semiconductor*. Výhodou tohoto systému je, že je přímo navržen na řízení podobných systémů, s využitím jako termostat, a jako rozhraní pro snímače.

Jedná se o *8bitový* mikroprocesor s architekturou *HCS08* a s nízkým příkonem, který může fungovat ve více módech a šetřit tak energii, že by mohl být napájen i z knoflíkové baterie *CR2325*. Ve spojení s *Tower Systémem* je možné ho libovolně rozšiřovat o různé moduly.

4.1.1 Základní parametry MC9S08LH64

- 8bitový mikrokontrolér
- 4 vstupně-výstupné 8bitové porty
- 64KB Flash
- 4KB RAM
- 2 dvoukanálové PWM (Pulse Width Modulation) moduly (TPM – Timer Pulse-Width Modulator)
- 16bitový AD převodník s 1 diferenciálním a s 8 nediferenciálními vstupy
- I2C (Inter-Interrupted Circuit) rozhraní
- SPI (Serial Peripheral Interface) rozhraní
- Dva sériové SCI (Serial Communications Interface) kanály
- KBI (Keyboard Interrupt) – 8 klávesových vstupů (možno využít na přerušení)
- TOD (Time Of Day) modul
- LCD display

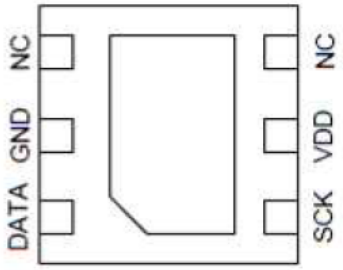
- 39 vstupně-výstupných pinů

4.2 Snímače

Na měření veličin bylo potřeba zvolit snímače, které jsou levné, přesné a nejlépe, aby byly předem kalibrovány z výroby. Nejlépe splňují zadané požadavky a tím jsou optimální volbou snímače s rozhraním *I^2C*.

4.2.1 Snímač teploty a vlhkosti vzduchu pro venkovní prostředí HTU21D

Pro snímání teploty a vlhkosti jsem se rozhodl využít miniaturní snímač *HTU21D* od firmy *Measurement Specialities*. Jedná se o společný snímač teploty a vlhkosti s přesností ±0,3°C a ±3%RH (*RH, relative humidity* – relativní vlhkost). Vybraný snímač byl v porovnání cena – přesnost nejlepší volbou. Je plně kalibrovaný a další výhodou je velmi nízká spotřeba, takže by bylo možné ho napájet i z baterie. Snímač disponuje digitálním výstupem na *I^2C* sběrnicí, díky čemuž je jeho obsluha velice jednoduchá. Sběrnice je čtyřvodičová – dva datové a dva napájecí vodiče. Přesnost měření se dá nastavit v rozmezí 8 až 12 bitů pro vlhkost a 11 až 14 bitů pro teplotu, což odpovídá rozlišitelnosti 0,4%RH – 0,07%RH a 0,08°C – 0,01°C. Měření, což znamená převod naměřené analogové hodnoty na digitální a uložení do registru, trvá při měření vlhkosti nejdéle 16ms při nejvyšším rozlišení, při nejnižším pouze 3ms. Při měření teploty jsou časy delší – 50ms při nejvyšším a 7ms při nejnižším rozlišení. Snímač I^2C má adresu *0x80* pevně danou, což znamená, že pouze jeden takový snímač může být na stejné sběrnici. Při použití drátu na propojení snímače se sběrnicí, je třeba napájení blokovat *100nF* keramickým kondenzátorem přímo u snímače. Datové vodiče je potřeba spojit s napájecím vodičem pomocí *10kΩ* pull-up odporů.



Obrázek č. 4.2.1 – Přehled pinů snímače HTU21D[8]

Napájecí napětí se připojuje k pinu VDD, země k GND, pro komunikaci na sběrnici I^2C slouží piny DATA a SCK. Dva další piny NC nejsou použity.

4.2.1.1 Ovládání snímače HTU21D

Po připojení napájení 1,5 až 3,6V potřebuje snímač HTU21D potřebuje ke své inicializaci přibližně 15ms, přičemž signál SCK ze sběrnice I^2C musí být na úrovni *HI*, aby došlo k nastavení snímače do klidového stavu (režim spánku) a byl následně schopný přijímat příkazy od procesoru.

Jako u každého snímače začíná komunikace zasláním *START* bitu na sběrnici. Následně se pošle adresa a příkaz, jakou úlohu má snímač vykonat. Na měření teploty nebo vlhkosti u tohoto snímače jsou dostupné dva příkazy. První příkaz *Trigger Measurement, Hold Master* zavolá metodu, u které po zaslání příkazu snímač zablokuje linku SCK (*Serial Clock*) a není možné vykonat žádné jiné úlohy na sběrnici I^2C. Po dokončení měření snímač uvolní sběrnici a je možné vyčíst data z registru.

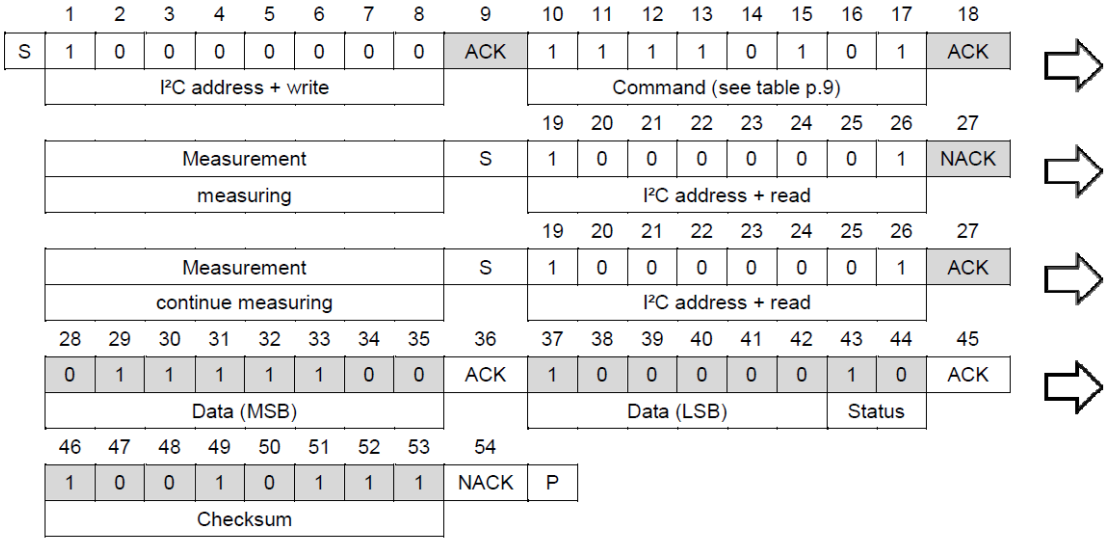
Pro můj případ je popisovaná metoda nevhodná, a to proto, že je třeba zabezpečit, aby mezi zahájením a čtením ze snímačů bylo možné komunikovat i s jinými prvky na sběrnici. Proto jsem využil druhý příkaz *Trigger Measurement, No Hold Master*, u kterého se spustí měření a sběrnice se uvolní. Po dokončení měření se data uloží do registru a mohou z něj být později vyčtena.

Uložené hodnoty se dají vyčíst dalším příkazem a to když snímač zašle 2 bajty, tzn. dva osmibitové pakety s daty. U výchozího nastavení snímače se měření vykonává s rozlišením 12 bitu pro vlhkost a 14 bitu pro teplotu. Zasílání dat se začíná s nejvyšším významným bitem (MSb) a končí s nejnižším (LSb). Poslední dva bity jsou stavové bity,

[8]Obrázek převzatý z produktového listu snímače HTU21D (Cit. [11])

které je nutné před přepočtem hodnot nulovat. Předposlední bit označuje typ měření, 0 pro teplotu a 1 pro vlhkost. Poslední bit je nevyužitý.

Pokud se zašle bit ACK (*Acknowledgement*) po příjmu 2 bajtů, snímač pošle i osmibitový kontrolní součet CRC (*checksum, Cyclic redundancy check*), který může být využitý pro kontrolu, zda byl příjem dat správný. Kontrolní součet se generuje pomocí polynomu $X^8 + X^5 + X^4 + 1$.



Obrázek č. 4.2.2 – Komunikační sekvence při měření teploty se snímačem HTU21D[9]

4.2.1.2 Výpočet vlhkosti naměřené snímačem HTU21D

Bez ohledu na přesnost měření se relativní vlhkost vypočítá z rovnice:

$$RH = -6 + 125 \times \frac{S_{RH}}{2^{16}} \quad [\%] \tag{4.2.1}$$

kde: RH výsledná hodnota relativní vlhkosti

S_{RH} hodnota vlhkosti vyčtená z registru snímače

4.2.1.3 Výpočet teploty naměřené snímačem HTU21D

Bez ohledu na přesnost měření se teplota vypočítá z rovnice:

$$Temp = -48{,}85 + 175{,}72 \times \frac{S_{Temp}}{2^{16}} \quad [°C] \tag{4.2.2}$$

kde: $Temp$ výsledná hodnota teploty v °C

S_{Temp} hodnota teploty vyčtená z registru snímače

[9]Obrázek převzatý z produktového listu snímače HTU21D (Cit. [11])

4.2.1.4 Výpočet parciálního tlaku naměřený snímačem HTU21D

Parciální tlak je podíl na celkovém tlaku směsi plynů, který vyvozuje jeho jedna složka. Tato hodnota je důležitá pro výpočet rosného bodu.

$$PP_{Tamb} = 10^{\left[A - \frac{B}{(T_{amb}+C)}\right]} \quad [mmHg] \tag{4.2.3}$$

kde: PP_{Tamb} výsledná hodnota parciálního tlaku v *mmHg* při teplotě T_{amb}

T_{amb} teplota okolí získaná ze snímače

A konstanta *A=8,1332*

B konstanta *B=1762,39*

C konstanta *C=235,66*

4.2.1.5 Výpočet rosného bodu naměřený snímačem HTU21D

Rosný bod se spočítá z naměřené relativní vlhkosti, z naměřené teploty snímačem a z parciálního tlaku podle rovnice:

$$T_d = \left[\frac{B}{\log_{10}\left(RH_{amb} \times \frac{PP_{Tamb}}{100} \right) - A} + C \right] \quad [°C] \tag{4.2.4}$$

kde: T_d vypočtená hodnota teploty rosného bodu

RH_{amb} vlhkost okolí v %RH získaná ze snímače

PP_{amb} hodnota parciálního tlaku v *mmHg* při teplotě T_{amb}

A konstanta *A=8,1332*

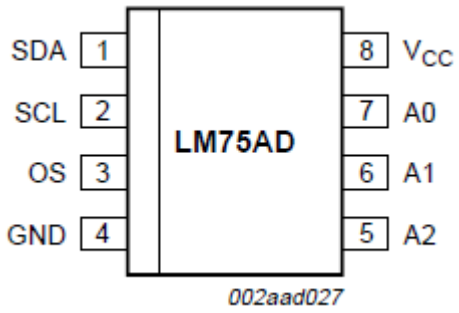
B konstanta *B=1762,39*

C konstanta *C=235,66*

4.2.2 Snímače teploty LM75AD

Pro snímání teploty topného média kontaktním způsobem bude využito teplotní čidlo *LM75AD* od firmy *NXP*. Snímač disponuje s I^2C sběrnicí a dokáže měřit teplotu v rozmezí -55°C do 125°C. 11bitový ADC převodník integrovaný uvnitř snímače dokáže měřit s přesností až 0,125°C. Přesnost měření teploty je ±2°C až ±3°C, což na měření teploty TV úplně postačuje. Snímač má tříbitový adresový vstup, což znamená, že na stejné I^2C sběrnici může společně pracovat až 8 takových snímačů. Jak již bylo zmíněno

v předchozím odstavci, i u tohoto snímače je potřeba blokovací kondenzátor a pull-up odpory.



Obrázek č. 4.2.3 – Přehled pinů snímače LM75AD[10]

Napájecí napětí se připojuje na pin V_{CC}, země na GND. Pro komunikaci slouží piny SDA a SCL, kde SDA je datový pin, SCL je pin pro hodinový signál. Adresa I^2C se nastavuje pomocí pinu A0-A2, připojení na napájecí napětí znamená logickou 1, na zemi logickou 0. Výstupní pin OS (*Overtemperature Shutdown*) je řízený dle nastavení snímače a umožní tak využít snímač jako termostat nebo k vyvolání přerušení procesoru (*Interrupt*)

4.2.2.1 Ovládání snímače LM75AD

Snímač měří teplotu v čipu snímače s přesností 0,125°C a ukládá ji s nastavenou přesností každých 100ms do registru, ze kterého je možné ji kdykoliv opět vyčíst. Po převedení teploty na digitální data, se hodnota přepíše v registru.

Zařízení je možné nastavit do tzv. klidového módu (*Shutdown*), kdy je převod teploty vypnutý, ale naposledy naměřená teplota je přítomná v registru, přičemž jeho I^2C rozhraní je aktivní a umožní tak nastavit jednotlivé parametry snímače.

Navíc na konci každého převodu hodnoty teploty komparátor uvnitř snímače porovná hodnotu teploty s hodnotou *Overtemperature Shutdown Treshold* registru (*Tos*) a hodnotami hystereze z registrů *Thyst*. Na základě těchto porovnání se nastaví OS výstup snímače.

Adresa snímače je částečně předem definována. Další část je třeba nastavit na pinech A0-A2. Tyto hodnoty představují poslední tři nejméně významné bity adresy. Předem definované čtyři nejvyšší významné bity adresy jsou 1001.

[10]Obrázek převzatý z produktového listu snímače LM75 (Cit. [12])

Snímač obsahuje celkem čtyři registry – konfigurační, teplotní, *Overtemperature Shutdown* a hysterezní registr. Všechny jsou přístupné pomocí pointer registru, kterým se naadresuje příslušný registr, do kterého se následně zapíše nebo vyčte hodnota.

V konfiguračním registru se nastavují základní vlastnosti provozu snímače. V teplotním registru jsou uloženy hodnoty z převodů. V registru *Overtemperature Shutdown* a hysterezním registru se nastavuje teplota, při které se má vyvolat přerušení.

U tohoto snímače není třeba spustit měření jako u předchozího, protože měření probíhá kontinuálně. Stačí poslat příkaz na adresu snímače a z registru teploty je možné vyčíst naposledy naměřená data. Data se posílají ve dvou osmibitových paketech od nejvýznamnějšího bitu s rozlišením 0,125°C a s bitem značícím znaménko, což znamená spolu 11 bitů. Posledních pět bitů není využito. Záporné hodnoty teploty jsou posílány ve dvojkovém doplňku. Pro získání teploty s přesnosti na celá čísla, stačí využít první bajt z registru, jelikož osm bitů představuje teploty v rozmezí -127 až 127°C i se znaménkovým bitem.

4.2.2.2 Výpočet teploty u snímače LM75AD

Podle prvního bitu vyčteného z registrů se rozhodne o znaménku výsledné teploty. V případě, že první bit se rovná 0, je výsledná teplota kladná:

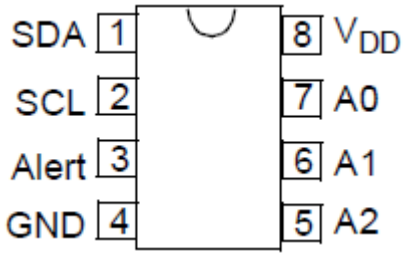
$$Temp = +S_{Temp} \cdot 0{,}125 \quad [°C] \tag{4.2.5}$$

V případě, že první bit se rovná 1, je výsledná teplota záporná a teplota v registru je uložená pomocí dvojkového doplňku:

$$Temp = \left(S_{Temp} \cdot 0{,}125\right) - 128 \quad [°C] \tag{4.2.6}$$

4.2.3 Snímač pokojové teploty MCP9808

Pro snímání teploty v obytné části domu jsem využil teplotní snímač *MCP9808* od firmy *Microchip*. Snímač může fungovat v režimu měření teploty nebo jako termostat. Měří s přesností ±0,25°C a přesnost měření je možné uživatelsky nastavit v rozmezí rozlišitelnosti 0,0625°C – 0,5°C. Taky se připojuje na I^2C sběrnici, s možností nastavení tříbitové adresy.



Obrázek č. 4.2.4 – Přehled pinů snímače MCP9808[11]

Napájecí napětí se připojuje k pinu V_{DD}, země k GND. Pro komunikaci slouží piny SDA a SCL, kde SDA je datový pin, SCL je pin pro hodinový signál. Adresa snímače se nastavuje pomocí pinů A0-A2, kde připojení k napájecímu napětí představuje logickou 1 (HI), země logickou 0 (LO). Pin *Alert* slouží na výstup - stejně jak u předchozího snímače.

4.2.3.1 Ovládání snímače MCP9808

Princip měření teploty a ovládání snímače je velice podobný předchozímu snímači. Ke zmíněným registrům se přidají registry výrobce, výrobního čísla snímače a registr rozlišení měření.

Snímač obsahuje šestnáctibitový konfigurační registr, ve kterém se dají nastavit jednotlivé parametry měření, jako jsou například: porovnání naměřené kritické teploty a hysterezní teploty, zapnutí klidového módu (*Shutdown mode*) nebo nastavení polarity napětí na výstupním pinu *Alert*.

Registr naměřené teploty obsahuje dvanáctibitovou hodnotu teploty a čtyř dalších stavových bitů, tři bity s výsledkem porovnání s kritickou a hysterezní teplotou, a bit znaménka naměřené teploty. Naměřená data se nachází v registru od pátého nejvýznamnějšího bitu.

4.2.3.2 Výpočet teploty u snímače MCP9808

Z přijatých 16 bitů čtvrtý nejvýznamnější bit rozhodne o znaménku výsledné teploty. V případě, že znaménkový bit se rovná 0, je výsledná teplota kladná:

$$Temp = + \frac{S_{Temp}}{16} \quad [°C] \tag{4.2.7}$$

[11]Obrázek převzatý z produktového listu snímače MCP9808 (Cit. [13])

V případě, že znaménkový bit se rovná 1, je výsledná teplota záporná a teplota v registru je uložená pomocí dvojkového doplňku:

$$Temp = \frac{S_{Temp}}{16} - 256 \quad [°C] \tag{4.2.8}$$

4.2.4 Srovnání popsaných snímačů

V předchozí části byly popsány mnou zvolené snímače teploty a vlhkosti. Jejich parametry ke srovnání jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č. 4.2.1 – Srovnání parametrů snímačů[12]

Snímač	Teplotní snímač HTU21D	Vlhkostní snímač HTU21D	Teplotní snímač LM75AD	Teplotní snímač MCP9808
Výrobce	Measurement Specialities		NXP	Microchip
Pouzdro	DFN		SO8	MSOP-8
Napájení	3,0V		3,3V	3,3V
Spotřeba proudu při měření /v režimu spánku	450µA/0,02µA		100µA/3,5µA	200µA/0,1µA
Komunikace/sběrnice	Digitální, dvouvodičové rozhraní, sběrnice I^2C			
Adresování na sběrnici	Pevná adresa snímače 0x80		Až 8 zařízení na sběrnici 0b1001xxx	Až 8 zařízení na sběrnici 0b0011xxx
Rychlost sběrnice	400kHz			
Měřicí rozsah	-40 – 125°C	0 – 100%RH	-55 – 125°C	-40 – 125°C
Rozlišení měření	0,01°C	0,04%RH	0,125°C	0,0625°C
Přesnost měření při pokojové teplotě 25°C	±0,3°C	±2%RH	±3°C	±0,25°C
Čas měření (odezva)	44ms	14ms	100ms	250ms
Dlouhodobý drift naměřené hodnoty	0,04°C/rok	0,5%RH/rok	-	-
Cena[13]	100,51 Kč		13,18 Kč	39,58 Kč

[12]v tabulce jsou uvedeny pouze typické hodnoty vyčtené z technické dokumentace daného snímače

[13]ceny jsou uvedeny v Kč včetně DPH zaokrouhlené na 2 desetinné místa ze dne 31. 12. 2014 z internetového obchodu Farnell element 14, dostupné z: http://cz.farnell.com

4.3 Řídicí jednotka

Základem celé jednotky je mikrokontrolér MC9S08LH64, jehož vlastnosti jsou popsány výše. Při návrhu bylo nutné zprovoznit měření žádaných veličin (tj. komunikaci s teplotními čidly), dále displej a klávesnicí. Aby se datum a čas nemusel nastavit po každém spuštění jednotky, bylo nutné přidat i obvod reálného času (RTC). Vzhledem k tomu, že regulovaná topná soustava má velkou setrvačnost, není nutný velký počet regulačních zásahů.

4.3.1 Obvod reálného času (RTC)

Jako obvod reálného času byl zvolen obvod DS1307+ vyrobený firmou Maxim. Jedná se o obvod reálného času s externím krystalovým oscilátorem. Obvod ke své funkci potřebuje 32,768 kHz krystal. Má externě připojené napájení pomocí 3V knoflíkové baterie CR1216 pro případ výpadku napájecího napětí. Komunikace s mikrokontrolérem probíhá pomocí I^2C sběrnice. Adresa obvodu je pevná, je tedy možno použít pouze jeden taký obvod.

4.4 Uživatelský panel

Pro snadnou konfiguraci a sledování stavu terminálu se vytvořil uživatelský panel pro obsluhu, který se připojí k Tower System-u pomocí 20-ti žílového plochého kabelu. Uživatelský panel obsahuje displej s ovládacími tlačítky pro snadnou konfiguraci terminálu a spínací relé pro spínání zařízení.

K tlačítkům byly přidány 22pF keramické kondenzátory pro snížení výskytu odrazů a zákmitů při stisknutí tlačítek.

4.4.1 Displej

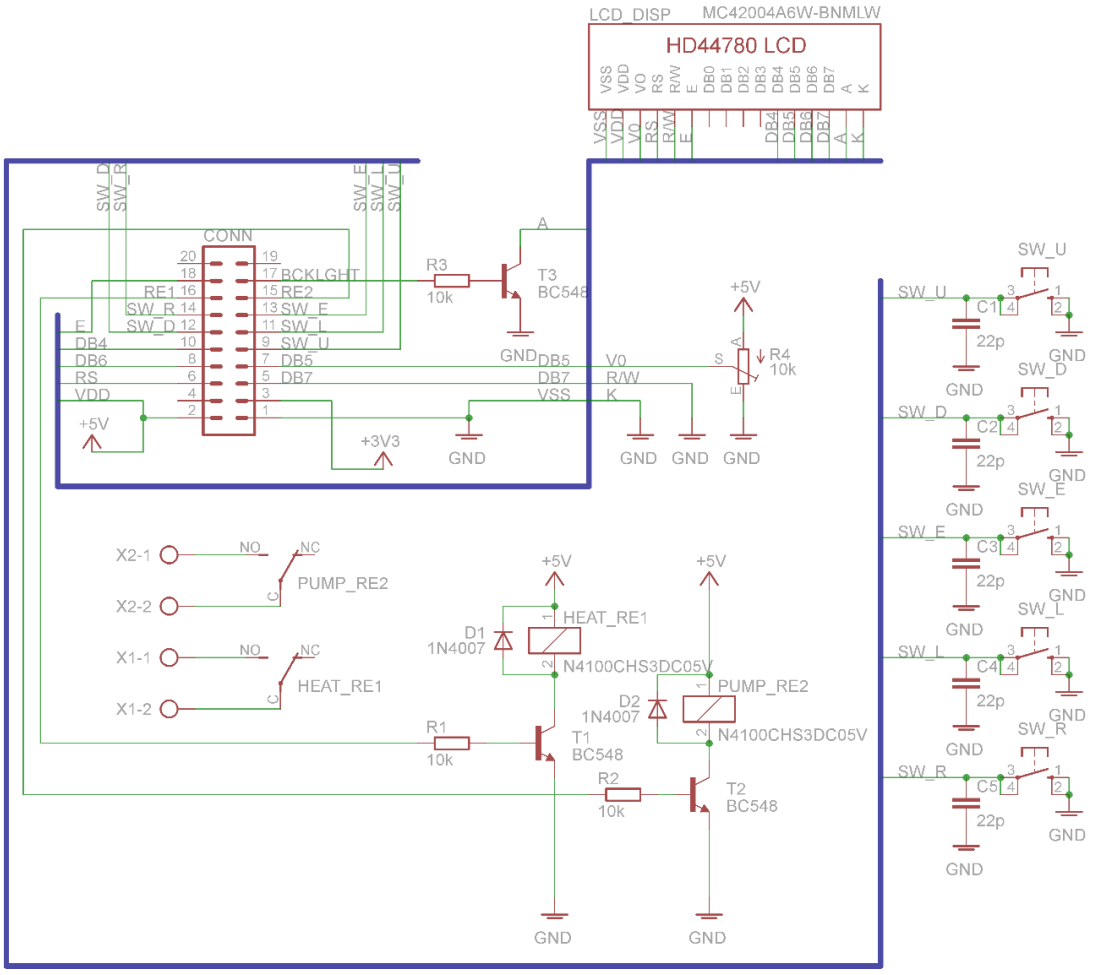
Vzhledem k tomu, že vestavený displej vývojového kytu neumožňuje zobrazení příliš mnoha informací, jako zobrazovací prvek uživatelského rozhraní byl zvolen monochromatický, podsvícený displej se čtyřmi řádky po dvaceti znacích MC42004A6W-BNMLW od firmy Midas Components Ltd. Displej komunikuje s mikrokontrolérem pomocí čtyř-vodičového zapojení. Horní čtyři datové bity jsou využity ke komunikaci, a spodní čtyři zůstanu nezapojeny. Podsvícení je řízeno

softwarově pomocí mikrokontroléru přes tranzistor BC548. Nastavení kontrastu displeje je možné pomocí odporového trimeru 10kΩ.

4.4.2 Spínání silové části

Pro řízení topení je nutné spínat výkonová zařízení – elektromagnetický plynový ventil kotle a oběhové čerpadlo vody do radiátorů. Řízení provádí mikrokontrolér, který spíná přes tranzistory BC 548 dvě relé. Spínací napětí relé je 5V. Pro ochranu tranzistorů před proudovými špičkami při vypnutí relé slouží diody 1N4007.

Schéma zapojení celého uživatelského panelu včetně displeje, tlačítek a silové části je na Obrázek č. 4.4.1.



Obrázek č. 4.4.1 – Schéma zapojení uživatelského panelu terminálu

4.5 Návrh regulace

Po důkladném prostudování možností pro řízení kotle, s ohledem na situaci, kdy v daném topném systému není možné regulovat dodaný výkon kotle, bylo rozhodnuto o návrhu regulace na způsobu řízení pomocí algoritmu modelující relé s hysterezí. Uživatel nastaví požadovanou teplotu v referenční místnosti pro den a noc (interval spínání je také možné nastavit) a hysterezi teploty. Na základě ročního období, času a typu systému (plynový kotel nebo kotel na tuhé palivo) systém rozhoduje, na jakou teplotu je třeba teplotu regulovat v domu a které prvky (kotel nebo oběhové čerpadlo) je třeba spínat. Podrobný popis jednotlivých algoritmů je uveden v následujících podkapitolách.

4.5.1 Zahájení a ukončení vytápěcího období

Aby byl navrhovaný systém plně autonomní, při návrhu byly respektovány předpisy Ministerstva průmyslu a obchodu o pravidlech vytápění v bytových domech[17]. Tím je možné zabezpečit, aby byl systém na základě povětrnostních podmínek byl schopen sám zahájit a ukončit vytápění budovy či domu.

Vyhláška č. 194/2007 Sb., a její změna 237/2014 Sb. stanovují, že dodávka tepelné energie se zahájí v otopném období, když průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušném místě nebo lokalitě poklesne pod +13 st. C ve 2 dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této teploty nad +13 st. C pro následující den.

Vytápění bytů a nebytových prostor v bytových a nebytových budovách se omezí nebo přeruší v otopném období tehdy, jestliže průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušném místě nebo lokalitě vystoupí nad +13 st. C ve 2 dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat pokles této teploty pro následující den Při následném poklesu průměrné denní teploty venkovního vzduchu pod +13 st. C se vytápění obnoví.

Průměrnou denní teplotou venkovního vzduchu je čtvrtina součtu venkovních teplot měřených ve stínu s vyloučením vlivu sálání okolních ploch v 7.00, 14.00 a ve 21.00 hod., přičemž teplota měřená ve 21.00 hod. se počítá dvakrát.

Vyhláška udává, že otopné období začíná 1. září a končí 31. května následujícího roku.[17]

Dle daných předpisů byl naimplementován řídicí algoritmus do regulátoru, který měří venkovní teploty v daných hodinách dne a následně počítá průměr, na základě kterého zapíná nebo vypíná topení. Uživatel má možnost měnit průměrné teploty zahájení a ukončení, popřípadě celou část algoritmu vypnout. Uživatel nemá možnost změnit topné období.

V případě, že uživatel vypne tuto část řídicího algoritmu, topení je natrvalo zapnuté.

4.5.2 Denní a noční teploty regulace

Z hlediska požadavků na regulaci, pro řízení plně postačuje, když bude možné nastavit pokojovou teplotu pro 2 fáze dne, a to na denní a noční teplotu. Na základě nastavených

teplot a časů přepínání fází, regulační algoritmus nastavuje danou teplotu, podle které algoritmus řídí vytápění.

4.5.3 Návrh regulace pokojové teploty

Kotel se zapíná v situaci, když teplota v referenční místnosti domu klesne pod nastavenou teplotu se zvolenou hysterezí. Oběhové čerpadlo je sepnuto, pokud je kotel v provozu. Tím se zabrání nadměrnému ohřátí vody v kotli a v celém systému se rovnoměrně roznáší ohřátá voda. Po dosažení žádané teploty s hysterezí v referenční místnosti se kotel vypne a topná voda zůstane v cirkulaci po nastavenou dobu (výchozí hodnota 5 minut) nebo do dosažení nastaveného teplotního rozdílu (spádu).

V případě, že je nastaven typ systému na vytápění pomocí kotle na tuhá paliva, se v systému spíná pouze oběhové čerpadlo, a to na základě žádané teploty v referenční místnosti.

4.5.4 Ochrana proti přehřátí vody v systému a proti zamrznutí

Z bezpečnostních důvodů jsou v regulátoru vytvořeny i bezpečnostní opatření. Jedná se o omezení maximální teploty topné vody. Po překročení maximální teploty topné vody nastavené uživatelem se kotel vypne a oběhové čerpadlo se zapne až do té doby, dokud teplota topné vody neklesne pod nastavenou hranici.

V případě že teplota v referenční místnosti klesne pod 5°C, bez ohledu na roční období a nastavené hodnoty se zapne vytápění. Tím se zabrání k zamrznutí topné vody v systému. Ochrana se vypne po překročení teploty 5°C.

5 NÁVRH SOFTWARU

Program pro mikrokontrolér je napsán v jazyce C ve vývojovém prostředí *CodeWarriror Developement Studio v10.6*. V této kapitole jsou popsány nejdůležitější body vývoje.

5.1 Knihovna pro řízení LCD displeje Tower Systému

Knihovna pro řízení LCD displeje Tower Systému je převzata od pana Miroslava Štibraného[15]. Při vývoji kódu byl zjištěn nedostatek ve výpisu času. Opravu tohoto nedostatku popisuje následující podkapitola.

5.1.1 Úprava výpisu času ve dvanáctihodinovém formátu AM/PM

V případě použití dvanáctihodinového formátu se půlnoc značí *12:00am* a poledne *12:00pm*. V původním kódu při nulovém vstupním parametru hodin se vypisuje na displej *0:00am*, poledne se zobrazuje *12:00am*, což nejsou platná uvedení času ve dvanáctihodinovém formátu. Při vstupním parametru 24 hodin se na displeji zobrazí hodnota *13:00pm*.

Na základě popsaných chyb byl opraven zdrojový kód pro výpis času na displej systému MC9S08LH64. Ukázka kódu je zobrazena v kódu v příloze (viz Zdrojový kód č. 6.6).

5.2 Knihovna pro řízení I^2C sběrnice

Knihovna pro řízení byla převzata od pana Davida Pamánka[14]. Knihovna pro svou funkci potřebuje jako vstupní parametr ukazatel na pole dat datového typu `char`. U tohoto řešení může nastat kolize mezi daty v případě volání funkcí z hlavní rutiny navzájem s voláním z přerušení. Proto, aby nemohlo dojít k případné kolizi mezi datovými poli v případě přerušení, ukazatel na toto pole je předáván již od zavolání první funkce, následně voláním další, kterou pak využívá funkce sběrnice. Proto má každá rutina vlastní datové pole, která nemohou navzájem kolidovat.

5.3 Knihovny pro snímače

Pro každý snímač byly napsány vlastní knihovny na základě popisu komunikace v produktových listech snímačů. Každá knihovna nadefinuje zvlášť registr, masky nastavovacích bitů v registrech, základní funkce pro nastavení a čtení parametrů snímačů a též funkce pro čtení naměřených veličin z registrů snímačů.

5.4 Ošetření chyb při čtení naměřených dat

V případě, že některý ze snímačů neodpovídá na příkazy posílané procesorem, např. v případě špatné adresy snímače, ze sběrnice se díky pull-up odporům příjmu data s každým bitem HI, návratová hodnota z funkcí pro měření dat je makro `IIC_INVALID_DATA`. Díky tomuto je možné jednoduše ošetřit vzniklé chybové stavy, např. nahlášením chybového stavu nebo restartováním daného snímače.

5.5 Kontrola CRC součtu u snímače HTU21D

Jak již bylo zmíněno v popisu snímače HTU21D, snímač posílá implicitně kontrolní součet CRC pro naměřená data. Při čtení naměřené hodnoty se kontrolní součet ze získaných dat porovnává s kontrolním součtem poslaným snímačem. V případě, že součty nejsou shodné, je návratová hodnota makro `CRC_ERR`, podle čeho může být snadno identifikovatelná a následně ošetřená v průběhu programu.

5.6 Vlastní datové typy

Pro vyšší čitelnost kódu byly navrženy vlastní datové typy. Jsou popsány v následujících podkapitolách.

5.6.1 Datový typ ADDRESS

Adresy snímačů, které se předávají mezi funkcemi, jsou kvůli rozlišitelnosti datového typu `ADDRESS`. Tyto adresy, které jsou sedmibitové, jsou využity na sběrnici I^2C. Proto datový typ `ADDRESS` je na základě datového typu `unsigned char`.

5.6.2 Datový typ decimal

Aby byl zajištěn co nejrychlejší běh programu v mikrokontroléru, byly knihovny napsány tak, aby nevyužívaly datový typ `float`. Všechny hodnoty výpočtů, i návratové hodnoty, jsou vlastního datového typu `decimal`, který představuje formát hodnoty s přesností na dvě desetinná místa bez desetinné čárky, což znamená hodnotu vynásobenou 100. Datový typ `decimal` je na základě datového typu `signed long int`.

5.7 Registr časových přerušení

Pro jednodušší sledování času při vzniku přerušení z TOD modulu, byl navržen vlastní registr, ve kterém jednotlivé příznakové bity označují uplynutí rozdílné délky času. Pomocí tohoto registru jsou volány v hlavní smyčce programu jednotlivé nastavovací a měřící algoritmy. Jedná se o registr příznakových bitů pro následující intervaly: čtvrtina a půlka vteřiny, 1, 2, 5 a 10 vteřin, půlka minuty a jedna minuta. Popsané intervaly jsou plně postačující na vykonání všech důležitých výkonů při regulaci vytápění.

5.8 Knihovna pro řízení LCD displeje MC42004A6W-BNMLW

Pro podrobnější zobrazení jednotlivých stavů terminálu byl zvolen LCD displej zmíněný v předchozí kapitole. Pro zvolený mikroprocesor ovšem nebyla dostupná žádná knihovna pro řízení displeje, proto byla jako základ využita knihovna od pana Petra Fleuryho pro AVR procesory[16]. Uvedená knihovna byla opravena a doplněna pro použití s mikroprocesory MC9S08LH64.

5.9 Knihovna pro řízení obvodu reálného času DS1307+

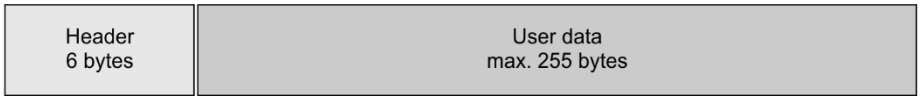
Knihovna pro řízení byla převzata od pana Davida Pamánka[14].

5.10 Komunikace s terminálem

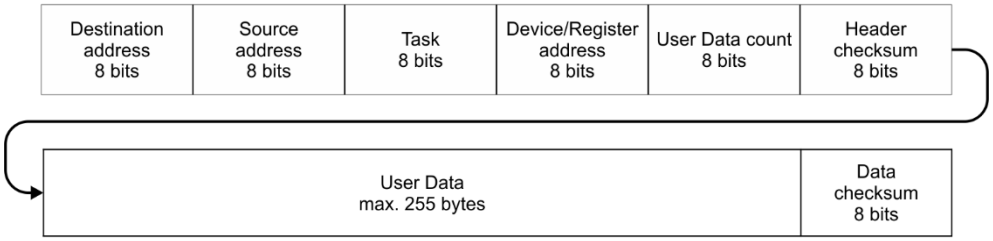
Pro komunikace s terminálem byl navrhnut vlastní komunikační protokol přes sériovou linku *RS-232* nebo *RS-485*. Jedná se o obousměrnou komunikaci mezi terminálem a dalším zařízením. Řízení komunikace je zabezpečeno celkově softwarově pomocí

protokolu, což znamená, že na komunikaci postačují tři vodiče sériového rozhraní, vodiče příjmu a odesílání (*RxD* a *TxD*) a signálová zem. Komunikace je využita pro nastavování parametrů regulátoru z uživatelské aplikace, nebo pro ověřování funkčnosti pomocí programu MATLAB.

Při komunikaci se identifikují zařízení pomocí osmibitové adresy. Hlavička komunikačního datagramu začíná adresou cílového zařízení. Na základě toho mohou zařízení zjistit, jestli je daný datový paket posílán pro ně. Poté následuje adresa odesílatele, na základě které může být odpověď pro daný příkaz odeslána zpátky. Třetím a čtvrtým bajtem v hlavičce jsou identifikátory úkolu a zařízení, popř. registru, na kterém má zařízení danou úlohu vykonat. V případě, že jsou pro daný úkol vyžadována další data, je počet datových bajtů odeslán po identifikátorech. Celá hlavička datagramu je zakončena kontrolním součtem hlavičky. Odeslané datové bajty jsou též zakončeny kontrolním součtem.



Obrázek č. 5.10.1 – Datagram komunikačního protokolu



Obrázek č. 5.10.2 – Struktura datagramu komunikačního protokolu

Řízení komunikace v mikroprocesoru probíhá pomocí stavového automatu, ve kterém se na základě přijatých dat vykonávají jednotlivé úkoly pomocí funkcí. Jako první se vždy zpracovává první bajt datového paketu – pokud je shodná s vlastní adresou zařízení, pokračuje zpracování dat na základě dalších bajtů.

Komunikace se zahájí tzv. *handshake* metodou (podání ruky). Zařízení navazující spojení příkazem *RING* požádá cílové zařízení o komunikaci, na kterou dané zařízení odpoví souhlasem *ACK* (*Acknowledgement* – potvrzení), pokud je komunikace s daným zařízením povolena. Bez tohoto souhlasu není možná žádná další komunikace se zařízením. Pokud se příjme datový paket od nespárovaného zařízení, odpoví zařízení povelem *FORBIDDEN*. Komunikace se ukončí odesláním příkazu *LOCK*, na které

zařízení odpoví povelem *DISCONN*. Před případnou další komunikaci je nutné zahájit komunikaci *handshake* metodou.

Pro zvýšení ochrany před chybným příjmem dat, jsou hlavička i posílaná data ukončena kontrolním součtem, který představuje bitový součin *XOR* jednotlivých datových bajtů. Byl zvolen součin XOR z důvodu rychlosti a jednoduchosti výpočtu, ale v případě potřeby větší bezpečnosti je možné výpočet nahradit CRC součtem.

V případě neshody součtu dat nebo vypršení časového limitu na odpověď (*timeout*), je vyžádáno opětovné odeslání předchozího paketu pomocí příkazu *RTX*. Při opětovné chybě se komunikace označí za chybovou a zařízení se odpojí od spárovaného zařízení.

Data jsou odesílaná v osmibitových částech, s přesností na 2 desetinné místa, a to způsobem rozdělení celé a desetinné části čísla. Tím je možné nastavit hodnoty v rozmezí od -127,99 do 128,99, což plně pokryje oblast použitých číselných hodnot.

Pokud je vyžádáno nastavení nebo čtení více periférií nebo registrů najednou, podporuje komunikační protokol serializovanou komunikaci. V tomto případě jsou v datové části datagramu odeslány jednotlivé identifikátory periférií nebo registrů spolu s údaji za sebou, a bajt ukazující na periférii nebo registr zařízení je nastaven na *SERIALIZED*.

Jednotlivé podporované příkazy jsou znázorněny v následující tabulce.

Tabulka č. 5.10.1 – Popis podporovaných příkazů vlastním komunikačním protokolem

Příkaz	**Datová reprezentace**	**Popis**
RING	0x01	Žádost o navazování komunikace
ACK	0x02	Souhlas
NACK	0x03	Nesouhlas
RTX	0x04	Žádost o opětovné odeslání dat
ERR	0x05	Chyba
GET	0x06	Čtení dat z periférií nebo registrů
SET	0x07	Nastavení periférií nebo registrů
ANS	0x08	Odpověď
RST	0x09	Reset zařízení
LOCK	0x0A	Odpojení od spárované zařízení
DISCONN	0x0B	Odpojeno
SERGET	0x0C	Serializované čtení dat
SERANS	0x0D	Odpověď na serializované čtení
SERSET	0x0E	Serializované nastavení

5.10.1 Pomocný registr pro jednotlivé stavy komunikace

Pro lepší orientaci byl vytvořen stavový registr *SCIS*, který obsahuje příznakové bity pro zjištění a řízení stavu sériového rozhraní. V registru jsou 4 bity pouze pro čtení a jeden bit pro zápis.

Tabulka č. 5.10.2 – Stavový registr SCIS

	7	6	5	4	3	2	1	0
R	0	0	0	SCISACKRQ	SCISDTX	SCISACK	SCISCONN	SCISDRX
W								
Reset	-	-	-	0	0	0	0	0

Tabulka č. 5.10.3 – Popis jednotlivých bitů stavového registru

Pole	Popis
4 SCISACKRQ	**Serial Communication Interface Status Acknowledgement Request** – Stavový bit ukazující žádost o souhlas/potvrzení dat od druhého zařízení. Bit se automaticky resetuje, když byl přijat souhlas/potvrzení od druhého zařízení. Souvisí s bitem SCISACK. 0 Souhlas/potvrzení není vyžadován. 1 Je vyžadován souhlas/potvrzení od druhého zařízení.
3 SCISDTX	**Serial Communication Interface Status Data Transferring** – Stavový bit ukazující průběh odesílání dat na sériovou linku. Automaticky se nastaví na 0 po dokončení komunikace. 0 Žádná data se neposílají. 1 Odesílání dat je v průběhu.
2 SCISACK	**Serial Communication Interface Status Acknowledge** – Stavový bit ukazující přijetí souhlasu/potvrzení. Při přijetí ze správního zařízení se nastaví na 1, bit SCISACKRQ = 1 se automaticky resetuje. Souvisí s bitem SCISACKRQ. 0 Zařízení nesouhlasil/nepotvrdil odeslané data. 1 Zařízení souhlasil/potvrdil odeslané data.
1 SCISCONN	**Serial Communication Interface Status Connected** – Stavový bit ukazující spárované připojení druhého zařízení. Při odpojení spárovaného zařízení se nastaví na 0. 0 Žádné zařízení není připojeno ani spárováno. 1 Je připojeno a spárováno alespoň jedno zařízení.
0 SCISDRX	**Serial Communication Interface Data Received** – Stavový bit ukazující přijetí dat. Data jsou uloženy v datovém zásobníku SCIDataBuffer knihovny serial.h. Resetuje se voláním funkce SCIRead(). Při resetu se maže i obsah zásobníku. 0 Žádná data nejsou přístupná v zásobníku SCIDataBuffer 1 Jsou přístupná data v zásobníku SCIDataBuffer.

5.11 Hlavní program terminálu

Na začátku programu je definice knihoven a potřebných proměnných, spuštění fázového závěsu pro hlavní taktovací frekvenci procesoru, nastavení přerušení, inicializace displejů, I^2C sběrnice, sériového rozhraní a nastavení periferních obvodů. Jsou naměřeny důležité hodnoty a nastaví se počáteční stavy regulátoru. V nekonečné smyčce se každých 5 vteřin čtou informace z teplotních snímačů, a vykonává se algoritmus pro regulaci

topení. Jelikož má celý systém velkou setrvačnost, není nutné, aby byly regulační zásahy častější.

V každé minutě proběhne kontrola, zda není potřeba vykonat měření venkovní teploty pro počítání průměru. V případě, že ano, uloží se naměřená hodnota do příslušné proměnné na základě času a dne, ze které se následně vypočítá průměr venkovní teploty.

V hlavní smyčce je též ošetřen i případ vypršení času pro odpověď na sériové lince.

5.12 Algoritmus regulace

Po získání potřebných měřených dat ze snímačů následuje podmínka pro spínání kotle, kdy se porovnává nastavená teplota (proměnná *RegulateToTemp*) v závislosti na nastaveném módu denní nebo noční teploty. V podmínce je i kontrola, zda je potřeba zapnout topení na základě průměru venkovní teploty za předchozí 2 dny a o jaký typ systému se jedná.

5.13 Ovládání jednotky

Ovládací část na externím panelu tvoří pět tlačítek, čtyři směrové šipky „nahoru“, „dolů“, „doleva“, „doprava“ a jeden potvrzovací „Enter“. Na alfanumerickém LCD displeji se v normálním režimu zobrazuje vnitřní a venkovní teplota, vlhkost venkovního vzduchu, teplota vody do radiátorů, datum, čas a jednotlivé stavy jednotky. Po stisknutí kteréhokoliv tlačítka se zapne podsvícení displeje. Při následném stisknutí tlačítka „Enter“ se zobrazí hlavní menu, ve kterém pomocí kurzorových tlačítek je možné zvolit nastavovací mód „Setup“, zobrazení stavu „Status“ nebo může se provést restart terminálu „Reset“. Daný mód se zvolí pomocí tlačítek „nahoru“ a „dolů“, do módu se vstoupí pomocí tlačítka „Enter“. Z jednotlivých podmenu se dostaneme zpátky pomocí volby „Return“ a následným stisknutím tlačítka „Enter“. V případě, že nestiskneme žádné tlačítko po dobu 10 vteřin, podsvícení displeje se automaticky zhasne a displej se vrací na hlavní obrazovku.

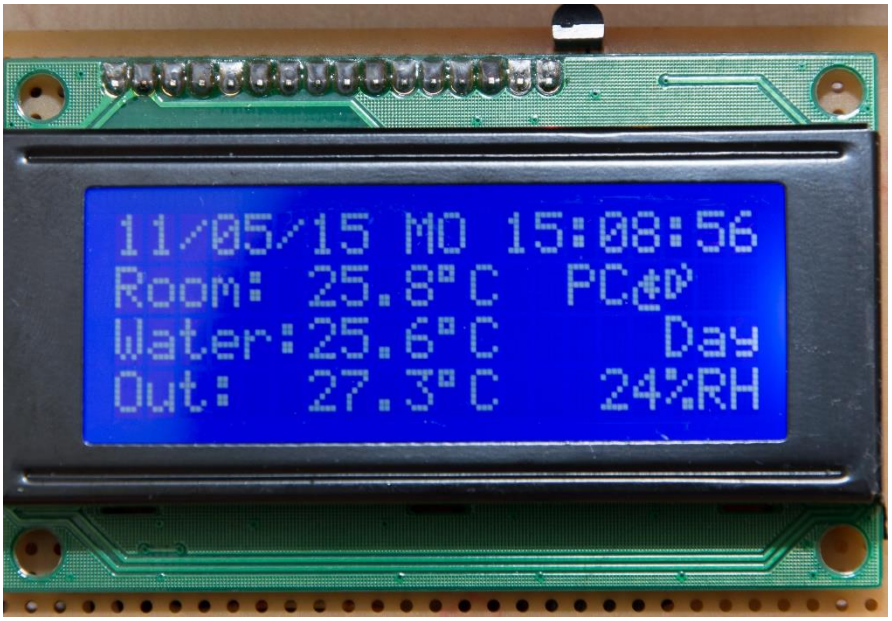
V podmenu „Setup“ můžeme zvolit mezi nastavením data a času „Date/time“, nastavením teplot „Temperatures“ nebo nastavením programu regulace „Program“.

V nastavovacích podmenu pomocí šipek „nahoru“ nebo „dolů“ se vybere nastavovaná hodnota, stisknutím tlačítka se dostaneme do editovacího módu. Hodnoty se nastavují pomocí šipek „nahoru“ a „dolů“. Jednotlivé pozice hodnot se volí pomocí tlačítek

„doleva“ a „doprava“. Pro návrat z editovacího módu slouží tlačítko „Enter“. Nastavení je nutno potvrdit volbou uložení dat „Save“. V opačném případě se nastavená hodnota zahodí.

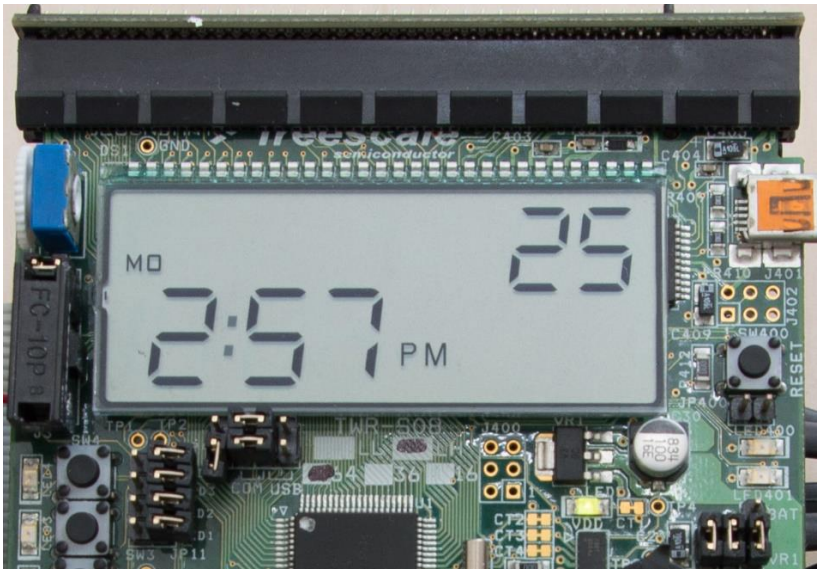
Z hlavní obrazovky se při stisknutí tlačítka „nahoru“ nebo „dolů“ se okamžitě dostaneme do nastavovacího menu teplot.

Podrobní struktura menu je zobrazena v příloze (viz. Obrázek č. 6.2)



Obrázek č. 5.13.1 – Displej uživatelského panelu

Jako zobrazovací prvek je taky použitý i displej *Tower System*-u, na kterém je zobrazen pouze aktuální čas a den v týdnu, vnitřní teplota s přesností na 1°C a zapnutí topení. V případě, že naměřená venkovní teplota je pod 3°C, znak hvězdičky bliká, pod 0°C svítí trvale.



Obrázek č. 5.13.2 – Displej Tower System-u

5.14 Uživatelská aplikace pro dálkové ovládání jednotky

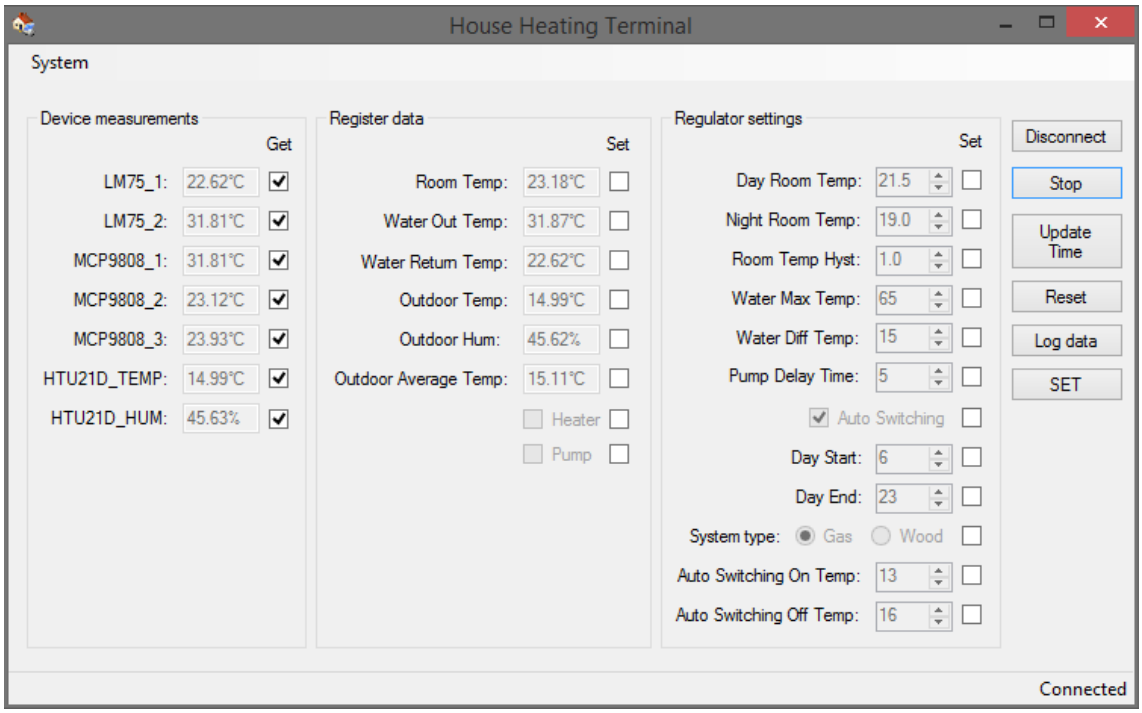
Pro snadné nastavování terminálu byl navržena uživatelská aplikace, ze které je možné sledovat a nastavovat jednotlivé parametry terminálu. Aplikace byla napsána v jazyce *C#*. Pro komunikaci byla vytvořena statická třída *serialComm.cs*, která je téměř shodná s knihovnou v mikroprocesoru. Obsahuje stejné metody na řízení komunikace, ovšem byla napsána pro využití co nejvíce možností *.NET3.5 Framework*-u. Aplikace je typu *WinForms Application*, veškerá komunikace se děje na jiném vláknu, něž je hlavní okno *MainForm*. Předchází se tím problémům obnovování okna při komunikaci – aby nezamrzalo hlavní okno aplikace při čekání na odpověď od zařízení. Uživatelská aplikace byla doplněna o zkušenosti a poznatky získané při realizaci projektu do předmětu BSPC – Subsystémy PC.

5.14.1 Hlavní okno aplikace

Hlavní okno je rozděleno do 4 částí. V první části jsou připojené snímače teploty a vlhkosti, v druhém registry jednotlivých naměřených dat, ve třetí části jsou nastavitelné parametry regulátoru, které jsou nastavitelné i z menu terminálu. V poslední, čtvrté části, jsou úplně vpravo ovládací tlačítka.

Tlačítko nahoru (*Connect/Disconnect*) slouží na připojení/spárování aplikace s terminálem. Po úspěšném připojení se zapnou i ostatní tlačítka na ovládání terminálu. Tlačítko *„Measure/Stop“* slouží k zahájení a ukončení měření a obnovování obrazovky.

Třetím tlačítkem *„Update Time“* můžeme aktualizovat aktuální čas terminálu. Čtvrté tlačítko „*Reset*“ slouží na resetování terminálu. Po restartu je důležité povolit běh terminálu tlačítkem *„Enter“* na panelu terminálu. Stiskem tlačítka *„Log data“* se vytvoří záznam v log souboru o aktuálně naměřených dat. Tlačítkem *„SET“* můžeme nastavit parametry regulátoru. Pro nastavení si musíme zvolit příslušnou fajfku vedle nastavitelného parametru, nastavíme parametr a stiskem tlačítka *„SET“* odešleme do terminálu.

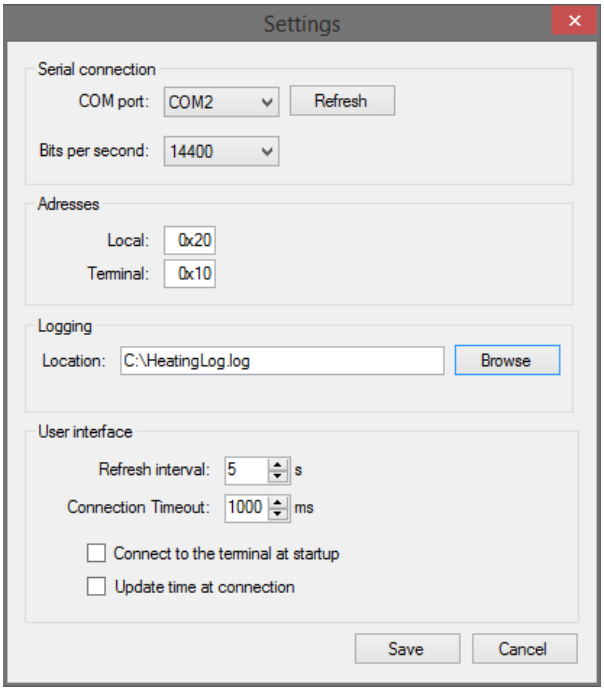


Obrázek č. 5.14.1 – Hlavní okno uživatelské aplikace House Heating Terminal

5.14.2 Nastavovací menu uživatelské aplikace

V nastavovacím menu si můžeme nastavit sériový port počítače, na který je terminál připojen. V části *„Addresses“* se nastavují adresy zařízení. Osmibitové adresy musí mít hexadecimální tvar.

V části *„Logging“* si můžeme zvolit umístění záznamového souboru, výchozí nastavení je adresář aplikace. V části *„User interface“* si můžeme zvolit čas obnovování obrazovky aplikace, a délku časového limitu odpovědi komunikace. Fajfkami si můžeme zvolit, jestli se má uživatelská aplikace připojit k terminálu při spuštění, popř. aktualizovat čas.



Obrázek č. 5.14.2 – Nastavovací menu uživatelské aplikace

5.15 Ověření funkčnosti hardwaru

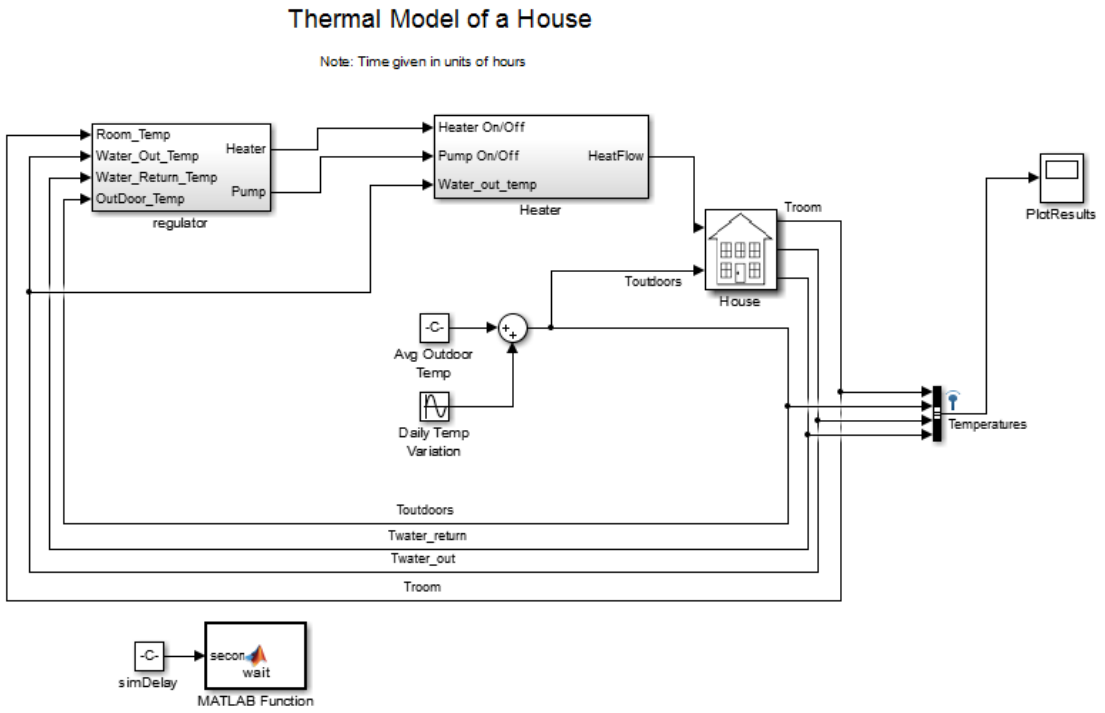
Pro zjištění výsledku vývoje hardwaru bylo třeba ověřit, zda je terminál schopen regulovat vytápěcí soustavu. Postup návrhu ověřovací metody je popsán v následujících podkapitolách.

5.15.1 Příprava pro ověření pomocí simulace obytného domu v programu MATLAB

Pro ověření funkčnosti terminálu byl vytvořen model obytného domu v programu MATLAB Simulink, na základě kterého je možné simulovat průběh teplot v obytném domě a ověřit, zda je terminál schopen regulovat vytápěcí soustavu.

Jako základ pro simulaci byl využit zabudovaný demonstrační model Simulink-u termálního modelu domu (*Thermal Model of a House*)[19]. V modelu byl nahrazen blok obyčejného termostatu komunikačním blokem s terminálem, ve kterém se nastavují jednotlivé stavy simulace v terminálu, např. teploty topné vody, pokojová teplota, venkovní teplota a čas simulace. Na základě nastavených parametrů vykonává terminál algoritmy regulace, následně se získají vypočtená data z terminálu pomocí komunikační linky a podle nich se pokračuje v simulaci.

V budoucnu je v plánu pokračování této části práce vytvořením simulačního modelu domu pro ověření funkčnosti regulačních algoritmů terminálu.



Obrázek č. 5.15.1 – Simulační model obytného domu v MATLAB Simulink-u

5.15.2 Ověření funkčnosti pomocí uživatelské aplikace

Vzhledem k obtížnosti vytvoření dynamického modelu pro simulování každé potřebné hodnoty, funkčnost terminálu a regulačních algoritmů byla ověřena pomocí uživatelské aplikace, která je popsána výše. Ověření proběhlo postupným nastavováním jednotlivých parametrů regulátoru a registrů pro naměřené hodnoty teplot. Po nastavení byly sledovány změny výstupu terminálu a také zobrazených hodnot na displeji.

Na základě takto simulovaných parametrů terminál vyhovuje požadavkům kladeným v zadání práce.

6 ZÁVĚR

V první, teoretické části, byly popsány principy, druhy a možnosti, výhody a nevýhody různých systémů pro vytápění domu. Konkrétní blokové schéma zapojení topné soustavy v domě naznačuje Obrázek č. 1.5.1. V následující části jsou popsána dostupná komerční zařízení na regulaci vytápění. Tato část je zakončena porovnáním popsaných zařízení. Ze všech popsaných regulátorů by byl nejlepší volbou regulátor REV od firmy Siemens, splňuje požadavky, ale chybí několik užitečných možností (např. udržování teploty v topném systému a přizpůsobení vytápění povětrnostním podmínkám) a jeho cena je relativně vysoká.

Praktická část se věnuje vlastnímu návrhu centrální jednotky terminálu. Zabývá se stanovením měřených a regulovaných veličin. V souvislosti s tím a podle požadavků jsou vybrány snímače pro měřené veličiny (teplota, vlhkost). Snímače jsou pak jednotlivě popsány v kapitole 4.2. Navržená implementace řídicího systému, montážní místa navrhovaných čidel a zapojení periférií k mikrokontroléru jsou zobrazeny na blokovém schématu (Obrázek č. 3.2.1).

Při oživování zapojení se objevila celá řada problémů, které se podařilo vyřešit. Největším problémem bylo zprovoznění komunikace přes rozhraní sériové linky. Špatné nastavení taktovací frekvence procesoru a následně špatně odvozený vzorkovací kmitočet sériového rozhraní způsobil chybný příjem dat. Chyba byla vyřešena korektním nastavením modulu fázového závěsu, čímž bylo dosaženo generování správné taktovací frekvence procesoru.

Z důvodu, že v daném topném systému není možné regulovat dodaný výkon kotle, je vytápění řízeno pomocí algoritmu modelující relé s hysterezí. Oběhové čerpadlo je řízeno na základě teploty topné vody, a po vypnutí kotle zůstává v provozu do doby nastavené uživatelem. Tato funkce slouží k bezpečnému vypnutí (odstávce) topného systému.

Ukázka zdrojového kódu je uvedena v příloze C. Celý zdrojový kód je uložen v elektronické příloze odevzdané práce na CD. Důležitým kritériem byla celková pořizovací cena řídicí jednotky a snímačů. Díky použití součástek zakoupených v zahraničí (jejichž celková cena je cca 1300,- Kč i s poštovným) a zapůjčením vývojového Tower Systému se cena prototypu pohybuje kolem 1500,- Kč.

V bakalářské práci byl realizován návrh terminálu. Návrh se zabýval volbou měřených veličin potřebných pro regulaci topné soustavy a volbou vhodných snímačů pro měření zvolených veličin. Dále byl proveden návrh a následné zprovoznění sériové komunikace terminálu s nadřazenou uživatelskou PC aplikací, díky čemuž je možné terminál ovládat vzdáleně nebo simulovat průběhy teplot všech měřených veličin. V dalších kapitolách práce byl proveden návrh regulačních algoritmů pro řízení vytápění obytného domu. Byly implementovány knihovny pro snímače, pro periferie, jako je displej, uživatelské rozhraní a samotné regulační algoritmy.

Knihovny jsou plně funkční, všechny možnosti nastavení jsou v nich předpřipraveny tak, aby je bylo možné v budoucnu využít při dalším rozšíření realizované práce, kterému se chci věnovat v rámci dalšího studia.

Při dalším rozšíření této práce se plánuji zaměřit na zprovoznění simulace v programu MATLAB pro odladění regulace popř. ověřování vývoje dalších regulačních algoritmů, možnosti připojení snímačů pomocí sběrnice RS485, díky čemuž bude možné připojení i jiných typů snímačů a umístění těchto snímačů do větší vzdálenosti od hlavního modulu regulačního systému. Dále se plánuji zaměřit na rozšíření možností terminálu, např. více nastavitelných parametrů v menu, implementaci algoritmu pro import informací o předpovědi počasí a regulaci na jejím základě, případně doplnění dotykového grafického displeje jako uživatelského rozhraní.

LITERATURA

[1] MATOUŠEK, David. Práce s inteligentními displeji LCD. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 224 s. ISBN 80-7300-121-7.

[2] HEROUT, Pavel. Učebnice jazyka C. 4., přeprac. vyd. České Budějovice: Kopp, 2004, 271 s. ISBN80-7232-220-6.

[3] HONEYWELL INTERNATIONAL INC. Automation and Control Solutions: JADE™ Economizer Module product data [online]. Datasheet: 63-2700—10 Rev. 12-14. Vydáno: 2014 [cit. 2014-10-26]. Dostupné z: https://customer.honeywell.com/resources/techlit/TechLitDocuments/63-0000s/63-2700.pdf

[4] Regulační technika [online]. [cit. 2014-11-20]. Dostupné z: http://www.thermo-control.cz/

[5] Jaký je rozdíl mezi jednotrubkovým a dvoutrubkovým systémem? [online]. [cit. 2014-11-21]. Dostupné z: http://designove-radiatory-laurens.blogspot.cz/2013/05/jaky-je-rozdil-mezi-jednotrubkovym.html

[6] ABB S.R.O. ELEKTRO-PRAGA. Přístroj termostatu se spínacími hodinami: typ: 1098 U-101 (obj. č. 1032-0-0508) s vnitřním snímačem teploty (prostorový) [online]. Datasheet: N-1098U,UF-101 Rev. 2013/11. Vydáno: 2010 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: http://www117.abb.com/viewDocument.asp?document=5329&type=

[7] SIEMENS SWITZERLAND LTD. Building Technologies: REV24.. room temperature controller [online]. Datasheet: CE1N2205en Rev. 05.09.2008. Vydáno: 2008 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: http://www.siemens.com.au/files/Environment/CC/Products/Documents/hvac/env_rev24_data_sheet.pdf

[8] FREESCALE SEMICONDUCTOR. MC9S08LH64 Reference Manual [online].Revision 5.1. 2012 [cit. 2014-01-06]. Dostupné z: http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref_manual/MC9S08LH64RM.pdf

[9] I²C. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C

[10] PHILIPS SEMICONDUCTORS. Specialty Logic Product Line Logic Product Group: I²C MANUAL [online]. Datasheet: AN10216-01 Rev. March 24, 2003. Vydáno: 2003 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10216.pdf

[11] MEASUREMENT SPECIALTIES. Digital Humidity Sensors: Humidity and Temperature Sensor - HTU21D [online]. Datasheet: HPC199_5 Rev. April 2014. Vydáno: 2012 [cit. 2014-12-08]. Dostupné z: http://www.meas-spec.com/downloads/HTU21D.pdf

[12] NXP SEMICONDUCTORS. I²C temperature/voltage monitors: LM75A Digital temperature sensor and thermal watchdog [online]. Datasheet: LM75A_4 Rev. 04 — 10 July 2007. Vydáno: 2007 [cit. 2014-12-08]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LM75A.pdf

[13] MICROCHIP. Thermal Management - Temperature Sensors: MCP9808 ±0.5°C Maximum Accuracy Digital Temperature Sensor [online]. Datasheet: DS25095A Revision A (October 2011). Vydáno: 2011 [cit. 2014-12-08]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/25095A.pdf

[14] PAMÁNEK, D. Připojení externích zařízení k mikrokontroléru Freescale MC9S08LH64 přes sběrnice IIC a SPI. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

[15] ŠTIBRANÝ, M. Knihovna pro řízení LCD displeje GD-5360P. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 55 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

[16] AVR-GCC Libraries: LCD library <lcd.h> [online] [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: http://homepage.hispeed.ch/peterfleury/doxygen/avr-gcc-libraries/group__pfleury__lcd.html

[17] Vyhláška č. 194/2007 Sb. kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími a registrujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům. In: Sbírky zákonů 17.7.2007, částka 62, s. 2407-2409. Dostupné z: http://tlib.mvv.cz/files/vyhlaska_194.pdf

[18] KADA, T. Řídicí jednotka pro tepelné čerpadlo. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 35 s. Vedoucí práce: ing. Michal Hadinec, Ph.D.

[19] Thermal Model of a House - MATLAB & Simulink Example [online] [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: http://www.mathworks.com/help/simulink/examples/thermal-model-of-a-house.html

SEZNAM SYMBOLŮ, ZKRATEK A VELIČIN

ÚT – ústřední topení

VS – vytápěcí systém

TV – topná voda

RH – relativní vlhkost

VDD, VCC – napájecí napětí

GND – napájecí zem

DATA, SDA – datový vodič sběrnice I^2C

SCL, SCK – hodinový signál sběrnice I^2C

HI – logická 1

LO – logická 0

T, t – teplota

t – čas

TRx – Skutečná teplota prostoru

Pon – Startovací bod optimalizace času zapnutí

S_{RH} – hodnota vlhkosti vyčtená z registru snímače

S_{Temp} – hodnota teploty vyčtená z registru snímače

RH, RH_{amb} – vlhkost získaná ze snímače

Temp, T_{amb} – teplota okolí získaná ze snímače

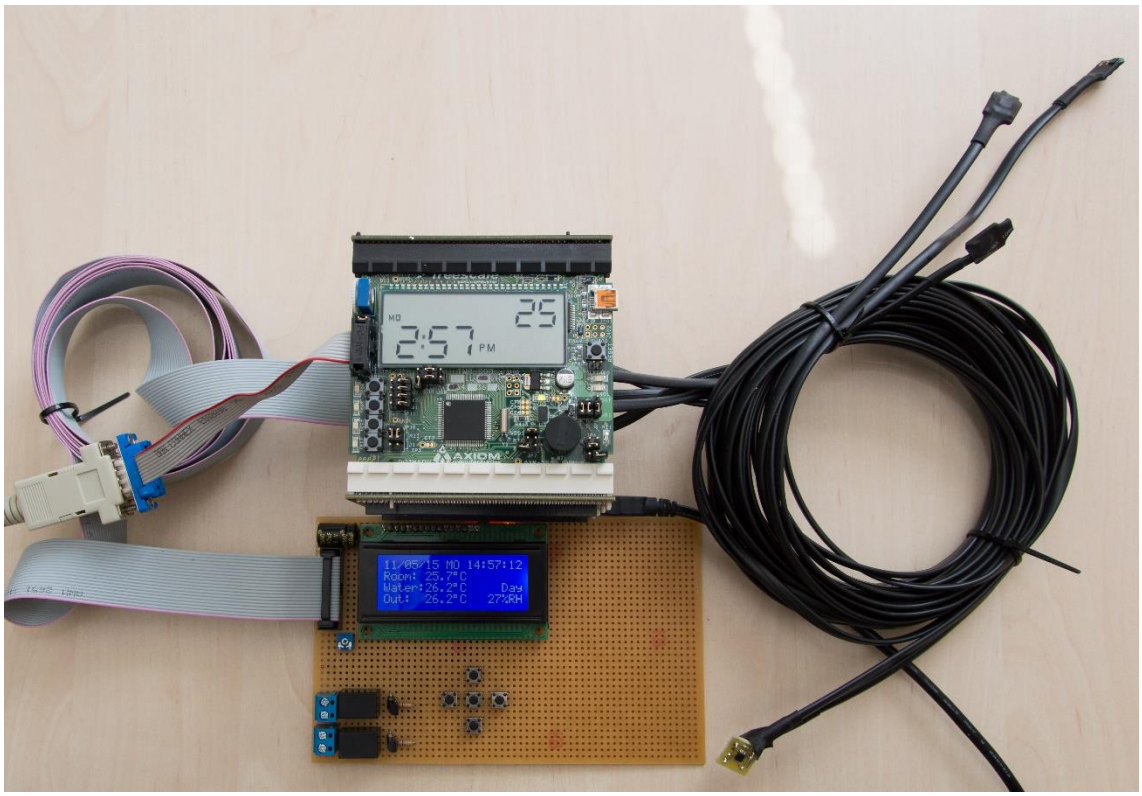
PP_{amb}, PP_{Tamb} – hodnota parciálního tlaku v *mmHg* při teplotě *Tamb*

T_d – teplota rosného bodu

PŘÍLOHY

A Fotografie **64**
B Seznam součástek **65**
C Ukázka zdrojového kódu **66**
D Struktura menu uživatelského rozhraní **73**

A FOTOGRAFIE



Obrázek č. 6.1 – Fotografie experimentálního zapojení

B SEZNAM SOUČÁSTEK

Tabulka č. 6.1 – Seznam součástech a jejich cena

Součástka	Označení	Výrobce	Typ/ hodnota	Pouzdro	Počet kusů	Celková cena
Kabel pro snímače	-	XINYA Electronic Co., Ltd.	XYD013/28AWG/ BLACK/4P	-	10m	62,00 Kč
Plochý kabel	-	XINYA Electronic Co., Ltd.	XYD020/28AWG/ GREY/20P	-	2m	52,00 Kč
Baterie	BAT1	GP	CR1216, 3V 25mAh	CR1216	1	35,00 Kč
Kondenzátor	C1-C5	Vigan	22pF/50V	5mm	5	12,50 Kč
Konektor do DPS	CONN1, CONN2	-	MLW20G	-	2	14,60 Kč
Dioda	D1, D2	MULTICOMP	1N4007	DO-41	2	2,88 Kč
Teplotní / vlhkostní snímač	IC1	Measurement Specialities	HTU21D	DFN	1	100,51 Kč
Teplotní snímač	IC2	Microchip	MCP9808	MSOP-8	1	39,58 Kč
Teplotní snímač	IC3, IC4	NXP	LM75AD	SO8	2	26,36 Kč
RTC	IC5	Maxim Integrated	DS1307+	DIP8	1	85,00 Kč
Stabilizátor	IC6	Texas Instruments	LP2950-30LP	TO92	1	6,17 Kč
Displej	LCD_DISP	Midas Components Ltd.	MC42004A6W-BNMLW	-	1	489,73 Kč
Krystal	Q1	ABRACON	AB38T-32.768KHZ	CYL8,2	1	10,28 Kč
Rezistor	R1, R2, R3, R5, R6	Vigan	10K 0,25W 5%	0207	5	12,50 Kč
Trimer	R4	ACP Technologies	10K 0,1W 20%	CA6VS5	1	5,10 Kč
Relé	RE1, RE2	Vigan	N4100CHS3DC05V	-	2	46,00 Kč
Tlačítko	SW_U, SW_D, SW_L, SW_R, SW_E	Vigan	P-TC-0103-T	-	5	16,50 Kč
Tranzistor	T1, T2, T3	Vigan	BC548B	TO92	3	4,90 Kč
Svorkovnice	X1, X2	-	ARK300V-2P	-	2	7,00 Kč
Pouzdro baterie	X3	Keystone	BH5000	CR1216	1	48,00 Kč
Konektory pro snímače	X4-X8	Vigan	RJ11 6/4, F+M	-	4+4	38,00 Kč
Konektor na plochý kabel	X9, X10	-	PFL20	-	2	20,00 Kč

Celková cena: 1134,61Kč

C UKÁZKA ZDROJOVÉHO KÓDU

Zdrojový kód č. 6.1 - Zdrojový kód hlavní funkce terminálu

```
/************************************************************************
Main routine
************************************************************************/
void main(void) {
  /* Variables declarations */
  int i = 0;

  static const unsigned char LCDchars[] =    /* LCD display custom symbols */
  {
                connected_char,
                connected_A_char,
                connected_B_char,
                connected_left_char,
                connected_right_char,
                heat_char,
                pump_char,
                up_arrow_char,
                down_arrow_char
  };

  /* Modules initialisation */
       vfnClock_Init(); /* Init the FLL */
       InitTrimICS(); /* Set Trim value */
       Init_Peripheral; /* Init peripherals */
       Init_clock(); /* Init clock for the LCD display */
       Init_LCD(); /* Init Tower LCD display */
       HOLD_blink_on; /* Show HOLD symbol */
       Write_string("RDY",1); /* Write RDY on the display */
       Num_aux_hex(ICSTRM); /* Write the Internal Clock Source Trim value on display */
       RE_Init; /* Init the relays */
       SW_Init; /* Init the buttons */

       /* Ready for startup, waiting for pressing the Enter button */
       while(SW_ENT)__RESET_WATCHDOG();


       /* System started, continue initialising */
       EnableInterrupts;
       HOLD_off; /* Hide the HOLD symbol */
       Write_string("RUN",1); /* Write RUN on the display */
       IICInit(); /* Init the IIC module */
       KBI_Init; /* Enable the KBI interrupts */
       IRQI_Init; /* Enable the IRQ interrupt */
       TOD_Init; /* Init the TOD module */
       InitSCI(); /* Init the SCI module */
       setHeater_State(false); /* Set Heater Relay off */
       setPump_State(false); /* Set Pump Relay off */

#ifndef _DEBUG
       lcd_init(LCD_DISP_ON); /* Init the external alphanumeric LCD display */
       lcd_command(_BV(LCD_CGRAM)); /* Set the pointer to the CGRAM */
       for(i=0; i<72; i++) /* Load LCD special chars */
       {
              lcd_data(LCDchars[i]);
       }

       lcd_clrscr(); /* Clear the LCD */
       lcd_Bcklght_on(); /* Turn the LCD backlight on */
#endif
       clockRefreshFromRTC(); /* Refresh the system clock from the RTC */
       InitAverages(); /* Measure the Average temperatures for the first time */
       measValues(); /* Measure values for the terminal initialisation */
       setRegulateToTemp(); /* Set the temperature to regulate to based on the System Time */
       Thermostat(); /* Run the thermostat algorithm */
```

```
       /* Main routine */
 for(;;) {

        if(SCIS_SCISDRX) SCIRead();  /* Read the serial port if data arrived */

        if(refreshTime) /* Set the RTC if Time update is received from the serial port */
        {
                clockSetRTC();
                refreshTime = false;
        }

        /* clock interrupts */
        if(TOD_TODQSEC) /* Quarter-second flag */
        {
                TOD_TODQSEC = 0;
#ifndef _DEBUG
                refreshUI(); /* Refresh the user interface */
#endif
               UIenableNavigate(); /* Enable navigation */
        }
        if(TOD_TODHSEC) /* Half-second flag */
        {
                TOD_TODHSEC = 0;
                clockRefreshFromRTC(); /* Refresh the system clock from the RTC */

                // remaining code here
        }
        if(TOD_TODSEC) /* Second flag */
        {
                TOD_TODSEC = 0;
#ifndef _DEBUG
                if(disp_Bcklght_en) /* LCD backlight switching off */
                {
                        disp_timer++;
                        if(disp_timer >= LCD_DISP_BCKLGHT_TIME)
                        {
                                lcd_Bcklght_off();
                        }
                }
#endif
                if(pumpDelayEnable) /* Pump delay timer */
                {
                       if(!SCIConnCheck(MATLAB))
                       {
                        pumpDelayTimer++;
                        if(pumpDelayTimer >= (int)pumpDelayTime*60)
                        {
                                pumpDelayTimer = 0;
                                pumpDelayEnable = false;
                        }
                       }
                       else
                       {
                              pumpDelayTimer = 0;
                              pumpDelayEnable = false;
                       }
                }
                else
                {
                        pumpDelayTimer = 0;
                }
        }
```

```
        if(TOD_TOD2SEC) /* 2 seconds flag */
        {
                TOD_TOD2SEC = 0;

               if(SCIS_SCISACKRQ){ /* Serial port timeout handling */
                       if(SCIACKRQ_TOut == 0){
                               SCIACKRQ_TOut++;
                       }else if(SCIACKRQ_TOut == 1){
                               SCIRetransmit(); /* Retransmit the data */
                               SCIACKRQ_TOut++;
                       }else if(SCIACKRQ_TOut >= 2){
                               Write_string("Tou",1); /* Write Timeout to the display */
                               SCIDisconnect(SCIGetACKAddress()); /* solve timeout problem */
                               SCIACKRQ_TOut = false; /* Clear TOut flag */
                               SCIS_SCISACKRQ = false; /* Clear ACKRQ flag */
                       }
               }else{
                       SCIACKRQ_TOut = false; /* Clear the TOut Flag */
               }
        }
        if(TOD_TOD5SEC){ /* 5 seconds flag */
                TOD_TOD5SEC = 0;
               if(!SCIConnCheck(MATLAB)){ /* Refresh the measured values and run the thermostat
algorithm, only if MATLAB is not connected */
                        measValues();
                        Thermostat();
               }
        }
       if(TOD_TOD1MIN){ /* 1 minute flag */
                TOD_TOD1MIN = 0;
                setAverageTemp(); /* Measure the outdoor temperature average */
       }


       if(SCIConnCheck(MATLAB)){ /* Run the thermostat algorithm in every cycle if MATLAB is
connected */
                Thermostat();
        }

       if(getHeater_State()){ /* Set Heater Relay */
                        HEAT_on;
                        HEATER_RE1 = 1;
       }else {
                        HEAT_off;
                        HEATER_RE1 = 0;
       }
       if(getPump_State()){ /* Set Pump Relay */
                FLTR_on;
                PUMP_RE2 = 1;
       }else{
               FLTR_off;
               PUMP_RE2 = 0;
       }

       if(getOutDoor_Temp() < 300 && getOutDoor_Temp() > 0){ /* Show the * mark if the tempera-
tures are colder than 3C */
                COLD_blink_on;
       }else if (getOutDoor_Temp() <= 0){
                COLD_on;
       }else{
                COLD_off;
       }
          __RESET_WATCHDOG(); /* feeds the dog */
  } /* loop forever */
  /* please make sure that you never leave main */
}
```

Zdrojový kód č. 6.2 – Zdrojový kód měření teploty pomocí snímače HTU21D

```
decimal htu21d_readTemp_decimal(ADDRESS addr, char* data){
   int i = 0;
   unsigned long long int temp = 0;
   unsigned int message_from_sensor;
   data[0] = HTU21D_TRIG_TEMP_MEAS_NO_HOLD_MASTER;
   IICTransmit(addr,1,data);
   delay(10000);
   IICReceive(addr,3,data);
   if(data[0] & data[1] == 0xFF) return IIC_INVALID_DATA; /* I2C timeout */
   message_from_sensor = (((unsigned int)data[0])<<8 | data[1]);
   if(htu21d_check_crc(message_from_sensor, data[2]) != 0) return CRC_ERR; /* CRC wrong*/
   data[1] &= ~HTU21D_MEAS_STAT_MASK;
   temp = (message_from_sensor>>1)*100000;
   temp = ((temp>>15)*17572)/100000;
   return (temp-4685);
}
```

Zdrojový kód č. 6.3 – Zdrojový kód měření vlhkosti pomocí snímače HTU21D

```
decimal htu21d_readHum_decimal(ADDRESS addr, char* data){
   int i = 0;
   unsigned long long int temp = 0;
   unsigned int message_from_sensor;
   char tempData[4];
   decimal hum = 0, temperature = 0;
   data[0] = HTU21D_TRIG_HUM_MEAS_NO_HOLD_MASTER;
   IICTransmit(addr,1,data);
   delay(10000);
   IICReceive(addr,3,data);
   if(data[0] & data[1] == 0xFF) return IIC_INVALID_DATA; /* I2C timeout */
   message_from_sensor = (((unsigned int)data[0])<<8 | data[1]);
   if(htu21d_check_crc(message_from_sensor, data[2]) != 0) return CRC_ERR; /* CRC wrong*/
   data[1] &= ~HTU21D_MEAS_STAT_MASK;
   temp = (message_from_sensor>>1)*100000;
   temp = ((temp>>15) * 12500) / 100000;
   hum = (temp-600);
   temperature = htu21d_readTemp_decimal(addr, tempData);
   if(temperature > 0 && temperature < 8000){
      hum = ((hum * 100) - (((2500 - temperature) * HTU21D_RH_TEMP_COEFF_DECIMAL)))/100;
   }
   if(hum < 0) return 0;
   else if (hum > 10000) return 10000;
   else return hum;
}
```

Zdrojový kód č. 6.4 – Zdrojový kód měření teploty pomocí snímače LM75

```
decimal lm75_readTemp_decimal(ADDRESS addr, char* data){
   data[0] = LM75_TEMP_REG;
   IICTransmit(addr,1,data);
   delay(1000);
   IICReceive(addr,2,data);
   if(data[0] & data[1] == 0xFF) return IIC_INVALID_DATA;
   if ((data[0] & LM75_TEMP_SIGN_MASK) == LM75_TEMP_SIGN_MASK){
      data[0] &= ~LM75_TEMP_SIGN_MASK;
      return (decimal)((((unsigned long int)(data[0]<<3 | (data[1]>>5)) * 125)) - 128000)/10;
   }else{
      return (decimal)((((unsigned long int)(data[0]<<3 | data[1]>>5)) * 125)/10);
   }
}
```

Zdrojový kód č. 6.5 – Zdrojový kód měření teploty pomocí snímače MCP9808

```
decimal mcp9808_readTemp_decimal(ADDRESS addr, char* data){
   data[0] = MCP9808_TEMP_REG;
   IICTransmit(addr,1,data);
   delay(1000);
   IICReceive(addr,2,data);
   if(data[0] & data[1] == 0xFF) return IIC_INVALID_DATA;
   if (data[0] & MCP9808_TEMP_MSB_TAvsTCRIT_MASK){   /* TA vs. TCRIT */
   }
   if (data[0] & MCP9808_TEMP_MSB_TAvsTUPPER_MASK){  /* TA > TUPPER */
   }
   if (data[0] & MCP9808_TEMP_MSB_TavsTLOWER_MASK){  /* TA < TLOWER */
   }
   data[0] &= MCP9808_TEMP_MSB_FLAG_MASK;    /* Clear flag bits */
   if ((data[0] & MCP9808_TEMP_MSB_SIGN_MASK) == MCP9808_TEMP_MSB_SIGN_MASK){
      data[0] &= 0x0F; /* Clear flag bits */
      return (decimal) (((((unsigned long int)(data[0]<<8 | (data[1]))) * 100) / 16) - 25600);
   }else{
      data[0] &= 0x0F; /* Clear flag bits */
      return (decimal) ((((unsigned long int)(data[0]<<8 | (data[1]))) * 100) / 16);
   }
}
```

Zdrojový kód č. 6.6 – Zdrojový kód opraveného výpisu hodin na displej Tower System-u

```
void Time_HM ( unsigned int hours, unsigned int minutes ) {
/* Výpis hodín - vstupom je počet hodín od 0 do 23, počet minút od 0 do 59.
   Na displeji sa zobrazujú v 12 hodinovom formáte ( AM / PM ). Znak dvojbodky bliká. */

   if ( (hours > 23) || (minutes > 59) ) return;
   if ( hours > 11 ) {        /* oprava kodu, 11AM -> 12PM --->11PM - > 12AM */
      if( hours > 12 ) hours -= 12;
      AM_off;
      PM_on;
   }
   else {
      if ( !hours ) hours = 12;
      AM_on;
      PM_off;
   }


   Num_small( hours*100 + minutes );
   if ( !hours ) Write_char( '0', 1 );
   if ( minutes < 10 ) Write_char( '0', 2 );

   COL_blink_on;

}
```

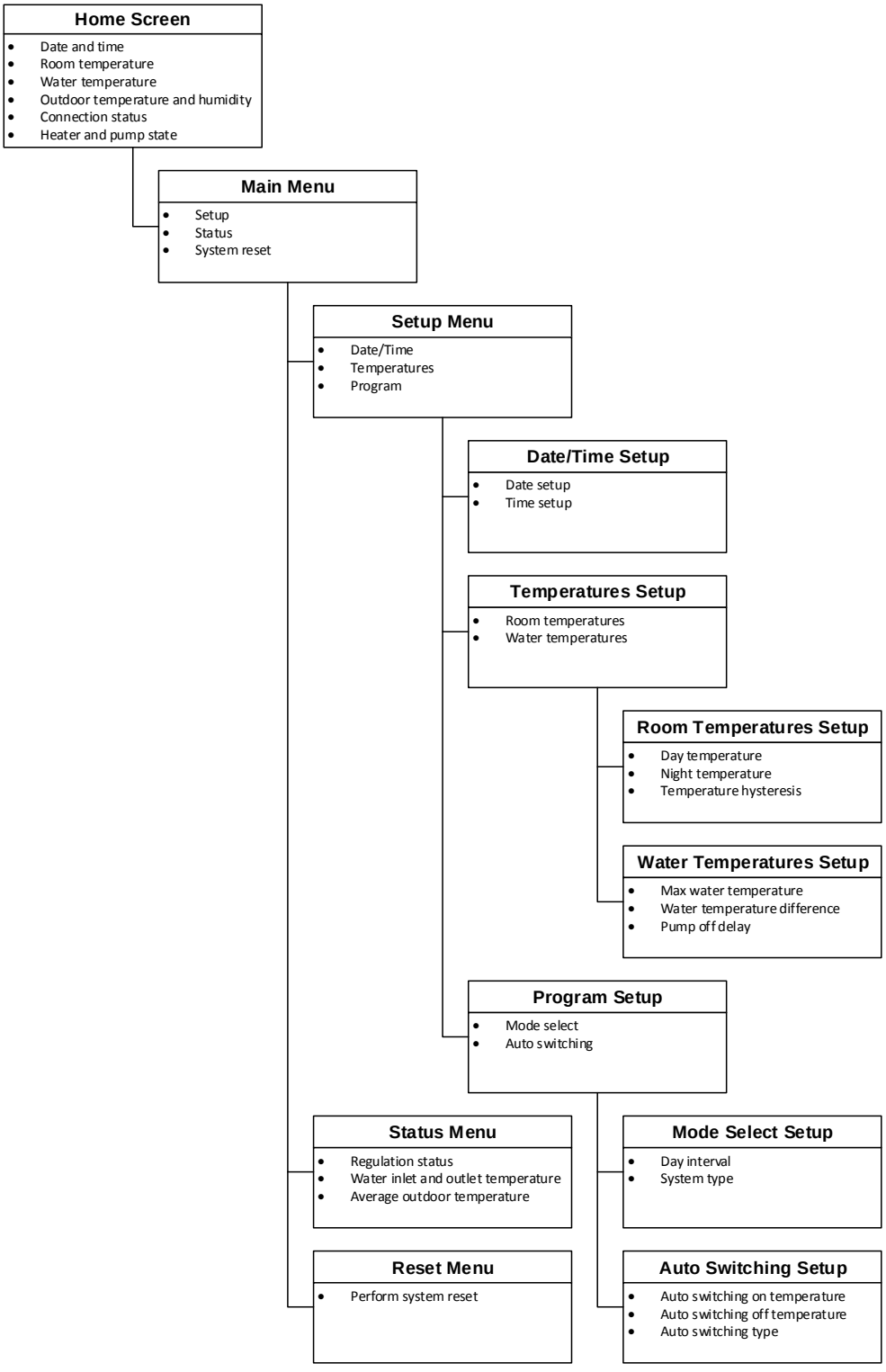
Zdrojový kód č. 6.7 – Algoritmus řízení topení

```
void Thermostat(void)
{
	setHeating();
	if(HeatingEnabled)
	{
		if(systTypeGas)
		{
			if (Heater && ((Room_Temp > (RegulateToTemp + RegulationHyst/2))
|| (Water_Out_Temp > (RegulateToMaxWaterTemp + maxWaterTempHyst/2))))
			{
				setHeater_State(false);
				pumpEnable = false;
				pumpDelayEnable = true;
			}
			else if(~Heater && ((Room_Temp <= (RegulateToTemp - RegulationHyst/2))
&& (Water_Out_Temp <= (RegulateToMaxWaterTemp - maxWaterTempHyst/2))))
			{
				setHeater_State(true);
				pumpEnable = true;
			}
		}
		else
		{
			if(Room_Temp <= (RegulateToTemp - RegulationHyst/2))
			{
				pumpEnable = true;
			}
			else if(Room_Temp > (RegulateToTemp + RegulationHyst/2))
			{
				pumpEnable = false;
				pumpDelayEnable = true;
			}
		}

		if (~Pump && ((Water_Out_Temp - Water_Return_Temp >= WaterDiff + WaterDiffHyst/2)
|| (Water_Out_Temp - Water_Return_Temp <= WaterDiff - WaterDiffHyst/2)) && (pumpEnable
|| pumpDelayEnable) )
		{
			setPump_State(true);
		}
		else if (Pump && ((Water_Out_Temp - Water_Return_Temp < WaterDiff
+ WaterDiffHyst/2) && (Water_Out_Temp - Water_Return_Temp > WaterDiff - WaterDiffHyst/2))
&& pumpEnable)
		{
			pumpDelayEnable = true;
		}
		else if (!(pumpEnable || pumpDelayEnable))
		{
			setPump_State(false);
		}
	}

	if(~Pump && (Water_Out_Temp >= RegulateToMaxWaterTemp))
	{
		setPump_State(true);
		setHeater_State(false);
	}
	if(~Heater && (Room_Temp <= ROOMTEMP_MIN))
	{
		setHeater_State(true);
		setPump_State(true);
	}
	if(Heater)
	{
		setPump_State(true);
	}



}
```

Zdrojový kód č. 6.8 – Stavový automat pro sériovou komunikaci

```
void SCIRead(void)
{
	byte headerBuffer[6], dataBytes, registerAddress, task, dataBuffer[SCI_BUFFER_LENGHT-6];
	ADDRESS srcAddress;
	bool useData = false;

	(void)memcpy(headerBuffer, &SCI_RxDataBuffer, 6 * sizeof(*SCI_RxDataBuffer));
	if (headerBuffer[0] == LOCAL_TERM_ADDR)
	{
		if (CRC(headerBuffer, 5) == headerBuffer[5])
		{
			srcAddress = headerBuffer[1];
			task = headerBuffer[2];
			registerAddress = headerBuffer[3] - nullvalue;
			dataBytes = headerBuffer[4] - nullvalue;
			switch (task)
			{
			case NA: break;
			case RING: SCIRingACK(srcAddress); break;
			case ACK: SCIACKCheck(srcAddress, registerAddress); break;
			case NACK: SCIRetransmit(); break;
			case RTX: SCIRetransmit(); break;
			case ERR: break;
			case GET: SCISendMeas(srcAddress, registerAddress); break;
			case SET: useData = true; break;
			case ANS: useData = true; break;
			case RST: SCIResetSyst(srcAddress); break;
			case LOCK: SCIDisconnect(srcAddress); break;
			case DISCONN: break;
			case SERGET: useData = true; break;
			case SERANS: useData = true; break;
			case SERSET: useData = true; break;
			default: SCISendERR(srcAddress, registerAddress); break;
			}
			if (dataBytes != 0 && useData)
			{
			(void)memcpy(dataBuffer, &SCI_RxDataBuffer[6], (SCI_BUFFER_LENGHT - 6) *
sizeof(*SCI_RxDataBuffer));
				if (CRC(dataBuffer, dataBytes) == dataBuffer[dataBytes])
				{
					switch (task)
					{
					case SET:
						SCISet(srcAddress, registerAddress, dataBuffer);
						break;
					case ANS: break;
					case SERGET:
						SCISerGet(srcAddress, dataBytes, dataBuffer);
						break;
					case SERANS: break;
					case SERSET:
						SCISerSet(srcAddress, dataBytes, dataBuffer);
						break;
					default: break;
					}
				}
				else
				{
					SCIRTX(srcAddress, registerAddress);
				}
			}
		}
	}
	SCIS_SCISDRX = 0;
}
```

D STRUKTURA MENU UŽIVATELSKÉHO ROZHRANÍ



Obrázek č. 6.2 – Struktura menu uživatelského rozhraní