

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2017

Bc. Patrik Szalay



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

REALIZACE TERMINÁLU PRO VZDÁLENOU VIZUALIZACI A OVLÁDÁNÍ OBYTNÉHO DOMU

TERMINAL FOR REMOTE VISUALIZATION AND CONTROL CONDITIONS IN THE HOUSE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Patrik Szalay

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Petyovský, Ph.D.

BRNO 2017

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Patrik Szalay

ID: 154882

Ročník: 2

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Realizace terminálu pro vzdálenou vizualizaci a ovládání obytného domu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Úkolem studenta je navázat na výsledky bak. práce [1]. Původní systém nově přepracovat a modernizovat, tak aby umožňoval vzdálené ovládání a vizualizaci parametrů prostředí obytného domu.

1. Na základě výsledků bak. práce [1] definujte omezující vlastnosti původního zařízení.
2. Navrhněte novou koncepci zařízení tak, aby umožňovala vzdálené ovládání a vizualizaci. Zvažte doplnění o další funkcionality, nová čidla a akční členy.
3. Navrhněte hierarchickou strukturu nového zařízení.
4. Vhodně zvolte jednotlivé komponenty nového zařízení.
5. Implementujte měřicí algoritmy do vzdálených komponent a oživte je.
6. Realizujte firmware vzdálené vizualizační a ovládací jednotky.
7. Ověřte funkčnost celého zařízení v reálném nebo simulovaném provozu.
8. Zhodnoťte dosažené výsledky a navrhněte další možná vylepšení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] SZALAY, P.: Terminál pro vizualizaci a ovládání podmínek v obytném domě. Brno: VUT v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 62s.

[2] SURYADEVARA, Nagender Kumar. Smart homes: design, implementation and issues. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2014, ISBN 9783319135564.

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 15.5.2017

Vedoucí práce: Ing. Petr Petyovský, Ph.D.

Konzultant:

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

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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 diplomová práce se zabývá modifikací již existujícího zařízení pro řízení vytápěcího systému rodinného domu. Původní návrh vychází z vlastní bakalářské práce Terminál pro vizualizaci a ovládání podmínek v obytném domě. Úpravy jsou založeny na poznatcích z testovacího provozu a nedostatků zjištěných z každodenního provozu. I zde je kladen důraz na jednoduché provedení, nízké pořizovací ceny a dlouhou životnost výsledného zařízení. Nově navrhnuté bezdrátové jednotky nahradí původní drátově připojené snímače – stejně, jako řídicí jednotku existujícího zařízení z prototypového systému nahradí nová bezdrátová centrální jednotka. Jako ovládací panel této jednotky zůstane zachován alfanumerický displej s ovládacími tlačítky. Bezdrátová centrální jednotka se připojí pomocí sériového komunikačního rozhraní k vizualizační a ovládací jednotce, která rozšíří nabízené možnosti systému pro řízení vytápění.

KLÍČOVÁ SLOVA

regulace, vizualizace, vytápění, inteligentní domácnost, obytné podmínky, mikrokontrolér, embedded systém, HCS08, Raspberry Pi, Universal Windows Platform

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the modification of an existing device for controlling the heating system of the house. The original proposal builds on my bachelor thesis Terminal for visualization and control conditions in a house. Adjustments are based on the findings of the test operation and the deficiencies found in everyday operations. Here, the emphasis is on simple design, low acquisition cost and durability of the resulting device. Newly designed wireless units will replace the original wired sensors, as well as the control unit of the existing device based on the prototype system will be replaced with a new wireless central unit. The alphanumeric display with control buttons will remain as the control panel of this unit. The wireless central unit is connected via a serial communication interface to the visualization and control unit, which extends the offered options of the heating control system.

KEYWORDS

control, visualization, heating, intelligent house, living conditions, microcontroller, embedded system, HCS08, Raspberry Pi, Universal Windows Platform

SZALAY, P. *Realizace terminálu pro vzdálenou vizualizaci a ovládání obytného domu*.
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních
technologií, 2017. 70 s. Vedoucí práce: Ing. Petr Petyovský, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Realizace terminálu pro vzdálenou vizualizaci a ovládání obytného domu“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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 15. května 2017

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

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

V Brně dne 15. května 2017

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam grafů.....	9
Seznam obrázků.....	10
Seznam tabulek	12
Úvod	13
1 Původní řešení.....	14
1.1 Hardware původního řešení	14
1.2 Náměty na vylepšení.....	15
1.3 Shrnutí požadavků na nový návrh.....	16
2 Obvodový návrh nového zařízení.....	18
2.1 Hierarchie nové koncepce.....	18
2.2 Bezdrátová komunikace.....	18
2.2.1 Modul bezdrátové komunikace.....	20
2.3 Modulární snímače veličin.....	24
2.3.1 Snímač vlastností ovzduší – Bosch BME 280	24
2.3.2 Snímač teploty a vlhkosti HTU21D.....	25
2.3.3 Snímač intenzity slunečního záření TSL2561.....	26
2.3.4 Snímač teploty topné vody MCP9808	27
2.4 Bezdrátová centrální jednotka.....	27
2.4.1 MCU bezdrátové centrální jednotky.....	28
2.4.2 LCD displej bezdrátové centrální jednotky	30
2.4.3 Vstupy a výstupy bezdrátové centrální jednotky	30
2.4.4 Obvod reálného času (RTC)	31
2.4.5 Převodník USART – RS232	31
2.4.6 Snímače bezdrátové centrální jednotky	31
2.4.7 Napájení bezdrátové centrální jednotky	32
2.5 Bezdrátová jednotka na snímání veličin	32
2.5.1 MCU bezdrátové jednotky na snímání veličin	32
2.5.2 Napájení bezdrátové jednotky na snímání veličin	33
2.6 Bezdrátová jednotka akčních členů.....	34
3 Návrh hardware nového zařízení	35
3.1 Deska plošných spojů.....	35
3.2 Návrh úložných krabiček	37
3.3 Osazení a oživení desek	38

3.4	Výsledek návrhu hardwaru zařízení.....	39
4	Návrh firmware.....	40
4.1	Bezdrátová komunikace	40
4.1.1	Komunikační datagram.....	40
4.1.1.1	Šifrování, adresace a filtrace komunikace	41
4.1.1.2	Adresace zařízení.....	41
4.2	Bezdrátová centrální jednotka.....	42
4.2.1	Firmware bezdrátové centrální jednotky	43
4.2.1.1	Datový registr bezdrátové centrální jednotky System Register	43
4.2.1.2	Zachování uživatelských nastavení bezdrátové centrální jednotky...	43
4.2.2	Řídicí algoritmus vytápění.....	44
4.2.2.1	Regulace teplot v místnostech	44
4.2.2.2	Možnosti řízení kotle	44
4.2.2.3	Ovládání oběhového čerpadla topné vody	45
4.2.2.4	Pozastavení vytápění při otevření oken	45
4.2.2.5	Zahájení a ukončení vytápěcího období	45
4.2.2.6	Ochrana proti přehřátí vody v systému a proti zamrznutí	45
4.2.3	Uživatelské rozhraní centrální jednotky	46
4.2.4	Nastavení jasu displeje.....	46
4.2.5	Připojení k vizualizační a ovládací jednotce.....	47
4.2.5.1	Komunikační protokol pro komunikaci se vzdálenou vizualizační a ovládací jednotkou	47
4.3	Bezdrátové jednotky	50
4.3.1	Měření veličin	50
4.3.1.1	Měření napětí baterie	50
4.3.2	Režim STOP3 mikrokontroléru	51
4.4	Spotřeba bateriových modulů	52
5	Vzdálená vizualizační a ovládací jednotka.....	55
5.1	Hardware vzdálené vizualizační a ovládací jednotky	55
5.2	Uživatelská aplikace vzdálené vizualizační a ovládací jednotky.....	57
5.2.1	Vzhled uživatelské aplikace.....	57
5.2.1.1	Obrazovka stavů systému	58
5.2.1.2	Obrazovka nastavení parametrů vytápění	59
5.2.1.3	Obrazovka systémových nastavení vzdálené jednotky	61
5.2.2	Korekce naměřeného atmosférického tlaku.....	62
5.2.2.1	Získání přesné nadmořské výšky.....	63

5.2.3	Výpočet teploty rosného bodu	63
6	Ověření funkčnosti zařízení	65
6.1	Ověření funkčnosti bezdrátových modulů	65
6.1.1	Dosah bezdrátových jednotek	65
6.1.2	Přesnost měření snímačů	65
6.2	Ověření funkčnosti vzdálené vizualizační a ovládací jednotky	67
6.3	Další možná vylepšení systému	68
7	Závěr	69
	Literatura	71
	Seznam symbolů, zkratk a veličin	77
	Přílohy	80

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 6.1 – Teplotní charakteristika snímače HTU21D	66
Graf č. 6.2 – Charakteristika měření vlhkosti snímače HTU21D.....	67

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1.1 – Hierarchie původního řešení systému	15
Obrázek č. 1.2 – Fotografie původního řešení systému.....	15
Obrázek č. 2.1 – Schéma nové hierarchie systému.....	18
Obrázek č. 2.2 – Bezdrátový komunikační modul RFM69HW	21
Obrázek č. 2.3 – Datagram paketové komunikace s proměnlivou délkou modulu RFM69HW [8].....	22
Obrázek č. 2.4 – Schéma bezdrátového modulu RFM69HW.....	23
Obrázek č. 2.5 – Snímač BME280	25
Obrázek č. 2.6 – Snímač teploty a vlhkosti HTU21D	26
Obrázek č. 2.7 – Snímač intenzity světla TSL2561	26
Obrázek č. 2.8 – Snímač teploty MCP9808.....	27
Obrázek č. 2.9 – Rozložení pinů mikrokontroléru MC9S08QE64.....	29
Obrázek č. 2.10 – Programovací rozhraní BDI	30
Obrázek č. 2.11 – Rozložení pinů mikrokontroléru MC9S08QE64.....	33
Obrázek č. 3.1 – Zapojení vstupně-výstupní části zařízení.....	37
Obrázek č. 3.2 – Návrh plastové krabičky centrální jednotky	38
Obrázek č. 3.3 – Nový vytvořený systém	39
Obrázek č. 4.1 – Náhled uživatelského rozhraní centrální jednotky	46
Obrázek č. 4.2 – Datagram komunikačního protokolu	48
Obrázek č. 4.3 – Detail paketu komunikačního protokolu	48
Obrázek č. 4.4 – Průběh navázání komunikace mezi zařízeními	49
Obrázek č. 4.5 – Příklady řešení chybových stavů při komunikaci.....	50
Obrázek č. 5.1 – Vzdálená vizualizační a ovládací jednotka.....	56
Obrázek č. 5.2 – Domovská stránka uživatelské aplikace	57
Obrázek č. 5.3 – Detail navigačního panelu uživatelské aplikace.....	58
Obrázek č. 5.4 – Detail obrazovky měření ovzduší	59
Obrázek č. 5.5 – Detail obrazovky "Commissioning" – nastavení teplot.....	59
Obrázek č. 5.6 – Detail obrazovky "Commissioning" – nastavení systému.....	60
Obrázek č. 5.7 – Obrazovka nastavení vzdálené jednotky	61

Obrázek č. 5.8 – Příklad odpovědi serveru pro zjištění přesné nadmořské výšky ve formátu JSON	63
Obrázek č. 6.1 – Vlnění napětí zdroje napájení sériové linky USB převodníku	68

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 2.1 – Kmitočty a podmínky jejich využívání k provozování zařízení krátkého dosahu [7]	19
Tabulka č. 2.2 – Popis pinů bezdrátového modulu RFM69HW	23
Tabulka č. 2.3 – Parametry mikrokontroléru MC9S08QE64	28
Tabulka č. 2.4 – Parametry mikrokontroléru MC9S08QE8	32
Tabulka č. 4.1 – Adresace bezdrátových zařízení	42
Tabulka č. 4.2 – Popis jednotlivých kombinací bitů adresy bezdrátového zařízení	42
Tabulka č. 4.3 – Popis polí paketu komunikačního protokolu	48
Tabulka č. 5.1 – Parametry embedded jednodeskového počítače Raspberry Pi 3 Model B	55
Tabulka č. 5.2 – Parametry dotykového sedmipalcového kapacitního LCD displeje Raspberry Pi.....	56

ÚVOD

Obsah diplomové práce přímo navazuje na moji vlastní práci Terminál pro vizualizaci a ovládání podmínek v obytném domě, vytvořenou v rámci bakalářské práce Ústavu automatizace a měřicí techniky Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně [1]. V předchozí práci jsem se zabýval návrhem a vytvořením takového zařízení pro vizualizaci a ovládání vytápění obytného domu, které se vyznačuje lepšími vlastnostmi, větší modularitou a nižší cenou než běžné komerčně dostupné zařízení. Takto navržené zařízení bylo schopno pokrýt požadavky kladené při začátku návrhu a po více než ročním testovacím provozu se ukázalo jako vhodné řešení. Ovšem vytvořený prototyp obsahoval i jisté chyby – jako například maximální vzdálenost snímačů od centrální jednotky, omezení měřitelných veličin a malý rozsah konfigurovatelnosti. Největším nedostatkem tohoto řešení byla chybějící existence vlastního navrženého hardwaru, čímž se ve vysoké míře omezila možnost rozšíření.

Vzhledem k vlastním zkušenostem, vytvořených knihoven a spokojenosti s hardware firmy NXP (dříve Freescale), přesněji mikroprocesorové řady HCS08, bylo rozhodnuto o dalším použití mikrokontrolérů této řady v rozšíření již zmíněné práce.

V dnešní době velká škála zařízení existuje s bezdrátovou technologií, což nejenom usnadňuje instalaci zařízení, ale taky otevírá širokou nabídku možností, které by nebylo možné realizovat bez využití této technologie.

Cílem této práce je modernizace původního řešení, které spočívá v návrhu nové hierarchie již stávajícího řešení, návrhu nového hardwaru s bezdrátovou komunikací a vylepšení existujících měřicích a regulačních algoritmů. Následně bude vybrána platforma pro vytvoření vzdálené vizualizační a ovládací jednotky, do které bude implementováno vhodné uživatelské rozhraní, která může být po rozšíření využita jako centrální jednotka chytré domácnosti. Výstupem práce je realizace návrhů, vytvoření firmware, jako pro dílčí bezdrátové jednotky, tak i pro centrální bezdrátovou jednotku a vzdálenou vizualizační a ovládací jednotku.

V této práci jsou opětovně kladeny požadavky na nízkou cenu vyvinutého zařízení, jednoduchost připojení do již existujících systémů obytného domu a jednoduchost provozování a konfigurace zařízení obsluhou.

1 PŮVODNÍ ŘEŠENÍ

Původní řešení terminálu pro řízení vytápění bylo sestaveno z centrální jednotky s LCD displejem a tlačítky, uživatelského panelu také s displejem a tlačítky doplněné o reléové výstupy pro připojení ovládaných zařízení a z modulů snímačů v drátovém provedení na sběrnici I²C (*Inter-Integrated Circuit*).

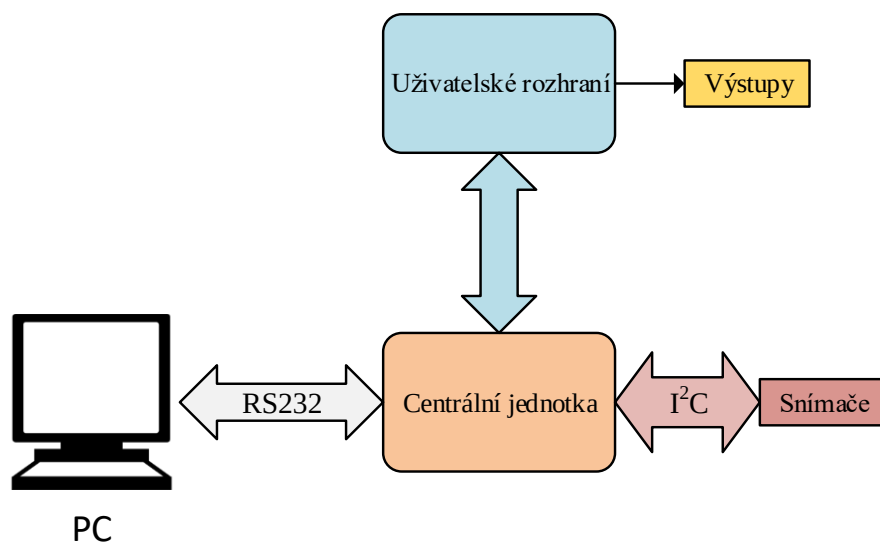
1.1 Hardware původního řešení

Hardware prototypu vypracovaného v bakalářské práci bylo založeno na vývojovém Tower systému od firmy Freescale Semiconductor. Využití tohoto systému usnadnilo práci tím, že s návrhem základních napájecích a periferních obvodů pro mikroprocesor, LCD displej, ovládacími a komunikačními prvky se nebylo nutno zabývat.

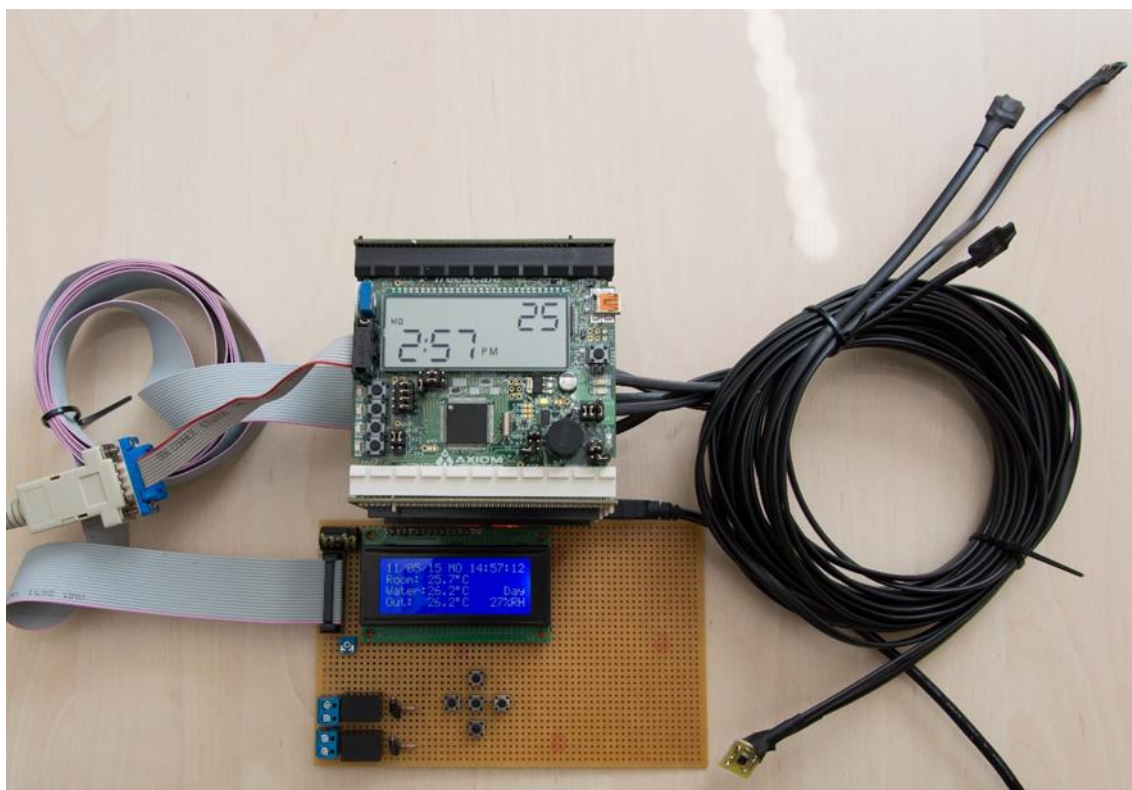
Centrální jednotka obsahuje 8 bitový mikroprocesor typu MC9S08LH64 z rodiny HCS08 od firmy Freescale. Rodina používaných procesorů byla navržena na zdravotnické a měřicí aplikace s nízkou spotřebou. Díky kombinace relativně nízké ceny a poměrně velké paměti FLASH a RAM, volba mikroprocesoru z dané rodiny je nadále vhodným řešením [2].

Z důvodu malé zobrazovací kapacity LCD displeje, který je součástí Tower Systému, bylo potřeba zvolit vhodné řešení pro zobrazování stavů řídicího terminálu. Uživatelský panel byl doplněn o alfanumerický displej o rozměru 4x20 znaků. Tento displej poskytuje již velký rozsah zobrazitelných hodnot.

Snímače jsou připojeny k centrální jednotce pomocí 4 žilových kabelů – napájení a sběrnice I²C. Typická maximální vzdálenost na dané sběrnici při rychlosti 300–400 kHz je 2,5–3 m, při nižších rychlostech je možné dosáhnout i větší vzdálenosti, ale ovšem vždy je potřeba uvažovat i o celkové zátěži vedení (kabelu), která je závislá na kapacitě vedení a hodnotě pull-up rezistorů [3].



Obrázek č. 1.1 – Hierarchie původního řešení systému



Obrázek č. 1.2 – Fotografie původního řešení systému

1.2 Náměty na vylepšení

Jak již bylo zmíněno, zařízení prošlo přibližně dvouletým testovacím provozem. Provoz odhalil několik nedostatků a ukázal možnosti nového potenciálu tohoto zařízení.

Základní myšlenkou popisovaných vylepšení je přidání bezdrátových modulů, čímž dojde k rozšíření možností nabízených tímto systémem. Přidání bezdrátových modulů umožní umístění snímačů do větších vzdáleností od centrální jednotky, což usnadní pozdější modifikaci celkového systému. Pomocí bezdrátových modulů je možné zachovat přenášení dat ve stejném formátu, jak to bylo i v původním řešení na rozhraní sériové linky. Tím se úpravy zjednoduší, není potřeba navrhovat nový komunikační protokol.

Zavedením bezdrátové komunikace se komplikuje problematika napájení a spotřeby modulů. Bezdrátové moduly obvykle mají velkou spotřebu, a při použití napájení z baterií je potřeba tyto moduly nastavit tak, aby byly aktivní v nejkratší možné době, tj. pouze při komunikaci. Tím je možné ušetřit na spotřebě bezdrátového modulu. Samozřejmě i ostatní komponenty použité v bezdrátových modulech musí mít co nejnižší spotřebu, aby bylo možné dodržet požadavek na zvýšení životnosti bateriového zdroje.

Dalším námětem na vylepšení je možnost snímání více veličin bezdrátovými moduly. Pro nejširší spektrum měřených hodnot je zapotřebí přidání dalších snímačů. Dalšími veličinami jsou například hodnota atmosférického tlaku, intenzita světla, rychlost větru, resp. otevření oken, dveří atp. Snímače budou přidány jako dílčí moduly, připravené na použití, vybavené s již ověřeným a robustním I²C rozhraním. Jsou vhodnou volbou, protože jejich pořizovací cena je velmi nízká, a v případě potřeby jsou kdykoliv zaměnitelné na jiný typ snímače.

Pro co nejpohodlnější ovládání domu je vhodné, aby centrální bezdrátová jednotka mohla ovládat i víc vzdálených zařízení. Vzhledem k tomu, že ovládané akční členy potřebují napájení, připojené bezdrátové moduly mohou využít napájecí zdroje akčních členů.

1.3 Shrnutí požadavků na nový návrh

Jak již bylo zmíněno, původní verze byla vypracována na vývojovém Tower Systému. Využití tohoto systému na účely vývoje základních měřicích, řídicích a komunikačních algoritmů je výborné, ale z hlediska rozměrů, a pro danou aplikaci nevyužitých periférií (jak je např. akcelerometr) je pro cílovou aplikaci nevhodné. Proto je potřeba navrhnout nové desky plošných spojů (DPS). Nové DPS budou obsahovat pouze prvky potřebné ve výsledné aplikaci. Návrh nových DPS umožňuje také umístění každé potřebné

periférie na jeden modul, a tím se odstraní potřeba použití rozšiřujících prototypových desek. Změny nutné pro další vývoj je možné shrnout do následujícího seznamu:

- Návrh nové hierarchie celého zařízení.
- Implementace bezdrátové komunikace mezi centrální řídicí jednotkou a vzdálenými moduly.
- Náhrada čipových snímačů modulárními snímači s komunikačním rozhraním I²C (odstraní se problém návrhu různých DPS pro každý typ snímače).
- Rozšíření počtu měřených a řízených veličin.
- Zapouzdření jednotlivých modulů do vhodných krabic.
- Dlouhá životnost bateriových modulů.

Celá následující kapitola se podrobně věnuje jednotlivým změnám.

2 OBVODOVÝ NÁVRH NOVÉHO ZAŘÍZENÍ

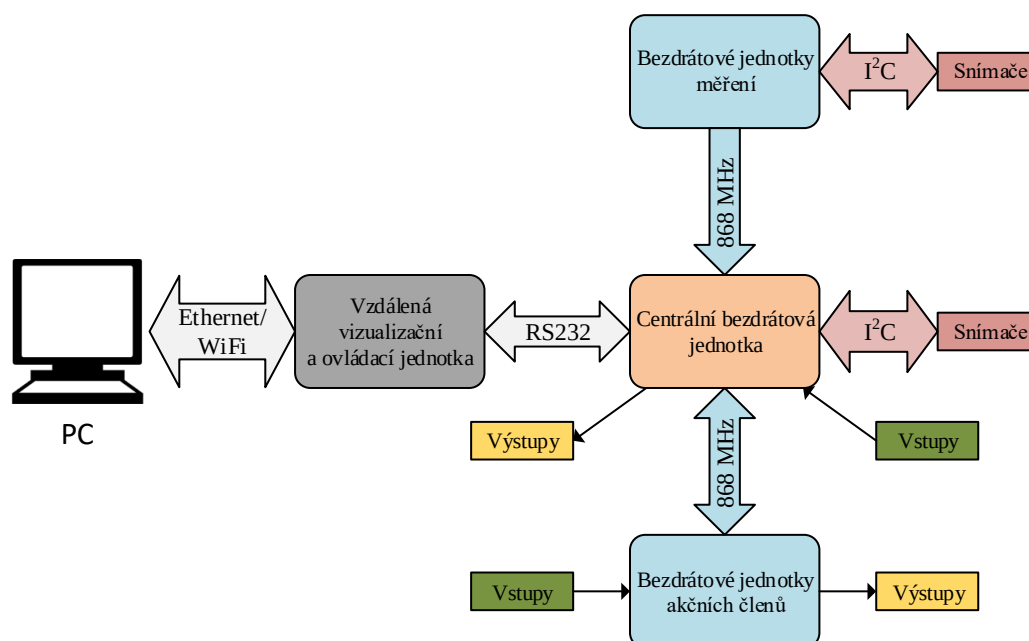
Jednotlivé změny původního návrhu a volba nových součástí jsou popsány v této kapitole.

2.1 Hierarchie nové koncepce

Na základě zmíněných požadavků byla navržena nová koncepce systému. Nová hierarchie umožňuje pozdější rozšíření systému na základě možných dalších požadavků.

Základ nové hierarchie spočívá na tzv. Master-Slave modelu, kde řízení celého systému zaručuje centrální jednotka („Master“). K ní se pomocí bezdrátové komunikace připojují další jednotky („Slave moduly“). Tyto moduly jsou vstupně-výstupními moduly nového systému. Umožňují snímání jednotlivých veličin, jako jsou například teplota, vlhkost, tlak atp., snímání otevření oken, dveří (dvoustavově), nebo řízení akčních členů.

Obrázek č. 2.1 znázorňuje nově navržené schéma systému.



Obrázek č. 2.1 – Schéma nové hierarchie systému

2.2 Bezdrátová komunikace

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, v nové koncepci zařízení je požadavkem bezdrátové spojení jednotlivých součástí zařízení. Jedná se o základ komunikace v celém

systemu, která bude realizována použitím bezdrátové komunikace v bezlicenčním ISM pásmu. Pásmo ISM (z anglické zkratky slov *industrial, scientific a medical*) jsou pásma pro rádiovou komunikaci použita v průmyslovém, vědeckém nebo zdravotnickém oboru. Jsou to pásma volná, což znamená že je v nich při použití zařízení povolen provoz bez licenčních poplatků, avšak bez garance proti rušení. Podmínky pro provoz takových zařízení jsou stanoveny Českým telekomunikačním úřadem vydanými tzv. generálními licencemi (GL-12/R/2000, případně GL-30/R/2000). Bezlicenční pásma používají např. radioamatéři nebo vysílačky RC modelů apod., vedle těchto využití se využívají také komerčně [4][6].

Tabulka č. 2.1 – Kmitočty a podmínky jejich využívání k provozování zařízení krátkého dosahu [7]

Pásmo	Oblasti použití
27 MHz	Provozování je možné podle VO-R/10/05.2014-3.
49 MHz	Provozování není přípustné (zařízení ruší rozhlasovou službu a necivilní aplikace).
230–400 MHz	Pásmo je vyhrazeno pro účely obrany státu – žádný civilní provoz není přípustný.
433 MHz	Provozování je možné podle VO-R/10/05.2014-3. (pouze přenos dat; bezdrátová sluchátka nejsou povolena).
470–789 MHz, 823–832 MHz	Provozování bezdrátových mikrofónů je možné podle VO-R/10/05.2014-3.
789–823 MHz, 832–862 MHz	Provozování bezdrátových mikrofónů není od 1. 1. 2013 povoleno.
863–865 MHz	Provozování akustických aplikací je možné podle VO-R/10/05.2014-3.
868–870 MHz	Provozování je možné podle VO-R/10/05.2014-3.
870–960 MHz	Pásmo provozu mobilních telefonů (GSM) – provozování jiných aplikací není přípustné.
1,2 GHz	V Evropě není možné pro zařízení krátkého dosahu využívat.
1785–1800 MHz	Nové pásmo uvolněné podle VO-R/10/05.2014-3. pro bezdrátové mikrofony.
2,4 GHz	Provozování (RLAN, RFID, zařízení krátkého dosahu) je možné podle VO-R/12/09.2010-12 nebo VO-R/10/05.2014-3.

Jak Tabulka č. 2.1 znázorňuje, pro využití v této realizaci je možné použití pouze frekvenčních pásem 433 MHz, 868–870 MHz nebo 2,4 GHz. Nové všeobecné oprávnění č. VO-R/10/11.2016-13[6] k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu dále upřesňuje využití těchto frekvenčních pásem. Na základě zjištěných poznatků z uvedeného oprávnění pro danou aplikaci bylo zvoleno frekvenční pásmo 868–870MHz. Rozhodovacím faktorem byl vysílací výkon, z důvodu zvýšení dosahu bezdrátových jednotek.

2.2.1 Modul bezdrátové komunikace

Z bezdrátových modulů vhodných pro komunikaci v uvedeném frekvenčním pásmu na trhu nalezneme mnoho různých variant. Liší se různými vlastnostmi, od různých vysílacích výkonů, přijímacích citlivostí, po různé možnosti modulace (např. ASK – *Amplitude-Shift Keying* – amplitudová modulace; FSK – *Frequency-Shift Keying* – frekvenční modulace; a další doplňkové modifikace těchto modulací) a dalšími doplňujícími funkcemi. Důležitým parametrem pro výběr správného modulu bezdrátové komunikace kromě pořizovací ceny je i celková spotřeba modulu z důvodu použití v jednotce s bateriovým napájením.

Pro bezdrátovou komunikaci byly zvoleny moduly firmy HOPERF Electronic, typ RFM69HW (viz Obrázek č. 2.2) s možností nastavení nosné frekvence z rozsahu 315–915 MHz. Nabízejí široký rozsah možností modulace a různé další funkce, jak je např. paketová komunikace, adresace jednotlivých uzlů, kontrolní součet a šifrování dat a automatická detekce kolize. Tyto moduly jsou typu transceiver, umožňují obousměrnou half-duplex komunikaci. Jsou navrženy na použití v aplikacích s nízkou spotřebou, jejich napájecí napětí může být v rozmezí 1,8–3,6 V. Při vysílání typický odebíraný proud je 20–33 mA, ale při volbě vyšších výkonů může být i 130 mA. Pro trvalý přijímací mód je proudový odběr 16 mA. Při použití napájení z baterii je takový odběr nepřipustný, ale díky možnosti přepnutí modulu do režimu spánku se odběr modulu sníží na pouhých 0,1 μ A.



Obrázek č. 2.2 – Bezdrátový komunikační modul RFM69HW

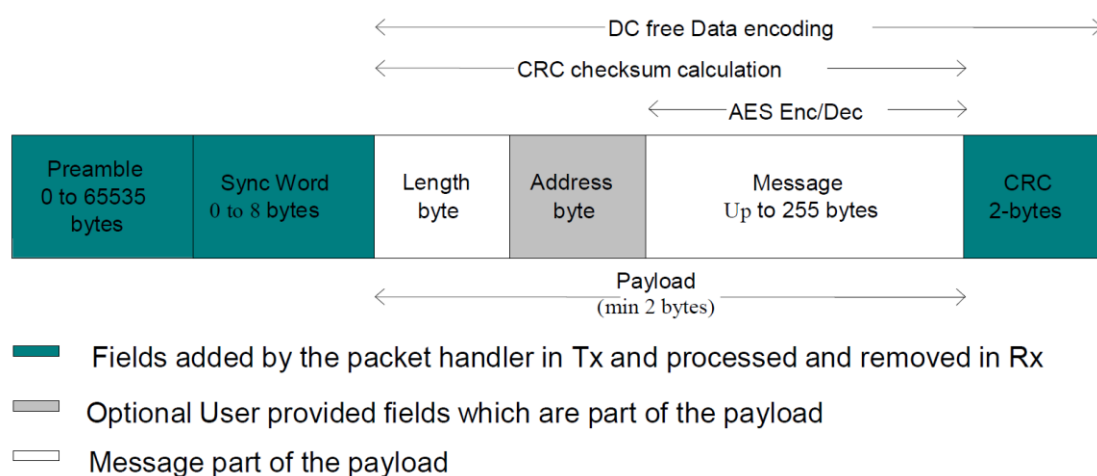
Pro komunikaci byla zvolena modulace typu FSK kvůli vyšší spolehlivosti oproti modulaci ASK [11]. Modul dále nabízí i další typy modulace: OOK (*On-Off Keying*) modulace je nejjednodušším typem ASK modulace, kde digitální data jsou zakódována pomocí prezenze nebo absence nosné frekvence, modulace MSK (*Minimum-Shift Keying*), kde se data zakódují pomocí půlky sinusové vlny, její modifikace GMSK (*Gaussian Minimum-Shift Keying*) kde datový tok je upraven Gaussovým filtrem, který omezuje intenzitu nežádoucích postranních pásem vznikajících při standardní FSK modulaci [8][9].

Zkratka HW ve značení typu modulu znamená modul s vyšším vysílacím výkonem oproti obyčejné variantě, schopen vysílat s výkonem až +20 dBm (100mW). Byl zvolen tento model z důvodu zanedbatelně malého cenového rozdílu vůči základnímu modulu.

Komunikace s modulem probíhá pomocí digitální sběrnice SPI (*Serial Peripheral Interface Bus*). Specifikace této komunikace je podrobně popsána v dokumentaci bezdrátového modulu [8]. Ke komunikaci je zapotřebí zapojení minimálně 4 vodičů, jedné datové linky MISO (*Master Input Slave Output*) a jedné linky MOSI (*Master Output Slave Input*), časový signál SCK (*Serial Clock*) a signál nSS (*Slave Select*), který udává, se kterým slave zařízením chce Master zařízení komunikovat. Modul nabízí celkem 6 vstupno-výstupních pinů, které je možné softwarově konfigurovat. Pro odstranění nutnosti pravidelného dotazování na stav přijatých dat, je vhodné využít jeden z pinů – nakonfigurovaný na signalizaci přijetí dat – zapojit na jeden vstupní pin mikroprocesoru. Tím v případě přijatých dat můžeme vyvolat přerušeni a přijatá data následně zpracovat [10].

Bezdrátový modul RFM69HW disponuje integrovaným zpracováním odesílaných i přijatých dat. Pro odeslání jakéhokoli paketu stačí mikroprocesorem odeslat po SPI sběrnici do modulu na patřičnou paměťovou adresu data. Data si modul sám zpracovává a vytvoří komunikační datagram na základě nastavení zvolených při inicializaci modulu.

Jak Obrázek č. 2.3 znázorňuje, samotný datagram se skládá z více částí. Byl zvolen typ paketu s proměnlivou délkou, kvůli různým datovým formátům použitých při komunikaci – odeslání číselných hodnot vyžaduje větší délku paketu než odeslání stavů.



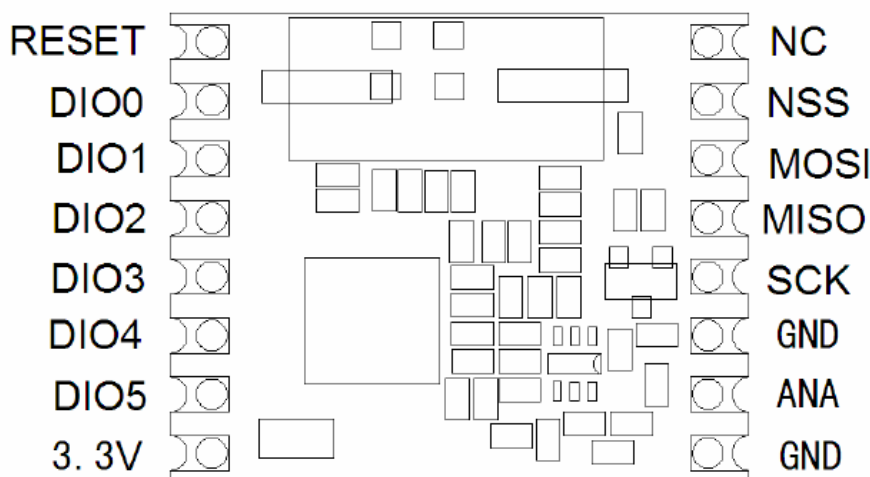
Obrázek č. 2.3 – Datagram paketové komunikace s proměnlivou délkou modulu RFM69HW [8]

Každý datagram začíná blokem Preamble. Jedná se o část zprávy, kterou detekuje bezdrátový přijímací modul a připravuje ho na přijetí dat. Skládá se ze střídajících se logických nul a jedniček. Dalším polem je synchronizační klíč, který umožňuje třídit data při příjmu modulem. Na základě tohoto klíče se modul rozhodne, jestli daný paket byl adresován pro něho, nebo ne. Pokud klíč souhlasí s uloženým klíčem v konfiguraci modulu, modul paket přijme, pokud nesouhlasí – paket zahodí. Umožňuje tak předběžnou filtraci dat, kterou již není potřeba vykonávat v mikrokontroléru. Délku pole Preamble a synchronizačního klíče je možné volit při konfiguraci modulu. Další pole je povinným polem, a obsahuje počet odeslaných dat v jednom paketu. Minimální délka paketu jsou tak 2 bajty. Na základě nastavení modul dále ještě paket zakončí CRC součtem, popřípadě zašifruje pomocí AES-128 šifrování. Pro adresaci zařízení v dané aplikaci je vhodné využít funkci modulu jako adresovaného uzlu. V tomto případě v každém dílčím bezdrátovém modulu je potřeba konfigurace adresy uzlu při inicializaci. Dále je potřeba, aby první bajt v paketu odesílaném z mikroprocesoru do bezdrátového modulu obsahoval

adresu cílového modulu. Přijímací zařízení takto připravený paket přijme pouze v případě, že adresa souhlasí s jeho adresou. V jiném případě celý paket zahodí. Pro účel signalizace shody adresy je možné nakonfigurovat jeden z pinů modulů a následně ho využívat jako pin přerušení.

Pro komunikaci je využit 66 bajtový FIFO (*First In, First Out*) zásobník modulu, který je možné postupně naplnit s daty k odeslání přes SPI sběrnici z mikrokontroléru, a následným přepnutím módu modulu na odesílání dat se zpráva zabalí do datagramu a odešle na základě nastavení.

Samotný modul je v provedení SMD (*Surface mounted device*) s roztečí 2 mm, celková velikost modulu je 16x19,7 mm. Popis pinů modulu po konfiguraci je uvedený v tabulce.



Obrázek č. 2.4 – Schéma bezdrátového modulu RFM69HW

Tabulka č. 2.2 – Popis pinů bezdrátového modulu RFM69HW

Pin	Funkce	Směr
RESET	Reset modulu (aktivní v 1)	I
DIO0	SyncAddress – shoda adresy	O
DIO1	FIFONotEmpty – data v zásobníku	O
DIO2, DIO5	Data – data připravena	O
DIO3	TxReady/RSSI – připraven na odesílání, kanál volný	O
DIO4	RxReady – připraven k příjmu dat	O
3.3 V	Napájení 1,8–3,6 V	-
NC	Připojeno k GND	-

NSS	Výběr Slave zařízení (aktivní v 0)	I
MOSI	SPI data	I
MISO	SPI data	O
SCK	SPI hodiny	I
GND	Zem	-
ANA	Připojení antény	-

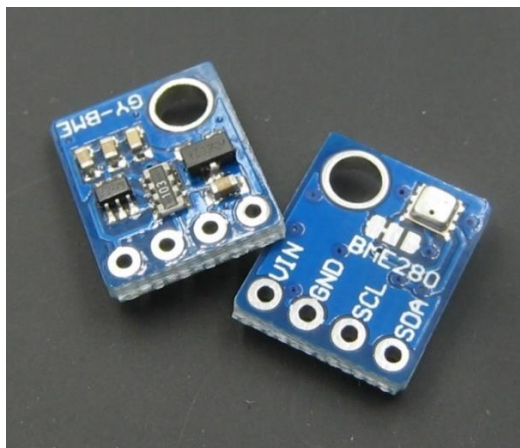
Kromě uvedených vlastností modul disponuje ještě dalšími funkcemi, jako je např. teplotní senzor. Z důvodu malé přesnosti ($\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) a nutnosti využití ADC převodníku přijímače, přičemž je blokována komunikace, nebude v systému teplotní senzor využit [8][12].

2.3 Modulární snímače veličin

Ke každé jednotce je možné připojit modulární snímače se sběrnici I²C. Bylo zvoleno opětovně rozhraní I²C, na základě zkušeností z bakalářské práce. Využitím datové sběrnice se odstraní možná chyba převodu hodnot při měření. Byly zvoleny také snímače, které mohou být napájeny s napětím v rozmezí 2–3,6 V bez potřeby úpravy napájecího napětí. Z důvodu jednoduché zaměnitelnosti byly vybrány tzv. modulové typy snímačů od firmy Adafruit [13]. Tyto moduly již obsahují veškeré důležité elementy k funkci snímače. Každý modul je opatřen minimálně s čtyřmi piny – dva napájecí a dvě datové linky, díky čemuž je možné jednoduše zapojit do měřicí aplikace. V některých případech moduly obsahují i další piny, které jsou využity na další funkce, jako jsou například varování nebo nastavení sběrnice adresy snímače. Jednotlivé zvolené snímače jsou podrobněji popsány v následujících podkapitolách

2.3.1 Snímač vlastností ovzduší – Bosch BME 280

Na měření teploty, tlaku a vlhkosti vzduchu byl zvolen kombinovaný miniaturní snímač BME 280 od firmy Bosch [14].



Obrázek č. 2.5 – Snímač BME280

Jedná se o společný snímač vlhkosti a tlaku s přesností $\pm 0,2$ Pa a ± 3 %RH (*RH*, *relative humidity* – relativní vlhkost). Jako doplněk má v sobě zabudovaný i snímač teploty s přesností $\pm 0,2$ °C. Každý modul je individuálně kalibrován ve výrobě, a kalibrační koeficienty jsou uloženy v interní paměti snímače. Tyto parametry je potřeba při inicializaci snímače vyčíst, jsou využity při převodu naměřené hodnoty na výslednou hodnotu teploty, tlaku nebo vlhkosti.

Snímač disponuje digitálním výstupem na I^2C sběrnici, s konfigurovatelnou adresou $0x76$ nebo $0x77$. Měření, co znamená převod naměřené analogové hodnoty na 24-bitovou digitální hodnotu a uložení do registru, trvá přibližně 11 ms. Spotřeba tohoto snímače je pouhých $5 \mu A$ pro měření jedné veličiny, a pouze $0,1 \mu A$ při režimu spánku, díky čemuž je tento snímač ideální volbou pro danou aplikaci.

2.3.2 Snímač teploty a vlhkosti HTU21D

Pro snímání pokojové teploty a vlhkosti je použitý miniaturní snímač *HTU21D* od firmy *Measurement Specialities* [15]. Snímač byl již použit v předchozí verzi systému, a osvědčilo se jako velmi kvalitní snímač zmíněných veličin. Jedná se o společný snímač teploty a vlhkosti s přesností $\pm 0,3$ °C a ± 3 %RH. Je opět plně kalibrován. Snímač má I^2C sběrniceovou adresu $0x80$ pevně danou, což znamená, že pouze jeden takový snímač může být na stejné sběrnici. Rychlost měření je přibližně 50 ms, a spotřeba snímače při měření je přibližně $450 \mu A$, ve spánku pouhých $0,02 \mu A$.



Obrázek č. 2.6 – Snímač teploty a vlhkosti HTU21D

2.3.3 Snímač intenzity slunečního záření TSL2561

Na měření intenzity světla, resp. intenzity slunečního záření byl zvolen snímač TSL2561 od firmy TAOS. [16]

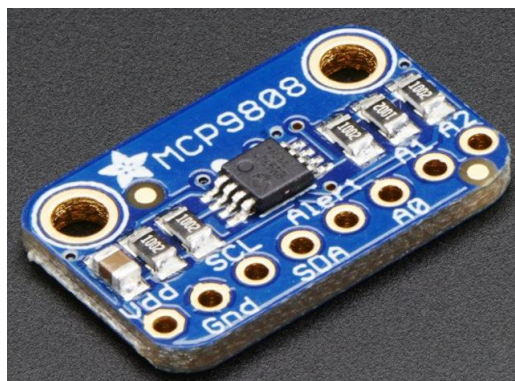


Obrázek č. 2.7 – Snímač intenzity světla TSL2561

Tento typ snímače umožňuje měření intenzity viditelné, ale i IR záření. Obsahuje dvě fotodiody a 16-bitový AD-převodník. Doba převodu trvá přibližně 100 ms. Přesnost převodu je možné volit, tím se zkrátí i doba převodu. Snímač je dostupný ve dvou variantách. Varianta TSL2560 disponuje digitální sběrnici SMBus, a varianta TSL2561 s I²C sběrníci, s konfigurovatelnou adresou 0x29, 0x39 nebo 0x49. Pro tuto aplikaci je zvolena varianta s I²C sběrníci. Spotřeba snímače při aktivním převodu je přibližně 0,25 mA, v režimu spánku jenom 5 μ A. Použití tohoto snímače má pouze informativní charakter pro uživatele, do regulace se nepředpokládá jeho žádný vliv.

2.3.4 Snímač teploty topné vody MCP9808

Na základě zkušeností z předchozí verze systému, snímač *MCP9808* od firmy *Microchip* [17] bude v této realizaci využit na kontaktní měření teploty topné vody i vody vracející se z topného oběhu.



Obrázek č. 2.8 – Snímač teploty MCP9808

Snímač měří s přesností $\pm 0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a přesnost měření je možné uživatelsky nastavit v rozmezí rozlišitelnosti $0,0625\text{ }^{\circ}\text{C} - 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Také se připojuje na I²C sběrnici, s možností nastavení tří bitů ze sběrnice adresy, a tím umožňuje připojení až 8 takových snímačů na jednu bezdrátovou jednotku. Jednou bezdrátovou jednotkou je tak možné měřit teplotu topné vody např. ve dvou místech. Jeden snímač může být pevně uložený v krabici bezdrátové měřicí jednotky a kontaktně připojen k potrubí, druhý snímač pomocí kabelu přilepen na další místo v topném systému. Spotřeba snímače MCP9808 je $200\text{ }\mu\text{A}$ při měření a $0,1\text{ }\mu\text{A}$ v režimu spánku.

2.4 Bezdrátová centrální jednotka

Úkolem bezdrátové centrální jednotky v dané realizaci je kromě řízení celého systému ještě sběr dat z externích modulů, následné zpracování a vykonání akčních zásahů. Centrální jednotka dále ještě obsahuje alfanumerický displej o velikosti 4x20 znaků s ovládacími tlačítky (celkem 5 tlačítek – čtyři směrové a jedno potvrzovací), snímač teploty a vlhkosti místnosti, snímač intenzity osvětlení, a kombinaci dvou relé nebo dvou stavových vstupů. Neoddělitelnou částí této jednotky je i modul reálného času s baterií pro zachování času pro případ výpadku napájecího napětí.

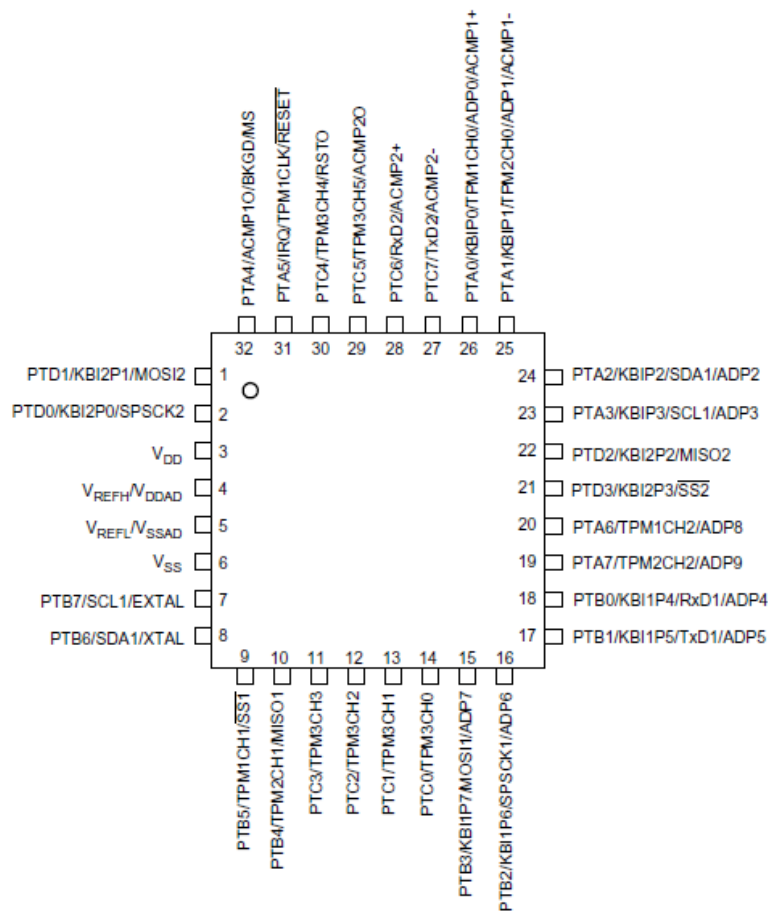
2.4.1 MCU bezdrátové centrální jednotky

Pro centrální jednotku byl zvolen mikroprocesor MC9S08QE64 z 8 bitové řady mikroprocesorů MC9 s architekturou HCS08 firmy NXP (původně Freescale). Jedná se o levnou, ale relativně výkonnou řadu mikrokontroléru (dále jen MCU) s nízkou spotřebou. Řada mikrokontroléru MC9 je navržena na aplikaci ve zdravotnictví, řízení vzduchotechniky a klimatizačních systémů, zabezpečovacích a měřicích aplikacích, prioritně v aplikacích s bateriovým napájením [18]. Z uvedených důvodů je vhodnou volbou pro danou aplikaci. Disponuje dostatečným počtem potřebných vstupně-výstupních pinů, periférií a modulů potřebných k realizaci dané aplikace. Výčet parametrů mikrokontroléru je uveden v následující tabulce.

Tabulka č. 2.3 – Parametry mikrokontroléru MC9S08QE64

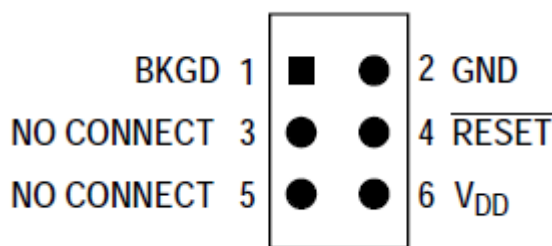
Modul	Vlastnost
Mikrokontrolér	8 bitový mikrokontrolér, 50,33 MHz maximální taktovací frekvence
Paměť FLASH	64 KB
Paměť RAM	4 KB
Piny	28 vstupně-výstupních pinů, 1 vstupní a 1 výstupní pin
TPM (<i>Timer/Pulse-Width Modulator</i>) modul	2 tříkanálové moduly a 1 šestikanálový modul
AD převodník	12 bitový s 10 nediferenciálními vstupy
I ² C (<i>Inter-Interrupted Circuit</i>) rozhraní	1 rozhraní
SPI (<i>Serial Peripheral Interface</i>) rozhraní	2 rozhraní
SCI (<i>Serial Communications Interface</i>) rozhraní	2 kanály
KBI (<i>Keyboard Interrupt</i>)	16 klávesových vstupů (možno využít na přerušení)
RTC (<i>Real-Time Counter</i>) modul	1 modul

Mikrokontrolér je dostupný v pouzdrech 64-LQFP, 48-QFN, 44-LQFP nebo 32-LQFP. V této realizaci je použita varianta 32-LQFP. Celkový počet vývodů je tedy 32 pinů. Jejich rozmístění a funkce jsou znázorněny na obrázku [18].



Obrázek č. 2.9 – Rozložení pinů mikrokontroléru MC9S08QE64

MCU je možné napájet s napětím v rozmezí 1,8–3,6V. Při nižším napětí ochranný modul LVD (*Low-Voltage Detect System*) drží MCU ve stavu RESET pro ochranu obsahu paměti. K programování procesoru je určeno jednodrátové rozhraní BDI (*Background Debug Interface*). Rozhraní umožňuje programování procesoru zároveň s laděním (debug). Obrázek č. 2.10 znázorňuje 6 pinový konektor, který slouží k připojení programovacího zařízení [18]. Konektor kromě pinu BKGD sloužící na programování dále obsahuje piny pro napájení a reset procesoru.



Obrázek č. 2.10 – Programovací rozhraní BDI

2.4.2 LCD displej bezdrátové centrální jednotky

Jako zobrazovací prvek uživatelského rozhraní byl ponechán monochromatický, podsvícený displej se čtyřmi řádky po dvaceti znacích MC42004A6W-BNMLW od firmy Midas Components Ltd. [19]. Displej komunikuje s mikrokontrolérem pomocí čtyřvodičového zapojení. Horní čtyři datové bity osmibitového připojení jsou využity ke komunikaci a spodní čtyři zůstanou nezapojeny. Dojde tak úspoře počtu pinů mikrokontroléru potřebných k ovládání displeje. Podsvícení je řízeno softwarově pomocí pulsně-šířkové modulace (*PWM – Pulse-width modulation*) mikrokontroléru přes unipolární tranzistor BSS138. Nastavení kontrastu displeje je možné pomocí odporového trimru 10kΩ.

2.4.3 Vstupy a výstupy bezdrátové centrální jednotky

Pro snímání stavů ovládaných zařízení, otevření oken nebo dveří je potřeba vstupní signál přivést na vstupy mikrokontroléru. Většina těchto akčních členů a snímačů disponuje bezpotenciálovým spínačem; v nejjednodušší variantě proto stačí napájecí napětí přivést na jeden z kontaktů spínače a druhý kontakt připojit na vstup mikrokontroléru. Ovšem uvedené řešení je nebezpečné, protože vlivem malé napěťové špičky, nebo i rušení, se může vstup MCU poškodit. Pro odstranění popisovaného problému jsou vstupy opatřeny optočlenem, který chrání MCU před poškozením.

Pro řízení akčních členů a bezpečné oddělení MCU od nich, je nutné spínat tyto zařízení přes galvanicky oddělený spínač. Spínačem může být např. relé. Řízení provádí mikrokontrolér, který spíná přes unipolární tranzistory relé. Spínací napětí relé je 5 V. Pro ochranu tranzistorů před proudovými špičkami při vypnutí relé slouží antiparalelní diody 1N4007 na svorkách cívky relé.

V prototypu zařízení k mikrokontroléru je možné připojit pouze 2 zařízení, a to v jakékoliv kombinaci vstupů nebo výstupů. Nastavení je možné modifikovat pomocí propojek.

2.4.4 Obvod reálného času (RTC)

Stejně, jak v předchozím řešení, obvodem reálného času je obvod DS1307+ vyrobený firmou Maxim [20]. Jedná se o obvod reálného času s externím krystalovým oscilátorem. Obvod ke své funkci potřebuje 32,768 kHz krystal. Má externě připojené napájení pomocí 3 V knoflíkové baterie CR1216 pro případ výpadku napájecího napětí. Komunikace s mikrokontrolérem probíhá pomocí I²C sběrnice. Adresa obvodu je pevná, je tedy možné použít pouze jeden takový obvod. Obvod DS1307+ dále disponuje pamětí NV SRAM (Non-Volatile Static Random Access Memory) o velikosti 56 bajtů, které je možné využít na jakékoliv účely, například na zachování nastavení při vypnutí MCU. Protože se jedná o paměť typu RAM, je možné do této paměti zapisovat prakticky neomezeně. Výhodou tohoto řešení je, že není potřeba nastavení ukládat do paměti EEPROM mikrokontroléru, u kterého je počet zápisů omezený.

2.4.5 Převodník USART – RS232

Na převod napěťových úrovní mezi rozhraní USART mikrokontroléru a RS232 byl použit převodník MAX3232CSE od firmy MAXIM INTEGRATED [21]. Výhodou tohoto převodníku je, oproti jiným typům stejné firmy, že si ke své funkci potřebuje pouze 4 keramické kondenzátory. Disponuje dvojitým převodníkem, ale v této realizaci je využitý pouze jeden z nich [21].

2.4.6 Snímače bezdrátové centrální jednotky

Bezdrátová centrální řídicí jednotka bude s největší pravděpodobností umístěna v obytné části domu. Z toho důvodu je možné tuto jednotku přímo využít na měření pokojové teploty a vlhkosti. K měření těchto veličin je využit snímač teploty a vlhkosti HTU21D. Jeho přesnost měření je dostatečná k regulaci vytápění. Jednotka je ještě doplněna o snímač intenzity osvětlení. Kromě informativního charakteru je intenzita osvětlení využita na řízení podsvícení LCD displeje. Při nižším osvětlení je podsvícení displeje nižší, u vyšší intenzity naopak vyšší. Tímto se zabrání příliš rušivému podsvícení displeje.

2.4.7 Napájení bezdrátové centrální jednotky

Z důvodu potřeby napájecího napětí 5 V pro displej a relé byl zvolen stejnosměrný napájecí adaptér s výstupním napětím 5 V a maximálním proudem 1 A. Adaptér se připojuje k centrální jednotce pomocí souosého konektoru. Vstup je opatřen tavnou pojistkou a ochrannou antiparalelní diodou kvůli ochraně proti přepólování. V případě přepólování dojde k přepálení pojistky. Dalším řešením by byla možnost použití transilu.

Napájecí napětí 3 V pro mikrokontrolér, snímače a periferní obvody je vytvořeno pomocí lineárního napěťového regulátoru (*LDO – Low-Dropout regulator*) MCP1802T-3002I/OT [22] z 5 V napájecí větve. Tento obvod ke své funkci potřebuje pouze dva 1 μ F keramické kondenzátory, jeden na jeho vstupu a další na výstupu. Následně je výstupní napětí filtrováno tantalovým kondenzátorem o hodnotě 10 μ F/16 V.

2.5 Bezdrátová jednotka na snímání veličin

Úlohou této bezdrátové jednotky je pouze měření jednotlivých veličin, jak je např. teplota a vlhkost, a následné odeslání naměřených hodnot do centrální jednotky v určitých intervalech.

2.5.1 MCU bezdrátové jednotky na snímání veličin

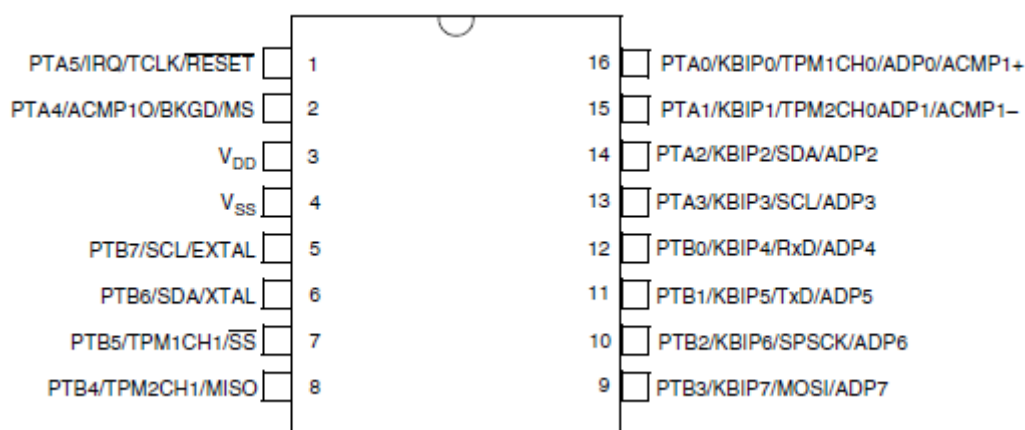
Vhodným mikrokontrolérem pro tyto jednotky je mikrokontrolér ze stejné řady jak MCU centrální jednotky, ovšem s nižším výpočetním výkonem, počtem pinů, velikosti paměti FLASH, RAM a spotřebou. Z uvedených důvodů byl zvolen mikrokontrolér MC9S08QE8. Výčet parametrů mikrokontroléru je uveden v následující tabulce.

Tabulka č. 2.4 – Parametry mikrokontroléru MC9S08QE8

Modul	Vlastnost
Mikrokontrolér	8 bitový mikrokontrolér, 20 MHz maximální taktovací frekvence
Paměť FLASH	8 KB
Paměť RAM	512 B
Piny	14 vstupně-výstupních pinů, 1 vstupní a 1 výstupní pin
TPM modul	2 dvoukanálové moduly
AD převodník	10 bitový s 10 nediferenciálními vstupy

I ² C rozhraní	1 rozhraní
SPI rozhraní	1 rozhraní
SCI rozhraní	1 kanál
KBI	8 klávesových vstupů (možno využít na přerušení)
RTC modul	1 modul

Mikrokontrolér je dostupný v pouzdrech 32-pin LQFP, 32-pin QFN, 28-pin SOIC, 20-pin SOIC, 16-pin PDIP nebo 16-pin TSSOP. Při této realizaci bude použita varianta 16-TSSOP. Celkový počet vývodů je tedy 16 pinů. Jejich rozmístění a funkce jsou znázorněny na obrázku [23]. MCU je možné napájet s napětím v rozmezí 1,8–3,6 V.



Obrázek č. 2.11 – Rozložení pinů mikrokontroléru MC9S08QE64

2.5.2 Napájení bezdrátové jednotky na snímání veličin

Napětí potřebné pro napájení bezdrátové jednotky je v rozmezí 2,2–3,6 V. Z toho důvodu bylo zvoleno napájení pomocí dvou sériově zapojených AA baterií. Jejich celkové napětí se pohybuje v rozmezí 2,2–3,0 V (u nových článků je možné i napětí 3,3 V). Spotřeba jednotky jsou řádově desítky μAh , díky využití STOP režimu procesoru a možnosti režimu spánku snímačů. Vyšší odběr proudu (řádově několik mA) se nastává pouze při měření a vysílání bezdrátovým modulem.

2.6 Bezdrátová jednotka akčních členů

Úkolem této bezdrátové jednotky je spínání akčních členů, popřípadě detekování otevřenosti oken, dveří, stavu akčních členů. Jednotka komunikuje s centrální jednotkou obousměrně. Přijímá příkazy na ovládání výstupu od centrální jednotky, a odesílá zpátky stavy vstupů.

Z důvodu potřeby 5 V zdroje napětí na ovládání relé, je tento modul napájen z externího zdroje napětí 5 V, stejně jako u centrální jednotky.

K jednotce byl zvolen stejný mikrokontrolér jako u bezdrátové jednotky na snímání veličin. Úkolem tohoto mikrokontroléru bude pouze převod příkazu z bezdrátové komunikace na výstupy a stavu ze vstupu na zprávy pro centrální jednotku. Kombinace relé a digitálních vstupů se připojí na nevyužité piny sběrnice I²C mikrokontroléru. Nastavení kombinace je opět možné modifikovat pomocí přepínače. Řešení obvodů vstupně-výstupní jednotky je stejné jako u centrální jednotky.

3 NÁVRH HARDWARE NOVÉHO ZAŘÍZENÍ

V následující kapitole jsou popsány nejdůležitější kroky návrhu hardwaru nového zařízení.

3.1 Deska plošných spojů

Základními kameny nového zařízení byly nově navrhnuté desky plošných spojů (dále jen DPS). Jako software pro návrh byl použit nástroj CadSoft, EAGLE, verze Maker 7.2.0.

Vzhledem k malé složitosti zapojení byla zvolena jednovrstvá varianta DPS s největším možným počtem součástek v provedení SMT (*surface-mount technology*). Pomocí této varianty je možné většinu součástek, které nejsou součástí uživatelského rozhraní (jak jsou například mikrokontrolér a periferní obvody) umístit na spodní (zadní, BOTTOM) stranu DPS. Napájecí konektory, svorkovnice a spínací relé jsou v provedení THT (*through hole technology*).

Bylo potřeba navrhnout celkem tři různé DPS, a to: bezdrátový modul centrální jednotky s displejem, modul akčních členů s relé a modul měření veličin. Při návrhu byla respektována veškerá doporučení výrobců zapojení napájení a signálových pinů (hodnoty a rozložení blokovacích kondenzátorů napájení a pull-up a pull-down rezistorů) uvedených v produktových listech jednotlivých komponent. Jednotlivé SMT součástky (rezistory a keramické kondenzátory) byly zvoleny v pouzdrech 1206, 0805, 0603, 0402; a to hlavně v závislosti na proudovém zatížení jednotlivých součástek nebo na velikosti dostupného prostoru na DPS při návrhu.

Jak již bylo zmíněno, snímače byly zvoleny tak, aby bylo možné zajistit velkou modularitu zařízení. Na bezdrátovém modulu měření veličin je umístěna jedna oboustranná 4-pinová kolíková lišta, na kterou lze jednoduše připojit najednou i více modulárních snímačů. Díky tomuto řešení je k dispozici široká škála měřitelných veličin pomocí jednoho bezdrátového modulu. Při měření teploty, izolace záření tepla od součástek zařízení a tím i rušení měření, je zabezpečena dostatečnou vzdáleností modulů.

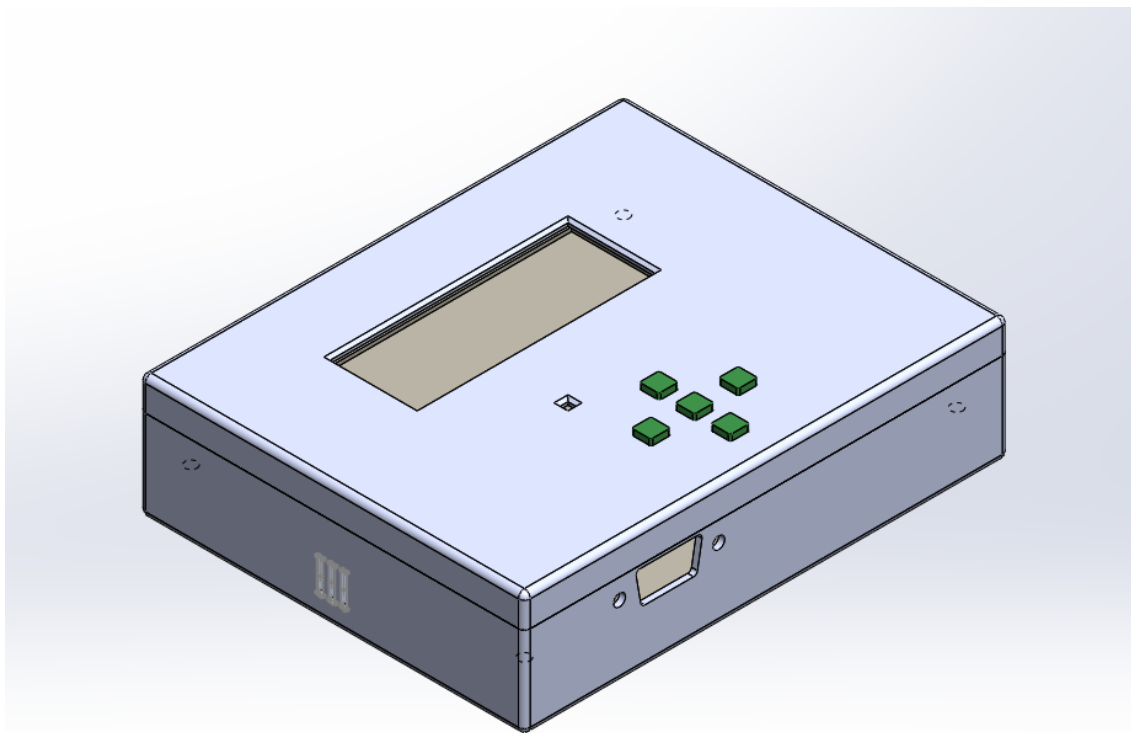
Důležitou roli hrálo při návrhu DPS i umístění bezdrátového komunikačního modulu RFM69HW, který je v SMT provedení. Byl umístěn tak, aby vysokofrekvenční rušení z výstupu na anténu bylo sníženo na minimum. Toho bylo možné docílit umístěním

antény co nejbližší ke kraji DPS a dodržení dostatečné vzdálenosti od ostatních vodivých cest.

Podobná pravidla platí i pro umístění spínacích relé a svorkovnic pro napětí až 250 VAC. Relé jsou umístěna na kraji DPS s dostatečně velkou izolační vzdáleností od ostatních, malonapěťových částí zařízení. Izolační vzdálenosti splňují minimální požadavek 1,5 mm pro 250 VAC dle norem ČSN EN 61010-1 (35 6502) a ČSN EN 60950 (36 9060) [56]. Pro vyšší bezpečnost, tyto vzdálenosti byly zvoleny na 3,5 mm.

Digitální vstupy jsou opatřeny optočleny pro bezpečné oddělení vstupných svorek od vstupů mikrokontroléru. Na první svorku vstupní svorkovnice je vyvedeno napětí 3 V, které je připojené na spínací kontakt externího zařízení na snímání stavů. Z toho kontaktu se připojuje signál na druhou svorku svorkovnice, který je přes odpor připojen na vstup optočlenu. Druhý vývod diody optočlenu je připojen na zem. V případě, že dojde k připojení nesprávného signálu ke svorkám vstupu, dojde jenom k poškození diody v optočlenu, a tak k ochraně zařízení, tudíž se elektrický obvod v každém případě musí uzavřít přes tuto diodu. Obrázek č. 3.1 znázorňuje popisované zapojení. V první, vývojové verzi DPS je optočlen v SMT provedení, ale deska je předpřipravena na osazení s optočlenem v pouzdře DIL8. V případě, že se takový optočlen osadí s patící, je možné pozdější poškození opravit ještě rychleji.

Jak již bylo zmíněno, v prototypové verzi zařízení je možné zvolit funkci pinů MCU pomocí propojek, a tak jeden pin využít buď na digitální (dvoustavový) vstup nebo výstup zařízení. V případě zapojení pinu jako výstup, je tento pin připojen na řídicí elektrodu unipolárního N-kanálového MOSFET tranzistoru BSS138 přes oddělovací odpor o hodnotě 10 Ω . Tento tranzistor spíná výkonové relé z napájecího napětí +5 V. Jako ochranu proti přechodovým dějům a napěťovým špičkám při spínání relé splňuje antiparalelně zapojená dioda 1N4007 na svorkách cívky relé. Přepínací výstup relé je vyveden na svorkovnici, kde pohyblivý kontakt relé je připojen na střední svorku svorkovnice.



Obrázek č. 3.2 – Návrh plastové krabičky centrální jednotky

3.3 Osazení a oživení desek

Přestože byly zvoleny součástky typu SMT relativně malé velikosti, desky plošných spojů byly osazeny ručně, bez použití pájecí pasty nebo lepidla, pomocí ruční mikro-páječky, s cínovou pájkou s tavidlem. Desky byly osazeny najednou, bez modulů snímačů. Po pájení byla kontinuita a spojení, resp. izolovanost každé cesty překontrolována opticky pod mikroskopem i elektronicky pomocí multimetru. Následné oživení hardwaru jednotlivých modulů proběhlo bez problémů.

První oživení bylo pomocí laboratorního zdroje s proudovým omezením, kde se napájecí napětí postupně zvyšovalo na požadovanou úroveň. Při oživení bylo zkontrolováno výstupní napětí stabilizátoru napětí digitální části a hodnoty na vstupech a výstupech jednotlivých periférií v implicitním stavu. Po tomto ověření byl do mikrokontroléru nahrán prázdný firmware, čímž se ověřila správná komunikace mezi mikrokontrolérem a prostředky pro vývoj aplikace.

3.4 Výsledek návrhu hardwaru zařízení

Každý vytvořený prototyp jednotlivých modulů byl umístěn ve vytisknuté plastové krabičce. Přesnost tisku domácí tiskárny na některých místech nebyla dostačující, z toho důvodu byly vytisknuté prvky poupraveny jednoduchými ručními obráběcími nástroji. Obrázek č. 3.3 znázorňuje výsledný vzhled nových zařízení umístěných v plastových krabičkách.



Obrázek č. 3.3 – Nový vytvořený systém

4 NÁVRH FIRMWARE

Program pro mikrokontrolér je napsán v jazyce C ve vývojovém prostředí CodeWarrior Development Studio v10.6. V následující kapitole jsou popsány nejdůležitější body vývoje.

4.1 Bezdrátová komunikace

Pro obsluhu bezdrátových modulů RFM69HW byla použita knihovna od pana André Heßlinga [27]. Původní verze knihovny byla vytvořena v jazyce C++. Knihovna byla modifikována na použití v jazyce C [28], a obsluha hardwaru byla následně pomocí maker portována na použití s MCU firmy NXP. Komunikace s bezdrátovým modulem probíhá na SPI sběrnici mikrokontroléru. Linka Slave Select je řízena softwarově, a toto řízení je součástí knihovny pro ovládání rádiového modulu. Rychlost SPI sběrnice je zvolena na 8 MHz.

Prvním krokem inicializace modulu je reset, pro nastavení počátečních hodnot registrů v případě, že v nich jsou uložena špatná data. Následně se nastaví celkem 45 různých osmibitových registrů bezdrátového rádiového modulu. Mezi těmito nastaveními jsou např. frekvence nosné vlny signálu 868,15 MHz, rychlost přenosu 10kbps, nastavení I/O pinů modulu, délka pole Preamble na 2 bajty, obsah synchronizačního slova o délce 2 bajty, nastavení paketu variabilní délky s CRC kontrolním součtem, adresy modulu a nastavení AES-128 šifrování.

4.1.1 Komunikační datagram

Ke komunikaci je využitý FIFO zásobník rádiového modulu. Zásobník se při odesílání naplní daty k odeslání, a přepnutím režimu modulu na odesílání se data ze zásobníku zabalí do paketu a následně se tento paket odešle. Pakety jsou různé délky, v závislosti na typu odesílaných dat. Při komunikaci zařízení se identifikují pomocí osmibitové adresy. Hlavička připraveného komunikačního datagramu začíná adresou cílového zařízení. Na základě toho mohou jiné bezdrátové moduly zjistit, jestli je daný datový paket posílán pro nich. Poté následuje adresa odesílatele, na základě čehož může být případná odpověď pro daný příkaz odeslána zpátky a také znázorňuje typ zařízení, ze kterého byla data odeslána. Třetím bajtem v hlavičce je sekvenční číslo – identifikátor

pořadí paketu, které umožňuje detekci ztracených paketů. Toto číslo je vždy inkrementováno po správném odeslání paketu, a nové číslo je použito v další komunikaci.

Uživatelská data následují po sekvenčním čísle. Data jsou vhodným způsobem komprimována, aby se snížil potřebný počet odeslaných bajtů. Jedná se hlavně o zahození nepodstatné přesnosti naměřených hodnot, např. setinná, popřípadě desetinná přesnost měření teploty, vlhkosti nebo tlaku v závislosti na zdroji měřené veličiny.

4.1.1.1 Šifrování, adresace a filtrace komunikace

Celá hlavička datagramu se automaticky doplní v bezdrátovém rádiovém modulu na začátku počtem odeslaných bajtů – díky čemuž je přijímací zařízení schopno určit délku paketu. Následně rádiový modul zašifruje vytvořený paket pomocí nastaveného klíče AES-128 bez délky a adresy cílového zařízení, a z celého paketu včetně délky a adresy vytvoří 16 bitový kontrolní součet a umístí ho na konec odesílaného paketu.

V přijímacím zařízení se po shodě synchronizačního slova a adresy přistoupí k příjmu paketů. Po příjmu celého paketu se ověří kontrolní součet. V případě shody se dešifruje datová část paketu a přijaté bajty se uloží do zásobníku FIFO rádiového modulu. Po uložení celého paketu se vyvolá přerušování shody adresy, které je signalizováno na výstupu modulu nakonfigurovaném při inicializaci. Mikrokontrolér obsluhuje toto přerušování vyčtením dat ze zásobníku rádiového modulu. Tím je modul opětovně připraven k přijímání dalšího paketu. V případě, že nedojde ke shodě synchronizačního slova a adresy, popřípadě kontrolního součtu je celý přijatý paket zahozen rádiovým modulem, a modul je připraven na další příjem.

4.1.1.2 Adresace zařízení

V celé realizaci jsou 2 hlavní typy zařízení. První typ je typu Master – jedná se o centrální jednotku. Zařízení typu Slave – externí moduly – mohou být celkem 2 odlišné druhy. Jedná se o jednotky měření veličin nebo jednotky akčních prvků. Tyto jednotky je možné dále dělit na různé typy. U bezdrátové jednotky měření veličin byla vytvořena varianta pro měření vlastností ovzduší (teplota, vlhkost, tlak, intenzita světla) a měření teploty kontaktním způsobem, popřípadě i dvě další varianty, které nebyly zatím implementovány. U bezdrátové jednotky akčních prvků je možné nakonfigurovat až 4 různé kombinace zapojení. Tyto možnosti představují celkem 8 různých Slave modulů, které je možné identifikovat pomocí čtyř bitů. Vzhledem k tomu, že adresy jsou

osmibitové, je možné z každého modulu adresovat 16 dalších modulů. To celkově znamená, že v dané realizaci je možné připojit a adresovat až 128 různých externích Slave modulů, díky čemuž se vytvoří celá škála měřitelných veličin. Pro lepší orientaci adresaci zařízení znázorňuje následující Tabulka č. 4.1 a Tabulka č. 4.2.

Tabulka č. 4.1 – Adresace bezdrátových zařízení

7	6	5	4	3	2	1	0
SLAVE	SLOT1	SLOT0	MODULE	A[3:0]			

Tabulka č. 4.2 – Popis jednotlivých kombinací bitů adresy bezdrátového zařízení

SLAVE	SLOT1:SLOT0	MODULE	Popis
0	XX	X	Master zařízení
		0	Centrální vizualizační jednotka
		1	Centrální bezdrátová jednotka
1	XX	X	Slave zařízení
		0	Jednotka měření veličin
		1	Jednotka akčních prvků
	X0	0	Snímač teploty, vlhkosti, tlaku vzduchu a intenzity světla
	X1		Kontaktní měření teploty na dvou místech pomocí dvou čidel
	00	1	Slot1: Digitální výstup (relé) Slot0: Digitální výstup (relé)
	01		Slot1: Digitální výstup (relé) Slot0: Digitální vstup
	10		Slot1: Digitální vstup Slot0: Digitální výstup (relé)
	11		Slot1: Digitální vstup Slot0: Digitální vstup

X – nezáleží, A[3:0] – 4 bitová adresa zařízení

Jak bylo zmíněno, je možné adresovat až 128 zařízení, ovšem v reálném provozu se nepředpokládá tak velký počet externích Slave zařízení. Pro jednoduchost při vývoji bude implementována obsluha jen 8 zařízení z každého typu, tj. celkem 24 externích zařízení (tento počet nezahrnuje všechny 4 kombinace bezdrátových jednotek akčních prvků). Po úspěšném vývoji bude možné tento počet jednoduše rozšířit, a tak využít celý rozsah adresovatelných zařízení.

4.2 Bezdrátová centrální jednotka

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, úkolem bezdrátové centrální jednotky je sběr dat z externích čidel, následné zpracování a vykonání akčních zásahů na základě

povelů z vizualizačního a ovládacího terminálu. Z toho důvodu je potřeba, aby tato jednotka byla dostatečně robustní při zpracování velkého množství dat. Při využití maximálního počtu připojitelných vzdálených jednotek mohou data obsadit přibližně až 3 KB paměti. Pro rychlé zpracování dat byla pomocí konfigurace fázového závěsu zvolena taktovací frekvence procesoru na 16 MHz.

Z důvodu využití stejných periferních obvodů, jaké byly v předchozí verzi této práce, bylo možné zachovat některé použité převzaté nebo vlastní vytvořené knihovny.

4.2.1 Firmware bezdrátové centrální jednotky

Na inicializaci firmware bezdrátové centrální jednotky je definice knihoven a potřebných proměnných, spuštění fázového závěsu pro hlavní taktovací frekvenci procesoru, nastavení přerušení, inicializace displeje, sběrnic a nastavení periferních obvodů. V nekonečné smyčce pomocí vlastního pole příznakových bitů časového přerušení se volají jednotlivé rutiny, jak je například měření teploty a vlhkosti každých 5 sekund.

V hlavní smyčce se kontroluje příznak přerušení přijatých dat bezdrátovým modulem. Při jeho aktivní úrovni se vykonává obslužná rutina zpracování přijatých dat. Stejným způsobem je řešena obsluha sériového rozhraní. Vývojový diagram firmware bezdrátové centrální jednotky je uvedena v příloze (viz Příloha č. 13).

4.2.1.1 Datový registr bezdrátové centrální jednotky System Register

Pro jednoduchou manipulaci s velkým množstvím dat byl vytvořen vlastní registr jménem System Register. Jedná se o datové pole typu unsigned char o velikosti 256 bajtů. Veškerá naměřená data, stavy systému a nastavení centrální jednotky jsou uloženy v tomto datovém poli. Pro obsluhu této paměti byly v samostatné knihovně vytvořeny funkce, které umožní čtení nebo zápis dat různé velikosti, a to od jednoho bitu typu bool až po 32 bitová celá čísla. Detailní popis registru System Register je uveden v dokumentu System Register Reference Manual, který je přiložen v elektronické podobě do přílohy práce.

4.2.1.2 Zachování uživatelských nastavení bezdrátové centrální jednotky

Z hlediska uživatelského komfortu je důležité, aby nastavení bezdrátové centrální jednotky byly zachovány i v případě výpadku napájení. Jak již bylo zmíněno, obvod reálného času disponuje uživatelskou pamětí typu NV SRAM. Z toho důvodu část

datového registru System Register, která obsahuje uživatelská nastavení, jak jsou například nastavené teploty regulace a další, jsou bezprostředně ukládány i do paměti obvodu reálného času. Při inicializaci firmware centrální jednotky jsou tato nastavení obnovena. V případě, že data nejsou nalezeny v paměti obvodu, nebo např. při prvotní inicializaci jednotky, se obnoví tovární nastavení.

4.2.2 Řídicí algoritmus vytápění

Při návrhu řídicího algoritmu byla zohledněna podmínka, aby systém bylo možné použít ve většině vytápěcích systémů na trhu. Z toho důvodu řídicí algoritmus vychází z typu použitého v předchozí verzi práce, tj. algoritmu modelující relé s hysterezí. Systém se pokusí udržet uživatelem nastavenou teplotu s předdefinovanou hysterezí 0,5 °C.

Oproti předchozí verzi, nová verze systému umožňuje regulaci teploty až v osmi místnostech. Další novinkou je možnost regulace teploty topné vody, nebo například možnost pozastavení vytápění v případě otevření oken.

Algoritmus vytápění se volá každých 10 sekund, a v každém případě proběhne kontrola omezení, aby nemohlo dojít k nežádaným stavům.

4.2.2.1 Regulace teplot v místnostech

Pro každou místnost je možné nastavit denní a noční teplotu s přesností na 0,2 °C. Období denních a nočních teplot je společně nastavitelný pro každou místnost s přesností na hodinu pro každý den týdne zvlášť. Díky této možnosti je možné nastavit největší komfort pro obyvatele domu.

Pro možnost regulace teplot v dalších místnostech je nutné připojení příslušného bezdrátového modulu pro měření teploty a modulu pro řízení akčních členů (např. ventilu) v dané místnosti.

4.2.2.2 Možnosti řízení kotle

Nová verze systému nabízí možnost na 2 různé způsoby řízení kotle. První možností je přímé spínání na základě požadavku z některé z místností. Ovšem tato volba není úplně ekonomickou volbou při větším počtu regulovaných místností. Řešením tohoto problému je volba řízení na základě teploty topné vody. V tomto režimu systém se pokusí udržet teplotu topné vody na definované teplotě s hysterezí 5 °C.

4.2.2.3 Ovládání oběhového čerpadla topné vody

Pro ovládání oběhového čerpadla topné vody se opět nabízí 2 řídicí režimy. Čerpadlo může být spínáno společně s řízeným kotlem, popřípadě na základě teploty topné vody. V obou případech vypnutí čerpadla je zpožděné o 5 minut. Tímto může dojít k efektivnějšímu vyčerpání akumulované energie z topné vody.

4.2.2.4 Pozastavení vytápění při otevření oken

Nový řídicí algoritmus umožňuje dočasné pozastavení vytápění v případě otevření oken. K této funkci je potřeba nainstalovat vhodný snímač otevření (např. rozpínací kontakt) na snímané okno a připojit k bezdrátové jednotce akčních členu. V případě detekci rozepnutého stavu vstupů dojde k dočasnému vypnutí kotle, popřípadě akčního členu přiřazeného k regulované místnosti. Tuto funkci je možné deaktivovat.

4.2.2.5 Zahájení a ukončení vytápěcího období

Funkce měření průměrné denní teploty byla opět implementována do řídicího algoritmu. Bezdrátová centrální jednotka při připojení venkovní jednotky počítá průměr denní teploty z naměřených hodnot v 7.00, 14.00 a ve 21.00 hod., přičemž teplota měřená v 21.00 hod. se počítá dvakrát. Pokud uživatel aktivuje tuto možnost, systém nezahájí topné období, když průměrná teplota za předchozí 3 dny není pod nastavenou hodnotou [40]. Pokud je tato možnost deaktivována, topení je povoleno bez ohledu na průměrnou denní venkovní teplotu.

4.2.2.6 Ochrana proti přehřátí vody v systému a proti zamrznutí

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

V případě že teplota v kterémkoliv z místností klesne pod 7 °C, bez ohledu na další nastavení se zapne vytápění. Tím se zabrání zamrznutí topné vody v systému. Ochrana je aktivní až do překročení kritické teploty.

4.2.3 Uživatelské rozhraní centrální jednotky

Podoba uživatelského rozhraní této jednotky byla částečně zachována z předchozí verze systému. V prvním řádku alfanumerického displeje je zobrazeno aktuální datum, den v týdnu a aktuální čas. Změna nastala ve způsobu zobrazení naměřených dat. Vzhledem k velkému počtu naměřených dat, jsou údaje zobrazeny v dalších dvou řádcích postupným rolováním mezi nimi s intervalem 2 sekund. Rolování je možné i pomocí tlačítek doleva a doprava na čele jednotky. Čtvrtý, poslední řádek slouží na zobrazení stavů bezdrátových jednotek akčních členů.

Prostředním navigačním tlačítkem je možné vyvolat menu terminálu, kde uživatel má možnost si prohlédnout stav centrální jednotky, restartovat jednotku, popřípadě obnovit tovární nastavení.



Obrázek č. 4.1 – Náhled uživatelského rozhraní centrální jednotky

Na základě předchozích zkušeností z jiných aplikací bylo doplněno vyhodnocování stisknutí kurzorových tlačítek o odstraňování zámkitů pomocí algoritmu „debouncer“. Knihovna byla převzata od pana Petra Daneggera [33] a modifikována pro použití s procesory řady HCS08 od firmy NXP.

4.2.4 Nastavení jasu displeje

Změna nastala i v řízení podsvícení displeje. Předchozí řešení – stálá nízká úroveň intenzity podsvícení – neumožňovalo čitelnost displeje při silnějším denním osvětlení a zároveň bylo nepříjemným zdrojem světla v noci. Řešení zvýšením intenzity při zmáčknutí některého z tlačítek bylo taky nepříjemné pro oči obsluhy ve tmě. Tato zjištění vedla k požadavku, aby se centrální bezdrátová jednotka doplnila o snímač intenzity osvětlení, a intenzita podsvícení displeje byla řízena pomocí pulsně–šířkové modulace (*pulse-width modulation, PWM*) na základě změřené intenzity osvětlení.

Experimentálně byla zjištěna potřebná úroveň modulace podsvícení při různých intenzitách světla. Hodnota nastavitelné modulo děličky čítacího registrů o velikosti 512 úrovní TPM modulu procesoru byla nastavena na dvojnásobek hodnoty naměřené hodnoty intenzity osvětlení v jednotkách lux. To znamená, že při intenzitě osvětlení 20 lux hodnota modulo děličky je nastavena na hodnotu 40. Z důvodu zachování čitelnosti displeje ve tmě bylo nastaveno omezení minimální úrovně děličky na hodnotu 20.

4.2.5 Připojení k vizualizační a ovládací jednotce

Pro robustnost a jednoduchost připojení k jednotce vizualizace a ovládání bylo opět zvoleno rozhraní sériové linky RS232. Rozhraní sériové linky umožní rychlý vývoj protokolu komunikace i z počítače, která po úspěšném vývoji může být nahrazena i jiným typem rozhraní, jak je například technologie Bluetooth, nebo rádiovým rozhraním využitým v bezdrátových jednotkách.

Ve spojení těchto dvou zařízení vizualizační a ovládací jednotka hraje roli Master, řídí a kontroluje komunikaci. Veškerá komunikace je vyžádána od této jednotky, bezdrátová centrální jednotka nemůže vysílat žádný paket bez předchozího vyžádání.

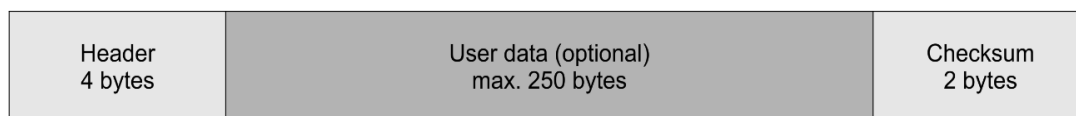
4.2.5.1 Komunikační protokol pro komunikaci se vzdálenou vizualizační a ovládací jednotkou

Pro komunikaci se vzdálenou vizualizační a ovládací jednotkou byl navrhnut komunikační protokol, který kombinuje poznatky získané při vývoji komunikačního protokolu z předchozí verze práce a poznatky při vývoji bezdrátové komunikace aktuálního řešení systému. Jedná se o obousměrnou komunikaci mezi bezdrátovým terminálem a vizualizační a ovládací jednotkou. Pomocí komunikačního protokolu je možné provádět čtení nebo zápis dat v již zmíněném registru centrální bezdrátové jednotky System Register.

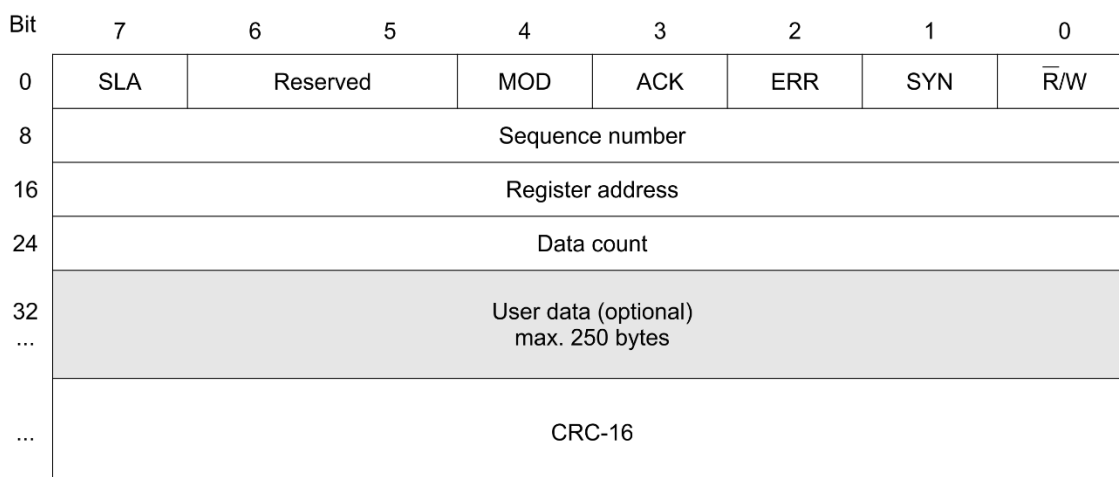
Datagram komunikace se skládá z čtyřbitové hlavičky, volitelného datového pole a povinného kontrolního součtu.

Hlavička komunikačního datagramu začíná adresou cílového zařízení. První bajt hlavičky dále obsahuje stavové bity komunikace. Následuje sekvenční číslo paketu pro zabezpečení komunikace. Třetím a čtvrtým bajtem v hlavičce jsou paměťová adresa registru a počet bajtů posílaných v daném paketu. Volitelná data jsou připojena

za hlavičkou. Celý datový paket je zakončený 16 bitovým kontrolním součtem. Obrázek č. 4.2 a Obrázek č. 4.3 znázorňuje obsah datového paketu.



Obrázek č. 4.2 – Datagram komunikačního protokolu



Obrázek č. 4.3 – Detail paketu komunikačního protokolu

Tabulka č. 4.3 – Popis polí paketu komunikačního protokolu

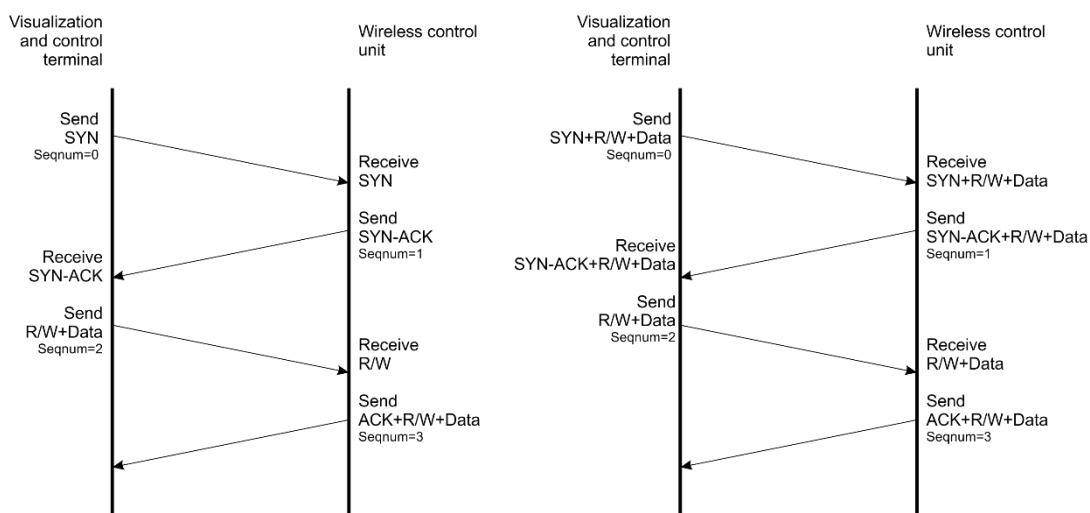
Pole	Popis
7 SLA	SLAVE – Stavový bit ukazující Slave zařízení. 0 Master zařízení 1 Slave zařízení
4 MOD	MODULE – Stavový bit ukazující typ zařízení. 0 Vzdálená vizualizační a ovládací jednotka 1 Centrální bezdrátová jednotka
3 ACK	ACKNOWLEDGE – Stavový bit ukazující souhlas/potvrzení. 0 Zařízení nepotvrzuje přijatá data. 1 Zařízení potvrzuje přijatá data.
2 ERR	ERROR – Stavový bit ukazující chybu při komunikaci. 0 Komunikace probíhá bez chyb. 1 Došlo ke chybě při komunikaci
1 SYN	SYNCHRONIZE – Stavový bit ukazující synchronizační paket pro navázání komunikace. 0 Komunikace byla navázána 1 Vyžaduje se navázání komunikace
0 R/W	READ/WRITE – Stavový bit ukazující čtení/zápis. 0 Čtení z registru 1 Zápis do registru

Při komunikaci se zařízení identifikují pomocí bitů SLA a MOD v prvním bajtu hlavičky. Význam těchto bitů je totožný s bity SLAVE a MODULE v hlavičce bezdrátové komunikace (viz Tabulka č. 4.1 a Tabulka č. 4.2).

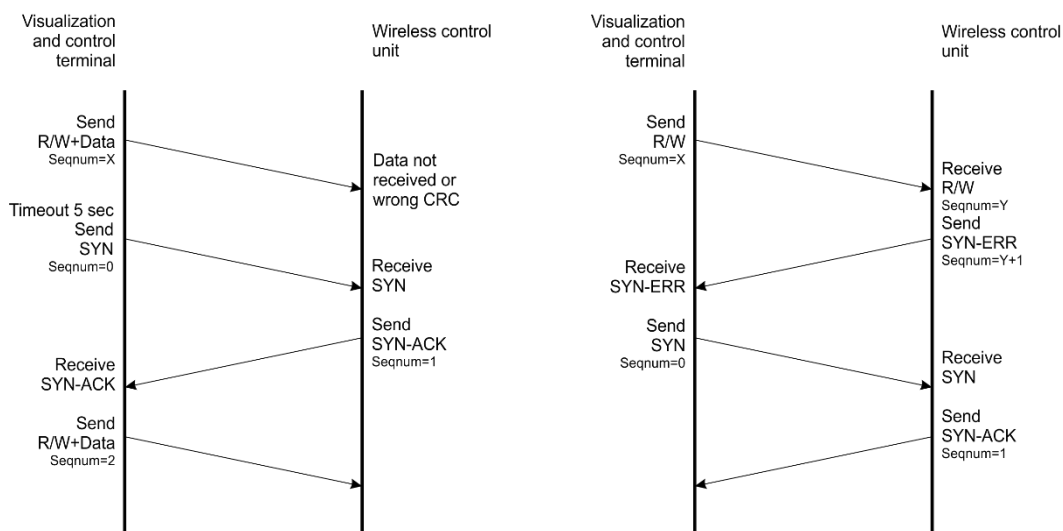
Při navázání komunikace vizualizační a ovládací jednotka pošle paket s aktivním bitem SYN a sekvenčním číslem (Sequence number). Bezdrátová jednotka uloží sekvenční číslo a potvrdí příjem synchronizačního paketu odpovědí s aktivními bity ACK a SYN a inkrementovaným sekvenčním číslem. Následně komunikace probíhá se sekvenčním číslem, které se inkrementuje v každém paketu, jinak dojde ke chybě při komunikaci. Taková chyba se signalizuje aktivními bity SYN a ERR.

Nultý bit R/W prvního bajtu hlavičky signalizuje, jestli se jedná o čtení nebo zápis z/do registru, kterého adresa se nachází v poli Register address. Číslo v poli Data count signalizuje počet bajtů od adresy registru, na kterém se má zvolená akce vykonat. Tímto způsobem je možné adresovat celý System register. Uvedený počet příslušných datových bajtů se očekává po hlavičce. Na konci celého paketu je 16 bitový kontrolní součet typu CRC-16.

Obrázek č. 4.4 znázorňuje možnosti a průběh navázání komunikace mezi bezdrátovou centrální jednotkou a vizualizačním terminálem, Obrázek č. 4.5 znázorňuje řešení chybových stavů při komunikaci. Při navázání komunikace je možné přímo zasílat i data v prvním paketu. Toto se využívá pro aktualizace času v bezdrátové centrální jednotce při navázání komunikace.



Obrázek č. 4.4 – Průběh navázání komunikace mezi zařízeními



Obrázek č. 4.5 – Příklady řešení chybových stavů při komunikaci

4.3 Bezdrátové jednotky

V každém bezdrátovém modulu je využitý stejný mikrokontrolér typu MC9S08QE8. Rozložení vstupně–výstupních pinů na každé variantě bezdrátových jednotek je stejné, díky čemuž je vývoj firmware pro tyto jednotky velmi rychlý. Jádrem firmware je stejné nastavení periferních obvodů a procesoru, firmware se liší pouze v obsluze připojených snímačů, popřípadě vstupů a výstupů u jednotky akčních členů.

4.3.1 Měření veličin

Z důvodu velké setrvačnosti topné soustavy, a i jiných soustav v obytném domě, není potřeba měření veličin v kratších intervalech než půl minuty. Interval měření a odesílání naměřených hodnot byl zvolen na 30 sekund. Pro snížení spotřeby bateriových jednotek, jsou zvolené snímače po většinu času provozu bezdrátových jednotek v režimu spánku, kromě velmi krátkého intervalu měření (řádově několik milisekund, v závislosti na potřebné převodní době daného snímače), kdy jsou probuzeny. Po dokončení převodu jsou okamžitě přepnuty do režimu spánku.

4.3.1.1 Měření napětí baterie

Důležitou měřenou veličinou každé bateriové jednotky je napětí baterie. Měření tohoto napětí ovšem není tak jednoduché. AD převodníky mikroprocesorů potřebují ke své funkci referenční napětí, které je buď odvozeno z napájecího napětí nebo potřebují

připojení zdroje konstantního napětí na jejich referenční vstup. Zvolené mikrokontroléry MC9S08QE8 nemají vyvedené referenční vstupy převodníku – jako reference je použito napětí napájecí větve.

Bateriové moduly jsou napájeny přímo z baterií, z toho důvodu není možné použít napájecí napětí procesoru jako referenční. Připojením stabilizátoru napětí do napájecího větve procesoru by se zvýšila pořizovací cena a spotřeba bezdrátových jednotek, což je nepřípustné. Bylo tak potřeba hledat jiný způsob měření napětí napájecích baterií. Řešením je použití interní přesné, tepelně nezávislé napěťové reference Bandgap. Vzhledem k tomu, že při měření hodnoty napětí této reference, jako reference převodníku se používá napětí napájení procesoru, naměřená hodnota bude závislá na napětí napájení. Napěťová reference bandgap je dostatečně přesná na to, aby bylo možné předpokládat lineární závislost převodu, díky čemuž je velice jednoduché vypočítat napětí napájecích baterií pomocí jednoduchého převodu:

$$U_{bat} = \frac{U_{bandgap} \cdot V_{ADC12}}{V_{ADC}} [V] \quad (4.1)$$

kde: U_{bat} výsledné napětí baterie

$U_{bandgap}$ napětí reference bandgap (1,17 V)

V_{ADC12} rozlišení ADC převodníku (12 bitů – 4096)

V_{ADC} hodnota v registru ADC převodníku po dokončení převodu

Pro snížení spotřeby MCU je měření napětí reference bandgap vykonávaná jen velmi zřídka, v dané realizaci jednou za dvě minuty. Po dokončení převodu je potřeba interní napěťovou referenci bandgap okamžitě vypnout.

4.3.2 Režim STOP3 mikrokontroléru

Bateriové bezdrátové moduly jsou po většinu času bez úkolu. Jejich úkolem je pouze měření a odesílání hodnot každých 30 sekund. Neexistuje pak důvod, aby byly trvale v provozu. Řešením je zapnutí módu STOP, při kterém je MCU v hlubokém režimu spánku, z čehož se probudí až ve chvíli, kdy je potřeba naměřit nové hodnoty. Díky tomuto režimu se spotřeba MCU sníží na minimální hodnotu a pozitivně přispívá k prodloužení životnosti baterií a provozu bezdrátové jednotky. Mikrokontroléry řady HCS08 nabízejí 2 módy STOP: a to STOP2 a STOP3. V režimu STOP2 dojde k vypnutí periférií procesoru, tím i snížení spotřeby, ale procesor je možné opětovně probudit pouze

pomocí zavoláním rutiny RESET, což v daném řešení není přípustné, a to z vícero důvodů. Při resetu dojde k inicializaci registrů procesoru na výchozí hodnoty a ztrátě nastavení. Dalším důvodem je absence externí periférie, která by RESET procesoru mohla vyvolat. Správnou volbou je tak mód STOP3, kdy také dojde k vypnutí hodinového signálu k perifériím procesoru, ale procesor je možné probudit jakýmkoliv přerušením.

V dané realizaci toto přerušení může vyvolat přijetí datového paketu na modulu bezdrátové komunikace přes periferní modul procesoru tzv. přerušení z klávesnice (*KBI – keyboard interrupt*), přerušení modulu reálného času (*RTC – real-time counter*) popřípadě přerušení dokončení převodu modulu ADC.

RTC modul procesoru ke své funkci potřebuje zdroj hodinového signálu. V režimu STOP3 je fázový závěs vypnutý, z toho důvodu není možné ho použít jako zdroj časového signálu, jinak by nedošlo k probuzení MCU v daných časových intervalech. Mikrokontroléry řady HCS08 nabízejí možnost využití vnitřního oscilátoru s nízkou spotřebou (*LPO – low power oscillator*) o frekvenci 1 kHz, který byl navržen na využití v aplikacích s časováním. Bohužel tímto oscilátorem je nejdelší možný nastavitelný interval počítadla modulu reálného času jedna sekunda, což znamená, že MCU je potřeba probudit z režimu STOP3 v každé sekundě. Ovšem spotřeba mikrokontroléru při obsluze tohoto přerušení je minimální a je tak vhodnou volbou pro danou aplikaci.

Pro správné použití módu STOP3 je potřeba při prvotní inicializaci procesoru nastavit vhodné konfigurační registry MCU, správně nastavit použití tohoto módu a následně povolit nebo zakázat jednotlivé periférie v tomto režimu. Samotný přechod do režimu STOP3 je pomocí makra `_Stop` nebo příkazu `asm ( stop; )`. V této aplikaci je volání příkazu na konci nekonečné smyčky hlavní rutiny firmware, čímž dojde k okamžitému přechodu do režimu nízké spotřeby po vykonání jakékoliv obsluhy přerušení. Při zavolání přerušení MCU vykoná obsluhu přerušení a následně pokračuje v běhu z místa následující instrukce po zavolání módu STOP3, což znamená začátek nekonečné smyčky hlavní rutiny firmware [23].

4.4 Spotřeba bateriových modulů

Důležitým aspektem celé realizace byla i spotřeba jednotek napájených z baterie. Je důležité, aby tyto moduly byly schopny fungovat bez zásahu uživatele řádově i několik

let. Z toho důvodu byla změřena spotřeba těchto modulů pomocí vývojového kitu Silicon Labs Simplicity EFM32 Happy Gecko Starter Kit [34] v aplikaci Simplicity Studio 4 Energy Profiler [35].

Při prvním měření byla spotřeba jednotky změřena přibližně 800 μA , což je na bateriový provoz nepřijatelné. Po důkladném prostudování produktových listů snímačů a periférií bylo zjištěno, že jejich celková spotřeba v režimu spánku je řádově maximálně několik mikroampér, což znamená, že zdrojem velké spotřeby byl samotný mikrokontrolér. Spotřeba zvolených MCU v režimu STOP3 na základě produktového listu [23] je maximálně 800 nA.

Zjištění zdroje velké spotřeby bylo časově náročné. Zdrojem byly identifikovány nevyvedené vstupně-výstupní porty MCU ve zvolených pouzdrech. Porty MCU jsou při inicializaci nastaveny na digitální vstupy a fyzické nezapojení těchto pinů způsobuje oscilaci vstupních obvodů mezi logickou nulou a jedničkou (floating input). Právě tato oscilace způsobuje vysokou spotřebu vstupních klopných obvodů a následně i procesoru. Řešení problému je velmi jednoduché. Tyto porty je potřeba při inicializaci procesoru nastavit na vstupy s interními pull-up rezistory nebo na výstupy s definovanou hodnotou. Oprava způsobuje změnu odebíraného proudu na hodnotu přibližně 60 μA a při vypnutí každé periférie na pouhých 50 nA.

Při této spotřebě je možné spočítat přibližnou délku provozu bateriových modulů z alkalických baterií. Za hodnoty kapacity baterií ve výpočtu byly použity kapacity alkalických baterií Duracell AA (LR6) 1,5 V; 2100 mAh. Použitý koeficient 0,5 ve výpočtu počítá s vyšší spotřebou při měření a bezdrátové komunikaci a dalšími vnějšími faktory, které mohou mít vliv na životnost baterie. (Obvykle se tento koeficient volí na hodnotu 0,7; ale v dané realizaci jsou započítány i odběrové špičky při měření a komunikaci) [36].

$$t = \frac{C_{bat}}{I_{dev}} \cdot 0,5 = \frac{2100 \text{ mAh}}{0,06 \text{ mA}} \cdot 0,5 = 17\,500 \text{ h} \doteq 729 \text{ d} \doteq 2 \text{ y} \quad (4.2)$$

kde: t životnost baterie

C_{bat} kapacita baterie v mAh

I_{dev} hodnota odebíraného proudu zařízením

Na základě naměřených a vypočtených hodnot je možné říci, že v dané realizaci výdrž baterií v bezdrátových modulech jsou přibližně 2 roky, ale je potřebné dodat, že tato doba

je pouze orientační, může se lišit podle vnějších vlivů jako je například teplota okolí, která má velký vliv na životnost baterii.

5 VZDÁLENÁ VIZUALIZAČNÍ A OVLÁDACÍ JEDNOTKA

Jak již bylo zmíněno v předcházejících kapitolách, součástí nového systému je i vzdálená vizualizační a ovládací jednotka s dotykovým displejem. Tato jednotka byla navržena tak, aby umožnila uživateli co nejjednodušším způsobem sledovat a nastavovat jednotlivé parametry vytápěcího systému obytného domu.

5.1 Hardware vzdálené vizualizační a ovládací jednotky

Pro jednodušší vývoj této jednotky byla vybrána platforma Raspberry Pi. Centrálním elementem této platformy je embedded jednodeskový počítač Raspberry Pi 3 Model B doplněný o dotykový sedmipalcový kapacitní LCD displej. Deska počítače je vybavena čtyřjádrovým 64 bitovým procesorem Broadcom BCM2837 o taktovací frekvenci 1,2 GHz a pracovní paměti RAM o velikosti 1 GB [41][42]. Tabulka č. 5.1 a Tabulka č. 5.2 detailně popisuje hardware vzdálené vizualizační a ovládací jednotky.

Tabulka č. 5.1 – Parametry embedded jednodeskového počítače Raspberry Pi 3 Model B

Modul	Vlastnost
Procesor	64 bitový procesor Broadcom BCM2837 1,2 GHz
Paměť RAM	1 GB
Bezdrátové rozhraní	BCM43438 WiFi 802.11n a Bluetooth Low Energy
Síťové rozhraní	1x Ethernet port
Piny	40 pinové rozšířené GPIO
USB rozhraní	4x USB 2 porty
Audio/Video rozhraní	4 pólový stereo výstup a port pro kompozitní video
HDMI	Plnohodnotné HDMI
Rozhraní pro kameru	Port CSI kamery pro připojení Raspberry Pi kamery
Rozhraní pro displej	DSI port displeje pro připojení Raspberry Pi dotykového displeje
Micro SD port	Micro SD port pro operační systém a ukládání dat
Napájení	5,1 V/2,5 A Micro USB napájecí adaptér

Tabulka č. 5.2 – Parametry dotykového sedmipalcového kapacitního LCD displeje Raspberry Pi

Parametr	Vlastnost
Rozměr	194 mm x 110 mm x 20 mm (š x v x h)
Zobrazitelná velikost displeje	155 mm x 86 mm (š x v)
Rozlišení displeje	800 x 480 pixelů
Dotykový panel	Kapacitní dotyková vrstva pro 10 prstů
Rozhraní	DSI rozhraní Raspberry Pi
Napájení	5 V

Celé zařízení je umístěné v plastové krabičce, která dodá této jednotce elegantní moderní vzhled.



Obrázek č. 5.1 – Vzdálená vizualizační a ovládací jednotka

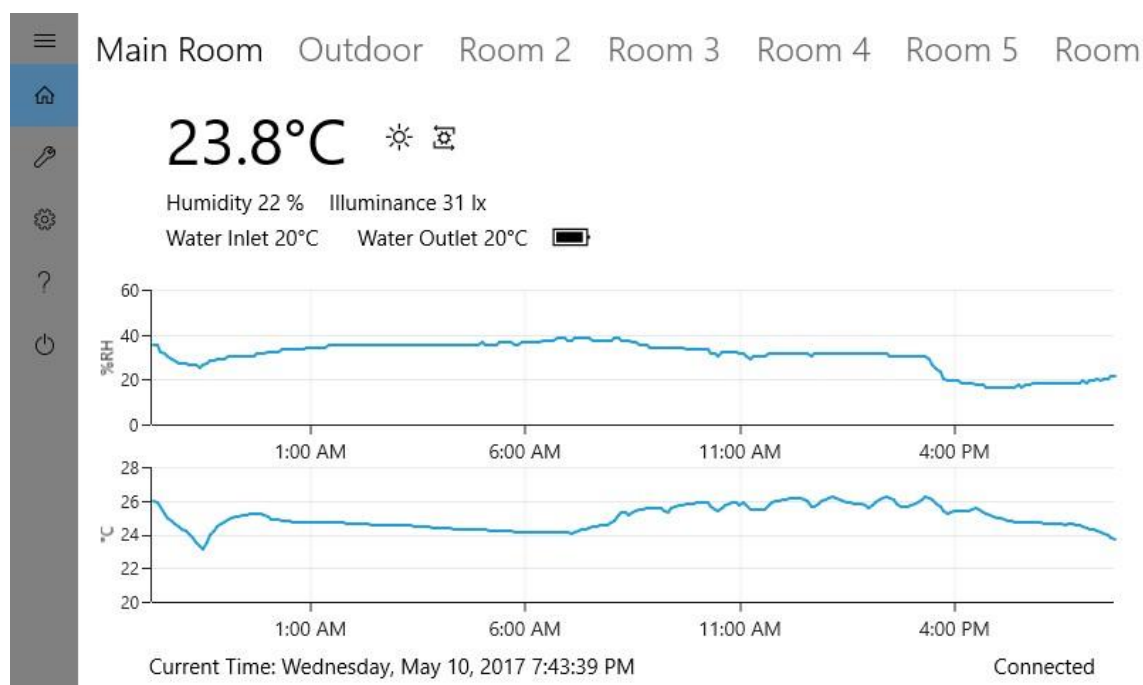
Operačním systémem této jednotky byl zvolen systém Microsoft Windows 10 IoT Core (IoT – Internet of Things) [43].

5.2 Uživatelská aplikace vzdálené vizualizační a ovládací jednotky

Pro snadné sledování a nastavování různých parametrů vytápěcího systému obytného domu byla navržena uživatelská aplikace. Tato aplikace byla napsána v jazyce C# platformy UWP XAML (Universal Windows Platform Extensible Application Markup Language) [44]. Byla vybrána právě tato platforma z důvodu pozdější možnosti přenosu aplikace na jinou platformu, jak je například Android nebo iOS [45]. Aplikace v plné míře podporuje dotykové řízení. Při návrhu této aplikace byly respektovány Pokyny pro návrh UWP aplikací (Guidelines for Designing Universal Windows Platform (UWP) apps) [46].

5.2.1 Vzhled uživatelské aplikace

Obrázek č. 5.2 znázorňuje domovskou stránku uživatelské aplikace. Je rozdělena do 3 částí. V levé části aplikace je navigační panel aplikace, která umožňuje navigaci mezi jednotlivými obrazovkami. V spodní části je zobrazen aktuální čas a stav spojení s bezdrátovou centrální jednotkou. Třetí část aplikace je část s aktuálně zvolenou obrazovkou. Obrázek č. 5.3 zobrazuje detail navigačního panelu.



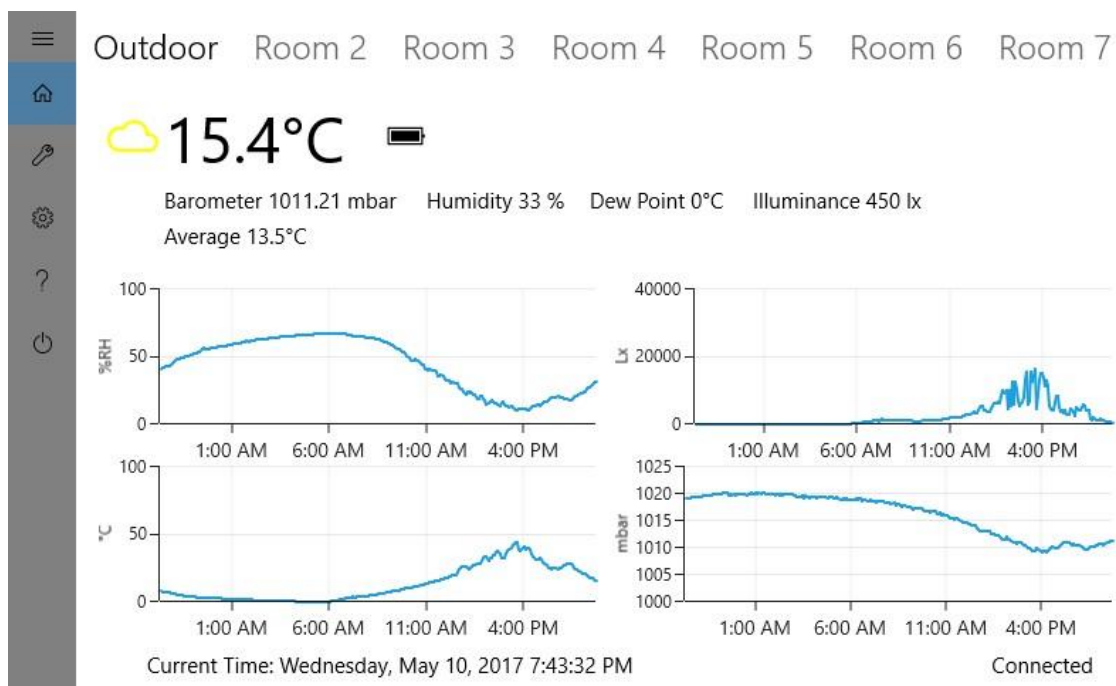
Obrázek č. 5.2 – Domovská stránka uživatelské aplikace



Obrázek č. 5.3 – Detail navigačního panelu uživatelské aplikace

5.2.1.1 Obrazovka stavů systému

Domovská stránka zobrazuje základní parametry vytápěcího systému. Tato obrazovka je rozdělena do 9 částí (viz Obrázek č. 5.2 a Obrázek č. 5.4). První okno zobrazuje parametry hlavní místnosti domu, kde je umístěna centrální bezdrátová jednotka, další zobrazuje vlastnosti ovzduší, je-li venkovní snímač připojený. Dalších 7 oken zobrazuje stav každé říditelné místnosti, jsou-li připojené příslušné bezdrátové snímací moduly. Mezi jednotlivými částmi této obrazovky je možné přepínat pomocí gest přejetí (Swipe Gesture). V horní části oken jsou zobrazeny jednotkou naměřené veličiny, jako jsou například teplota, vlhkost, osvětlení, atmosférický tlak nebo rosný bod. Stav bezdrátových jednotek zobrazují symboly. Jedná se o signalizaci vstupů, výstupu, napětí baterií nebo požadavek na údržbu jednotky (např. výměna baterií). Ve spodní části okna jsou průběhy naměřených dat z posledních 24 hodin zobrazeny v grafech. Poslední řádek obrazovky zobrazuje aktuální čas a stav komunikace s bezdrátovou centrální jednotkou.



Obrázek č. 5.4 – Detail obrazovky měření ovzduší

5.2.1.2 Obrazovka nastavení parametrů vytápění

Pro nastavování parametrů vytápěcího systému slouží obrazovka „Commissioning“. Obrázek č. 5.5 a Obrázek č. 5.6 detailně znázorňují nastavovací obrazovku. Prvním ovládacím prvkem je vypínač řízení topení. V následující části obrazovky „Room temperature control“ uživatel může zvolit z 8 místností, ve kterých tento systém umožňuje regulaci vytápění. V každé místnosti je možné nastavit denní a noční teplotu.

Commissioning

Heating control

☒ On

Room temperature control

Room select:

Room 1

Enable room heating control

☒ Enabled

Daytime temperature setpoint:

27.0°C

Nighttime temperature setpoint:

25.0°C

Obrázek č. 5.5 – Detail obrazovky "Commissioning" – nastavení teplot

Další sekce této obrazovky (viz. Obrázek č. 5.6) obsahuje parametry, které jsou pro celý systém společné. Část „Daytime & Nighttime Range“ umožňuje zvolit časový interval, kdy se má udržovat denní nebo noční teplota. Dále je možné limitovat teplotu topné vody, popřípadě teploty v místnostech. Pokud dojde k překročení některé z uvedených teplot, systém bezpečně vypne zdroj energie topného systému. Pomocí přepínače je možné zvolit, jestli je kotel ovládán na základě požadavku z některé místnosti, nebo je udržována teplota topné vody. Dalšími parametry jsou: mód ovládání čerpadla, vliv dvoustavových vstupů pro řízení a průměrná teplota, pod kterou se má zapnout topení (začátek zimního vytápěcího období). Opuštěním této obrazovky se nastavení automaticky odešle a uloží do centrální jednotky.

Temperature limits

Room limit temperature:

35.0°C

Water limit temperature:

50.0°C

Control parameters

Boiler control



Based on room temperatures

Daytime water temperature setpoint:

35.0°C

Nighttime water temperature setpoint:

35.0°C

Circuit pump control



Turn on the pump together with the boiler

Temporarily disable the control when the according switching module's input becomes disconnected.



Enabled

Average outdoor temperature control

If this is enabled, heating control will be active only if the outdoor average temperature is below the setpoint.



Off

Average temperature setpoint:

13.0°C

Obrázek č. 5.6 – Detail obrazovky "Commissioning" – nastavení systému

5.2.1.3 Obrazovka systémových nastavení vzdálené jednotky

Pomocí obrazovky systémových nastavení (viz Obrázek č. 5.7) je možné nastavit základní parametry vzdálené jednotky. Mezi nastaveními nalezneme parametry sériového portu, na kterém probíhá komunikace s bezdrátovou centrální jednotkou. Dále jednotka umožňuje aktualizaci času ze síťového časového serveru (NTP – Network Time Protocol) v případě, že jednotka je připojena k internetu. Nastavení týkající se aktualizace, volba vzhledu aplikace (tmavá nebo světlá) a zapnutí šetřiče obrazovky jsou taky součástí této obrazovky. Šetřič obrazovky se zapíná po dvou minutách provozu bez uživatelského zásahu. Posledním nastavitelným parametrem je možnost povolení automatické detekce nadmořské výšky pomocí internetu pro výpočet atmosférického tlaku, popřípadě si uživatel může zadat nadmořskou výšku ručně.

Settings

COM Port: Refresh

Baudrate:

Synchronize time with an Internet time server ☒ On

NTP Server:

Update Terminal time at connection ☒ On

Application Theme ☒ Light

Screensaver ☒ On

Determine location for calculating Atmospheric pressure ☒ On

Altitude in meters:

Obrázek č. 5.7 – Obrazovka nastavení vzdálené jednotky

5.2.2 Korekce naměřeného atmosférického tlaku

Měření atmosférického tlaku má velký význam v meteorologii, neboť atmosférický tlak (a především jeho změny a rychlost těchto změn) jsou důležité pro předpověď počasí. Např. zvýšení atmosférického tlaku obvykle znamená příchod slunečného počasí s malou oblačností, zatímco pokles tlaku ohlašuje příchod oblačnosti a deštivého počasí [47]. Je potřeba dodat, že hodnota tlaku měřená snímačem Bosch BME280 je vázaná k aktuální nadmořské výšce. Ovšem v meteorologii pro srovnatelnost údajů se atmosférický tlak uvádí přepočtený na hladinu moře.

Z uvedeného důvodu je potřeba provádět přepočet naměřeného tlaku na tlak při hladině moře. Vzhledem ke komplexnosti výpočtu tento výpočet není prováděný v centrální bezdrátové jednotce, ale pouze ve vizualizačním terminálu.

Barometrická rovnice pro výpočet atmosférického tlaku [47]:

$$p = p_0 \cdot \left(1 - \frac{L \cdot h}{T_0}\right)^{\frac{g \cdot M}{R_0 \cdot L}} \approx p_0 \cdot \left(1 - \frac{g \cdot h}{c_p \cdot T_0}\right)^{\frac{c_p \cdot M}{R_0}} \approx p_0 \cdot e^{\left(1 - \frac{g \cdot M \cdot h}{R_0 \cdot T_0}\right)} [Pa] \quad (5.1)$$

kde:	p_0	výsledné napětí baterie
	L	míra poklesu teploty pro suchý vzduch ($0,0065 \text{ Km}^{-1}$)
	c_p	měrná tepelná kapacita ($\sim 1007 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
	T_0	standardní teplota při hladině moře ($288,15 \text{ K}$)
	g	tíhové zrychlení ($9,80665 \text{ ms}^{-2}$)
	M	molární hmotnost suchého vzduchu ($0,0289644 \text{ kg.mol}^{-1}$)
	R_0	molární tepelná kapacita ideálního plynu ($8,31447 \text{ J.mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

Pro výpočet je využit zjednodušený vztah [48]:

$$p_0 = p \cdot \left(1 - \frac{0,0065 \cdot h}{T + 0,0065 \cdot h + 273,15}\right)^{-5,257} [Pa] \quad (5.2)$$

kde:	p	atmosférický tlak [Pa]
	h	nadmořská výška [m]
	p_0	atmosférický tlak při hladině moře [Pa]
	T	teplota [$^{\circ}\text{C}$]

5.2.2.1 Získání přesné nadmořské výšky

Pro výpočet atmosférického tlaku při hladině moře je potřeba zjistit aktuální nadmořskou výšku. Nadmořskou výšku uživatel může zadat ručně, nebo pro zvýšení komfortu byl implementován algoritmus pro zjištění přesné nadmořské výšky podle aktuální polohy. Geolokační API (Application Program Interface) prostředí UWP [49] umožňuje získání přesné geologické lokaci zařízení, a to buď pomocí GPS (Global Positioning System), mobilních sítí (je-li zařízení těmito moduly vybaven), nebo pomocí internetu. Vzhledem k tomu, že použitý počítač Raspberry Pi nedisponuje uvedenými moduly, byla využita možnost geolokace pomocí internetu. V dnešní době internetové připojení umožňuje relativně přesnou lokaci obvykle s přesností až na několik desítek metrů [59].

Získaná přesná zeměpisná lokace z internetu pomocí zmíněného API neudává nadmořskou výšku. K získání přesné nadmořské výšky jsou potřebné další periferní moduly. Pro získání nadmořské výšky je proto využít Google Maps Elevation API od firmy Google [50]. Jedná se o webové API, kdy se pošle http požadavek na webový server, v adrese uvedenými zeměpisnými souřadnicemi, a jako odpověď server vrací přesnou nadmořskou výšku v metrech s přesností na 12 desetinných míst ve formátu JSON (JavaScript Object Notation). Následně uživatelská aplikace provede rozbor (parsování) přijatých dat.

```
{
  "results" : [
    {
      "elevation" : 283.1638488769531,
      "location" : {
        "lat" : 49.232078,
        "lng" : 16.5702
      },
      "resolution" : 9.543951988220215
    }
  ],
  "status" : "OK"
}
```

Obrázek č. 5.8 – Příklad odpovědi serveru pro zjištění přesné nadmořské výšky ve formátu JSON

5.2.3 Výpočet teploty rosného bodu

Dalším obvykle zobrazeným parametrem ovzduší je teplota rosného bodu. Pro výpočet byla použita Bögelova modifikace August-Roche-Magnus vzorce, tzv. Arden Buck rovnice [51]:

$$\begin{aligned}
P_{s:m}(T) &= 6,112 \cdot e^{\left(\left(17,62 - \frac{T}{243,5}\right)\left(\frac{T}{243,12}\right)\right)} [hPa] \\
\gamma_m(T, RH) &= \ln \left(\frac{RH}{100} e^{\left(\left(17,62 - \frac{T}{243,5}\right)\left(\frac{T}{243,12}\right)\right)} \right) \\
T_{dp} &= \frac{243,12 \cdot \gamma_m(T, RH)}{17,62 - \gamma_m(T, RH)} [^{\circ}C]
\end{aligned} \tag{5.3}$$

kde: $P_{s:m}(T)$ tlak nasycené vodní páry [hPa]

T suchá teplota [$^{\circ}C$]

RH relativní vlhkost [%]

T_{dp} teplota rosného bodu [$^{\circ}C$]

Tato rovnice platí pro rozsah teploty od $-45^{\circ}C$ do $60^{\circ}C$, což bohatě pokryje měřený rozsah venkovním čidlem s přesností 0,1 %.

6 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI ZAŘÍZENÍ

Detailní popis ověření funkčnosti vytvořeného systému je uvedený v následujících podkapitolách.

6.1 Ověření funkčnosti bezdrátových modulů

Vytvořený firmware byl nahrán do bezdrátových jednotek. Tyto jednotky byly poté umístěny na místa předpokládaného použití v obytném domě a byly ponechány v provozu po dobu 4 měsíců. Po tuto dobu byl sledován provoz systému. V různých intervalech byly nastaveny různé teploty a parametry. Vzhledem k tomu, že k prototypu byla vytvořena pouze jedna sada bezdrátových jednotek, postupně byly změněny adresy těchto zařízení pro otestování různých stavů, a vyzkoušení regulace teploty v každé konfigurovatelné místnosti. Během tohoto zkušebního období správná regulace teploty byla vyzkoušena v jedné místnosti pomocí ovládatelného aktuátoru, který nahradil termohlavici ventilu radiátoru. Další různé kombinace možných stavů byly vyzkoušeny pomocí simulace naměřených hodnot, a to ručním nastavováním přímo v registru centrální bezdrátové jednotky pomocí sériové linky. Bezdrátová jednotka měření povětrnostních veličin byla umístěna – po dostatečném zaizolování proti vodě – na vnější zeď obytného domu.

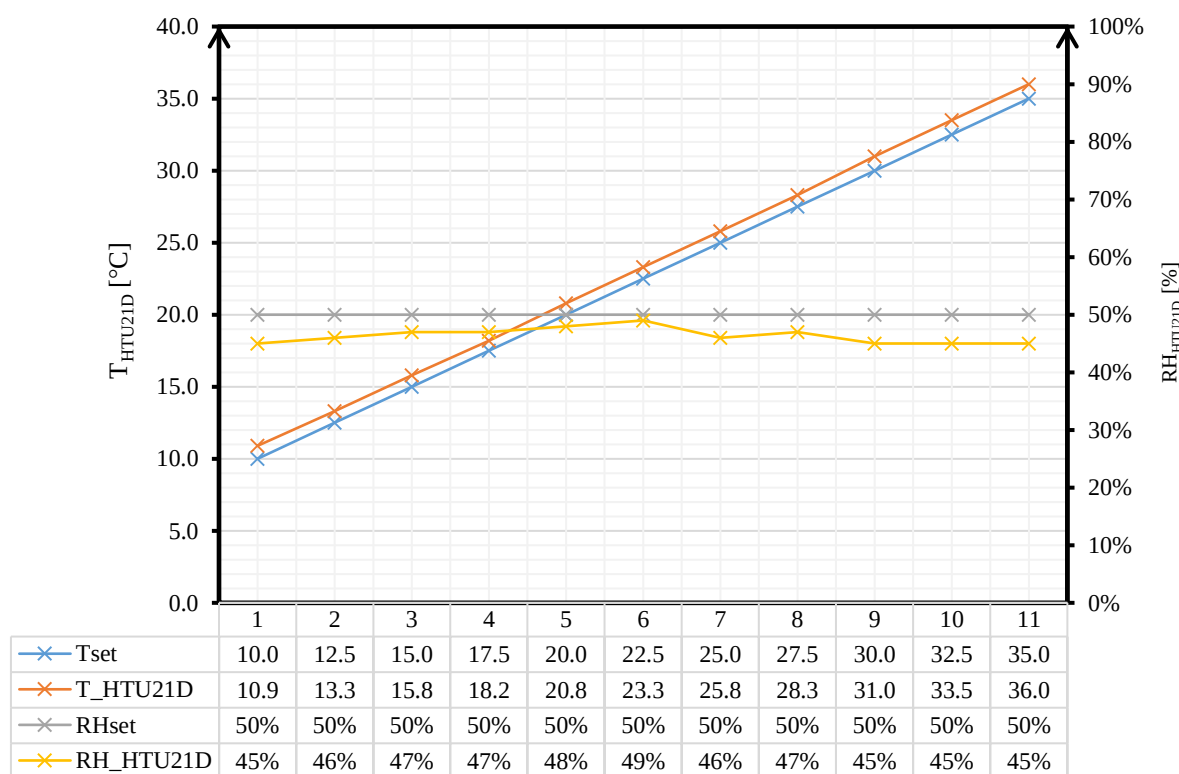
6.1.1 Dosah bezdrátových jednotek

Jak již bylo zmíněno, jednotky byly umístěny na místech, kde se předpokládá jejich použití v reálném provozu v obytném domě. Vzdálenost bezdrátových jednotek od centrální jednotky byla v některých případech i víc než 10 metrů, a to i skrz několik vrstev zdi. Neobjevily se žádné problémy s komunikací po dobu testovacího provozu. Z toho důvodu je možné dosah bezdrátových jednotek považovat za dostatečný při použití v obvyklém prostředí obytného domu.

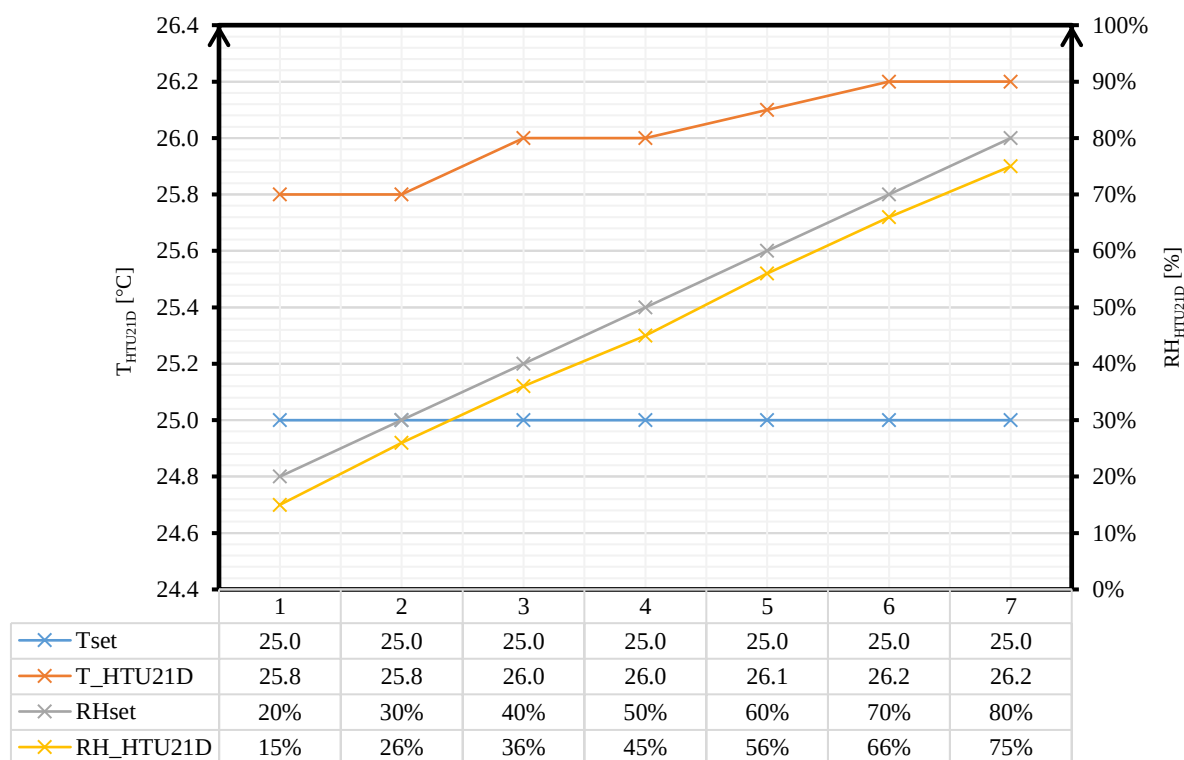
6.1.2 Přesnost měření snímačů

Pro ověření správnosti měření teplotních čidel byla tato čidla s bezdrátovými jednotkami umístěna do klimatické komory typu WK3 340/40 firmy Weiss Technik [37]. Teplota a vlhkost byly nastavovány v rozsahu 10 °C až 35 °C s krokem 2,5 °C a 20 až 80 % vlhkosti s krokem 10 %. Dále pro externí jednotky byl tento rozsah experimentálně

rozšířen na -30 °C až 70 °C pouze pro ověření schopnosti provozu při extrémních teplotách. Pro ověření byla umístěna teplotní sonda TESTO 735-2 [38] v těsné blízkosti čipů snímačů a následně byla porovnána naměřená hodnota teploty. Naměřená vlhkost byla porovnána s hodnotou naměřenou snímačem GFTH 200 firmy Greisinger [39]. Teplotní charakteristika každého snímače odpovídala přesnosti uvedeného v produktových listech, kromě snímače teploty a vlhkosti HTU21D umístěného na centrální jednotce, který vykazoval kladné lineární posunutí měřené teploty v průměru o 0,9 °C v rozsahu měření. Navíc naměřená teplota je závislá na vlhkosti, při vyšší vlhkosti snímač vykazoval větší posunutí. Toto posunutí naměřené hodnoty bylo odstraněno přidáním korekčního koeficientu ve firmware centrální jednotky. Graf č. 6.1 a Graf č. 6.2 znázorňuje naměřené charakteristiky tohoto snímače.



Graf č. 6.1 – Teplotní charakteristika snímače HTU21D



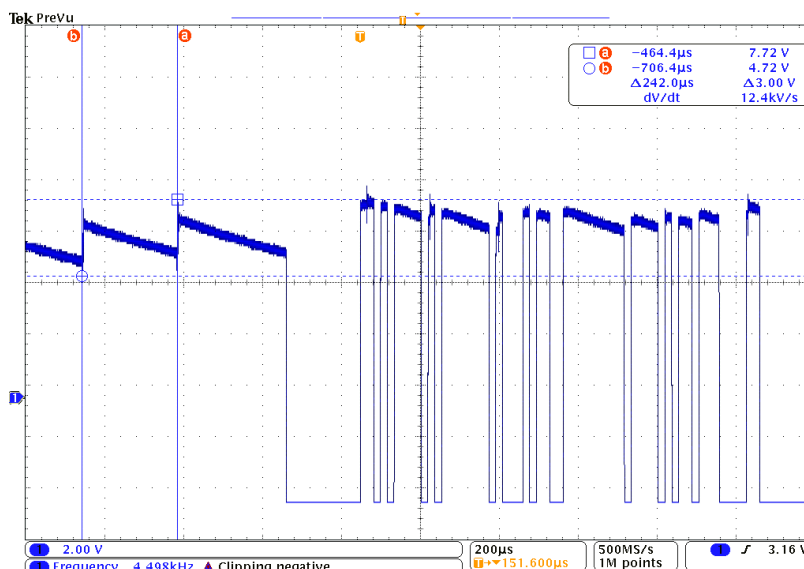
Graf č. 6.2 – Charakteristika měření vlhkosti snímače HTU21D

V reálném provozu byla zjištěna velká setrvačnost měření vlastností ovzduší po umístění modulu v plastové krabici. Na základě zjištění je možné říci, že k velké setrvačnosti přispívá malá cirkulace vzduchu v krabici jednotky a nevhodné umístění snímače mezi bateriemi. V pokračování této práce je nutné navrhnout jiné umístění snímače a vytvořit další větrací otvory na krabici bezdrátové jednotky pro měření vlastností ovzduší. Dalším nežádoucím činitelem měření je přímé slunečné záření. Umístění snímací jednotky na místo s přímým slunečním zářením negativně ovlivňuje měření, díky čemuž naměřená teplota může být i o 30–40 °C vyšší, než by byla skutečná, měřená ve stínu.

6.2 Ověření funkčnosti vzdálené vizualizační a ovládací jednotky

Po vývoji uživatelské aplikace celý systém byl opětovně testován po dobu 2 týdnů pro ověření bezchybného provozu. Začátkem testování se objevily chyby při komunikaci ve formě výpadků spojení. Pravděpodobně zdrojem chyb byl nekvalitní zdroj souměrného napětí linky RS232 USB-Sériového převodníku, který vykazoval velké

vlnění (ripple) napětí. Obrázek č. 6.1 znázorňuje průběh komunikace pomocí nekvalitního převodníku. Vlnění o frekvenci přibližně 4 kHz způsobovalo špatné vyhodnocování hran v komunikaci. Tato chyba byla odstraněna koupou kvalitnějšího převodníku.



Obrázek č. 6.1 – Vlnění napětí zdroje napájení sériové linky USB převodníku

Po opravení dalších malých chyb ve software a firmware zařízení, systém vyhovuje požadavkům kladeným v zadání práce.

6.3 Další možná vylepšení systému

V dnešní době na trhu existují i další možnosti regulace vytápění. Jedním z takových možností je například modulační regulace kotle, která vhodnou modulací výkonu dokáže regulovat bez skokových změn a bezproblémově udržovat požadované teploty [58]. V případném pokračování této práce by bylo možné se soustředit na využití těchto možností a navrhnout vhodný regulátor pro modulační regulaci topného zařízení.

Dalším z možností je doplnění vzdálené vizualizační a ovládací jednotky o možnosti ovládání osvětlení, oken, žaluzií, popřípadě přidáním možnosti ovládání multimediálních zařízení. Po doplnění systému o další snímače, jako je například snímač rychlosti větru nebo snímače srážek by bylo dále možné vzdálenou jednotku využít jako meteorologickou stanici.

Pro usnadnění instalace bezdrátové jednotky akčních členů by bylo možné v pokračování práce navrhnout řešení napájení pomocí baterií, ovšem v tomto případě je nutné nahradit původní relé bistabilními z důvodu snížení spotřeby.

7 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala rozšířením a modernizací zařízení vytvořeného v rámci bakalářské práce Terminál pro vizualizaci a ovládání podmínek v obytném domě [1].

V první části práce byla popsána původní realizace terminálu, jeho možnosti, výhody a nevýhody. V podkapitole 1.2 jsou shrnuty nedostatky tohoto řešení zjištěné po dobu dvouletého testovacího provozu a v podkapitole 1.3 jsou navrženy nové požadavky na vylepšení, např. bezdrátová komunikace a rozšíření počtu měřených veličin.

Podkapitola 2.1 se věnuje návrhu nové hierarchie zařízení, kterým byl zvolen distribuovaný „*master-slave*“ model. Na bezdrátovou komunikaci bylo zvoleno bezlicenční pásmo na frekvenci 868 MHz a moduly RFM69HW [8]. Podkapitola 2.3 popisuje zvolené snímače pro měření teploty vzduchu a topné vody, snímače vlhkosti, atmosférického tlaku a intenzity osvětlení, které jsou detailně popsány. Podkapitoly 2.4 a 2.5 se zabývají výběrem vhodných periférií pro zvolené mikroprocesory řady HCS08.

Další, 3. kapitola práce se zabývá praktickou částí, návrhem hardware nových zařízení. Byla zvolena jednostranná varianta DPS z důvodu možnosti výroby při domácích amatérských podmínkách. Součástky byly zvoleny ve variantě SMT, což umožňovalo redukci velikosti DPS (viz Příloha č. 1 až Příloha č. 12). DPS byly osazeny ručně, bez použití profesionální techniky. Vytvořené zařízení jsou uloženy ve dvoudílných plastových krabičkách, které byly vytištěny na domácí 3D tiskárně.

Čtvrtému a pátému bodu zadání je věnována 4. kapitola práce. V podkapitole 4.1 je diskutován návrh komunikačního protokolu pro bezdrátové moduly. K zabezpečení komunikace je použito šifrování klíčem AES-128 a datagram je dále zabezpečen kontrolním součtem typu CRC-16 s polynomem CCITT. Zabezpečovací algoritmy již v sobě obsahují zvolené bezdrátové moduly, čímž se návrh firmware výrazně zjednodušil. Podkapitola 4.2 se zabývá vytvořením firmware pro centrální bezdrátovou jednotku v jazyce C. Pro ulehčení komunikace byl vytvořen registr jménem *System Register* o velikosti 256 bajtů, ve kterém jsou uloženy nejdůležitější naměřené a nastavené hodnoty, jako jsou teploty, stavy vstupů a výstupů atp. Dále byl implementován komunikační protokol pro komunikaci se vzdálenou vizualizační a ovládací jednotkou na sériovém rozhraní RS232, která využívá již zmíněný *System Register*. Detailní popis komunikace a registru je uveden v manuálu v elektronické příloze této práce. Podkapitola

4.3 diskutuje návrh firmware pro bezdrátové moduly pro měření vlastností ovzduší, teplot topné vody, dvoustavové ovládání zařízení a snímání stavů otevření oken.

Při oživování zapojení se objevil problém se spotřebou bateriových bezdrátových modulů, který se podařilo vyřešit. Problémem byly vnitřní, nedostupné a nezapojené piny mikrokontrolérů, které nebyly inicializovány, a z důsledku oscilace vstupní obvody pinů měly velkou spotřebu. Odstraněním problému je předpokládána provozní doba bezdrátových modulů na přibližně 2 roky. Popis řešení je uveden v podkapitole 4.4.

Předposlední 5. kapitola práce se věnuje šestému bodu zadání, návrhem firmware pro vzdálenou vizualizační a ovládací jednotku na platformě Raspberry Pi. Byla vytvořena aplikace platformy UWP [44] systému Windows 10 IoT [43], která podporuje dotyková zařízení a pomocí bezdrátové komunikace může být přenesena i na mobilní zařízení. Aplikace obsahuje prostředí pro vizualizaci stavů obytného domu, průběhy měřených veličin jsou zobrazeny v grafech (viz Obrázek č. 5.2 až Obrázek č. 5.7). Po rozšíření je možné jednotku využít jako centrální jednotku chytré domácnosti.

Poslední 6. kapitola se zabývá 7. a 8. bodem zadání, ověřením funkčnosti celého systému a návrhem dalších možných vylepšení. Výstupem práce je funkční systém, který dokáže regulaci teplot až v osmi místnostech obytného domu. Výhodou bezdrátové komunikace je možnost umístění bezdrátových modulů do větších vzdáleností od centrální jednotky. Při testování systém nevykazoval žádné problémy nebo chyby provozu, ovšem po umístění snímačů do klimatické komory byla zjištěna aditivní chyba snímače HTU21D (viz Graf č. 6.1 a Graf č. 6.2). Chybu způsobil i USB–sériový převodník, což bylo možné odstranit kvalitnějším převodníkem (viz podkapitola 6.2)

Veškeré výsledky, zdrojové kódy jsou přiloženy v elektronické podobě do přílohy odevzdané práce. Důležitým kritériem byla celková pořizovací cena. Cena navrženého prototypu systému se pohybuje kolem 6000,- Kč, včetně ceny vzdálené jednotky.

V této práci jsem realizoval návrh a vytvořil hardware nového zařízení, rozšířil počet měřených veličin, zprovoznil bezdrátovou komunikaci s centrální jednotkou a drátovou komunikaci mezi centrální jednotkou a vizualizační a ovládací jednotkou. Vytvořil jsem knihovny pro nové snímače a periferie, pro bezdrátovou i drátovou komunikaci a firmware pro bezdrátové jednotky a vzdálenou vizualizační a ovládací jednotku.

V pokračování práce je možné se zaměřit na možnost implementace do Cloud systémů a vytvořit tak zařízení, který může být součástí inteligentní domácnosti.

LITERATURA

- [1] 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.
- [2] FREESCALE SEMICONDUCTOR. MC9S08LH64 Reference Manual [online]. Revision 5.1. 2012 [cit. 2016-11-10]. Dostupné z: http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref_manual/MC9S08LH64RM.pdf
- [3] PHILIPS SEMICONDUCTORS. Specialty Logic Product Line Logic Product Group: I²C MANUAL [online]. Datasheet: AN10216-01 Rev. March 24, 2003. Vydáno: 2003 [cit. 2016-11-10]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10216.pdf
- [4] Pásmo ISM. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1smo_ISM
- [5] I²C. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-11-10]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
- [6] ČESKÝ TELEKOMUNIKAČNÍ ÚŘAD: Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/11.2016-13 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu [online]. Vydáno: 2015 [cit. 2016-11-13] Dostupné z: <https://www.ctu.cz/sites/default/files/obsah/ctu/vseobecne-opravneni-c.vo-r/10/11.2016-13/obrazky/vo-r10-112016-13.pdf>
- [7] ČESKÝ TELEKOMUNIKAČNÍ ÚŘAD: Využívání vymezených rádiových kmitočtů. Český telekomunikační úřad [online]. [2016] [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: <http://www.ctu.cz/vyuzivani-vymezeny-radiovykh-kmitoctu>
- [8] HOPERF ELECTRONIC. RFM69HW ISM Transceiver Module [online]. Datasheet: RFM69HW V1.3. Vydáno: 2006 [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: <http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM69HW-V1.3.pdf>
- [9] Frequency-shift keying. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Frequency-shift_keying

- [10] Serial Peripheral Interface Bus. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus
- [11] Spáčil J. Komunikační systémy s digitálními modulacemi. Brno: VUT. FEKT. Ústav Telekomunikací, [2008]. 56 s. Vedoucí práce byl Ing. Radim Číž.
- [12] GÁL, M. Sportovní bezdrátová časomíra. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 63 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Petyovský.
- [13] Sensors : Adafruit Industries, Unique; fun DIY electronics and kits [online]. [cit. 2016-11-23]. Dostupné z: <https://www.adafruit.com/categories/35>
- [14] BOSCH SENSORTEC. BME280 Combined humidity and pressure sensor. [online]. Datasheet: BST-BME280-DS001-11 Rev. 1.2. Vydáno: 2015-Oct-26 [cit. 2016-11-23]. Dostupné z: https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BME280_DS001-11.pdf
- [15] MEASUREMENT SPECIALTIES. Digital Humidity Sensors: Humidity and Temperature Sensor - HTU21D [online]. Datasheet: HPC199_6 Rev. September 2015. Vydáno: 2015 [cit. 2016-11-23]. Dostupné z: <http://www.te.com/usa-en/product-CAT-HSC0004.html>
- [16] TAOS. TSL2560, TSL2561 Light-to-digital converter[online]. Datasheet: TAOS059N Rev. March 2009. Vydáno: 2009 [cit. 2016-11-23]. Dostupné z: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TSL2561.pdf>
- [17] MICROCHIP. Thermal Management - Temperature Sensors: MCP9808 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ Maximum Accuracy Digital Temperature Sensor [online]. Datasheet: DS25095A Revision A (October 2011). Vydáno: 2011 [cit. 2016-11-23]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/25095A.pdf>
- [18] NXP SEMICONDUCTORS. MC9S08QE128 Series Reference Manual [online]. Datasheet: MC9S08QE128, Revision 7, 10/2008 [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <http://www.nxp.com/assets/documents/data/en/data-sheets/MC9S08QE128.pdf>
- [19] MIDAS COMPONENTS LTD. MC42004A6W-BNMLW [online]. Datasheet: MC42004A6W-BNMLW, Revision 1, 2/2011 [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <http://datasheet.octopart.com/MC42004A6W-BNMLW-Midas-datasheet-11046173.pdf>

- [20] MAXIM INTEGRATED. DS1307 64 x 8, Serial, I2C Real-Time Clock [online].
 Datasheet: DS1307, Revision 3/2015 [cit. 2016-11-28]. Dostupné z:
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>
- [21] MAXIM INTEGRATED. MAX3222/MAX3232/MAX3237/MAX3241* 3.0V to 5.5V,
 Low-Power, up to 1Mbps, True RS-232 Transceivers Using Four 0.1µF External
 Capacitors [online]. Datasheet: 19-0273. Revision 7 (January 2007). Vydáno: 2007.
 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z:
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX3222-MAX3241.pdf>
- [22] MICROCHIP. MCP1802: 300 mA, High PSRR, Low Quiescent Current LDO [online].
 Datasheet: DS22053B Revision B (January 2009). Vydáno: 2007 [cit. 2016-11-30].
 Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22053b.pdf>
- [23] FREESCALE SEMICONDUCTOR. MC9S08QE8 Series Reference Manual [online].
 Datasheet: MC9S08QE8, Revision 8, 4/2011 [cit. 2016-11-28]. Dostupné z:
http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08QE8.pdf
- [24] PLOSNÁKY.CZ. Výroba plošných spojů - plosnaky.cz - Rychle a levně. [online]. [cit.
 2016-11-07]. Dostupné z: <https://www.plosnaky.cz/technicke-parametry>
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] ANDRÉ HEßLING. RFM69-STM32 Driver [online] [cit. 2016-11-15]. Dostupné z:
<https://github.com/ahessling/RFM69-STM32>
- [28] VOJTĚCH VLADYKA. RFM69HW Driver [online] [cit. 2016-11-15]. Dostupné z:
<https://gitlab.com/foxyco/kinetik/blob/master/KinetikNode/src/drivers/rfm69w.c>
- [29] AVR-GCC Libraries: LCD library <lcd.h> [online] [cit. 2016-11-20]. Dostupné z:
http://homepage.hispeed.ch/peterfleury/doxygen/avr-gcc-libraries/group__pfleury__lcd.html
- [30] ATM. ATM1602B Liquid Crystal Display Module [online] Datasheet: Revision 1.0. [cit.
 2016-11-19]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/513/128/mc1602e-sbl-h-datasheet-1.pdf>
- [31] Peter Fleury Online: AVR Software [online]. [cit 2016-11-19]. Dostupné z:
<http://homepage.hispeed.ch/peterfleury/avr-software.html>

- [32] HD44780 Library | AVR Freaks [online]. [cit 2016-11-19]. Dostupné z:
<http://community.atmel.com/projects/hd44780-library>
- [33] Software debouncing of buttons [online]. [cit 2016-11-19]. Dostupné z:
http://www.avrfreaks.net/sites/default/files/forum_attachments/debounce.pdf
- [34] SILICON LABS. EFM32™ Low Energy USB Interface Happy Gecko Starter Kit [online]. [cit 2016-12-14]. Dostupné z: <https://www.silabs.com/products/mcu/32-bit/Pages/efm32hg-stk3400.aspx>
- [35] SILICON LABS. Simplicity Studio 4 [online]. [cit 2016-12-14]. Dostupné z:
<http://www.silabs.com/products/mcu/Pages/simplicity-studio.aspx>
- [36] DIGI-KEY ELECTRONICS. Battery Life Calculator | DigiKey Electronics [online]. [cit 2016-12-14]. Dostupné z: <http://www.digikey.com/en/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-battery-life>
- [37] WEISS TECHNIK BELGIUM. WK3-340/40 [online]. [cit 2016-12-21]. Dostupné z:
<http://www.weissttechnik.be/item/130/43/WK3-34040/>
- [38] TESTO. TESTO 735-2 Temperature measuring instrument (3-channel). [online].
Datasheet: TESTO 735-2. Rev. 01/2014 Vydáno: 2014 [cit. 2016-12-21]. Dostupné z: https://media.testo.com/media/4c/b4/a0aadcf42734/testo-735_-Data-Sheet.pdf
- [39] GREISINGER. GFTH 200 operating manual [online]. Datasheet: H53.0.02.6C-14
Vydáno: 2014 [cit. 2016-12-21]. Dostupné z:
https://greisinger.de/files/upload/en/produkte/bda/GFTH200_EN.pdf
- [40] 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
- [41] RASPBERRY PI. Raspberry Pi 3 Model B. [online]. [cit 2017-04-20]. Dostupné z:
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- [42] RASPBERRY PI. Raspberry Pi Touch Display [online]. [cit 2017-04-20]. Dostupné z:
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-touch-display/>
- [43] MICROSOFT. Windows 10 IoT Core. [online]. [cit 2017-04-20]. Dostupné z:
<https://developer.microsoft.com/en-us/windows/iot>
- [44] MICROSOFT. XAML platform – UWP app developer. [online]. [cit 2017-04-21].
Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/uwp/xaml-platform/>

- [45] MICROSOFT. Xamarin App Development with Visual Studio. [online]. [cit 2017-04-21]. Dostupné z: <https://www.visualstudio.com/xamarin/>
- [46] MICROSOFT. Guidelines for Universal Windows Platform (UWP) apps. [online]. [cit 2017-04-21]. Dostupné z: <https://msdn.microsoft.com/en-us/microsoft-r/hh465424>
- [47] Atmospheric pressure. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_pressure
- [48] KEISAN CASIO: Conversion to sea-level pressure Calculator. [online]. [cit 2017-04-25]. Dostupné z: <http://keisan.casio.com/exec/system/1224575267>
- [49] MICROSOFT: Windows.Devices.Geolocation Namespace [online]. [cit 2017-04-25]. Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/en-us/uwp/api/windows.devices.geolocation>
- [50] GOOGLE: Google Maps Elevation API [online]. [cit 2017-04-25]. Dostupné z: <https://developers.google.com/maps/documentation/elevation/start>
- [51] Dew point. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Dew_point
- [52] MICROSOFT: Serial Sample [online]. [cit 2017-04-10]. Dostupné z: <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/iot/samples/serialuart>
- [53] SyncFusion: Comprehensive collection of UWP controls including Chart, Gauge, map and date picker for developing Windows Store/metro style apps [online]. [cit 2017-04-10]. Dostupné z: <https://www.syncfusion.com/products/uwp>
- [54] TurboFuture: Creating A "Hamburger" Menu for Windows 10 UWP Apps [online]. [cit 2017-04-10]. Dostupné z: <https://turbofuture.com/misc/Creating-a-Hamburger-Menu-for-Windows-10-UWP-Apps>
- [55] CodeProject: Numeric TextBox for Universal Windows App (UWP) [online]. [cit 2017-04-15]. Dostupné z: <https://www.codeproject.com/articles/1156810/numeric-textbox-for-universal-windows-app-uwp>
- [56] Vybrané vlastnosti DPS. Katedra mikroelektroniky, Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze. [online]. [cit 2017-04-18]. Dostupné z: http://www.micro.feld.cvut.cz/home/zahlava/ppn/prednasky/01_Vlastnosti_DPS.pdf
- [57] SURYADEVARA, Nagender Kumar. Smart homes: design, implementation and issues. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2014, ISBN 9783319135564.
- [58] DAKON: Modulační regulace. [online]. [cit 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.dakon.cz/slovník/modulacni-programator/>

- [59] Wi-Fi positioning system. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_positioning_system

SEZNAM SYMBOLŮ, ZKRATEK A VELIČIN

LCD – *liquid-crystal display*
I²C – *Inter-Integrated Circuit*
PC – *Personal computer*
FLASH – *druh paměti*
RAM – *Random-access memory*
DPS – *deska plošných spojů*
ISM – *Industrial, scientific and medical*
GL – *generální licence*
RC – *Radio control*
VO – *všeobecná oprávnění*
GSM – *Global System for Mobile communication*
RLAN – *Radio Local Area Network*
RFID – *Radio-frequency identification*
ASK – *Amplitude-shift keying*
FSK – *Frequency-shift keying*
OOK – *On-off keying*
MSK – *Minimum-shift keying*
GMSK – *Gaussian minimum-shift keying*
SPI – *Serial Peripheral Interface*
MISO – *Master Input Slave Output*
MOSI – *Master Output Slave Input*
SCK – *Serial Clock*
NSS – *Slave select*
CRC – *Cyclic redundancy check*
AES – *Advanced Encryption Standard*
FIFO – *First In, First Out*
SMD – *Surface-mount device*
RSSI – *Received signal strength indication*
DIO – *Digital Input/Output*
VDD, VCC – *napájecí napětí*

GND – *napájecí zem*
 IR – *Infrared*
 ADC – *Analog-to-digital converter*
 RH – *Relative Humidity*
 TPM – *Timer/Pulse-Width Modulator*
 SCI – *Serial Communications Interface*
 KBI – *Keyboard Interrupt*
 RTC – *Real-Time Counter*
 LQFP – *Low Profile Quad Flatpack*
 QFN – *Quad flat no-lead*
 MCU – *Microcontroller unit*
 LVD – *Low-Voltage Detect System*
 BDI – *Background Debug Interface*
 BKGD – *Background Debug Wire*
 PWM – *Pulse-width modulation*
 USART – *Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter*
 LDO – *Low-Dropout regulator*
 SOIC – *Small Outline Integrated Circuit*
 PDIP – *Plastic Dual In-Line Packages*
 TSSOP – *Thin-shrink small outline package*
 SMT – *Surface mount technology*
 THT – *Through-hole technology*
 DIL8 – *Dual In-Line Package*
 MOSFET – *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*
 ROHS – *Restriction of Hazardous Substances Directive*
 CNC – *Computer Numerical Control*
 PLA – *Polylactic acid*
 ABS – *Acrylonitrile butadiene styrene*
 Pull-up, -down resistor – *rezistor zajišťující platnou logickou úroveň vstupu, je-li externí zařízení odpojeno nebo vstup je ve stavu vysoké impedance.*
 Real-time – *reálný čas*
 LPO – *low power oscillator*

Half-duplex – *metoda obousměrné komunikace*

GPIO – *General-purpose input/output*

HDMI – *High-Definition Multimedia Interface*

CSI – *Camera Serial Interface*

DSI – *Display Serial Interface*

UWP – *Universal Windows Platform*

XAML – *Extensible Application Markup Language*

NTP – *Network Time Protocol*

API – *Application program interface*

GPS – *Global Positioning System*

USB – *Universal Serial Bus*

CCITT – *Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique* –
Telecommunication Standardization Sector of the International Telecommunications
Union

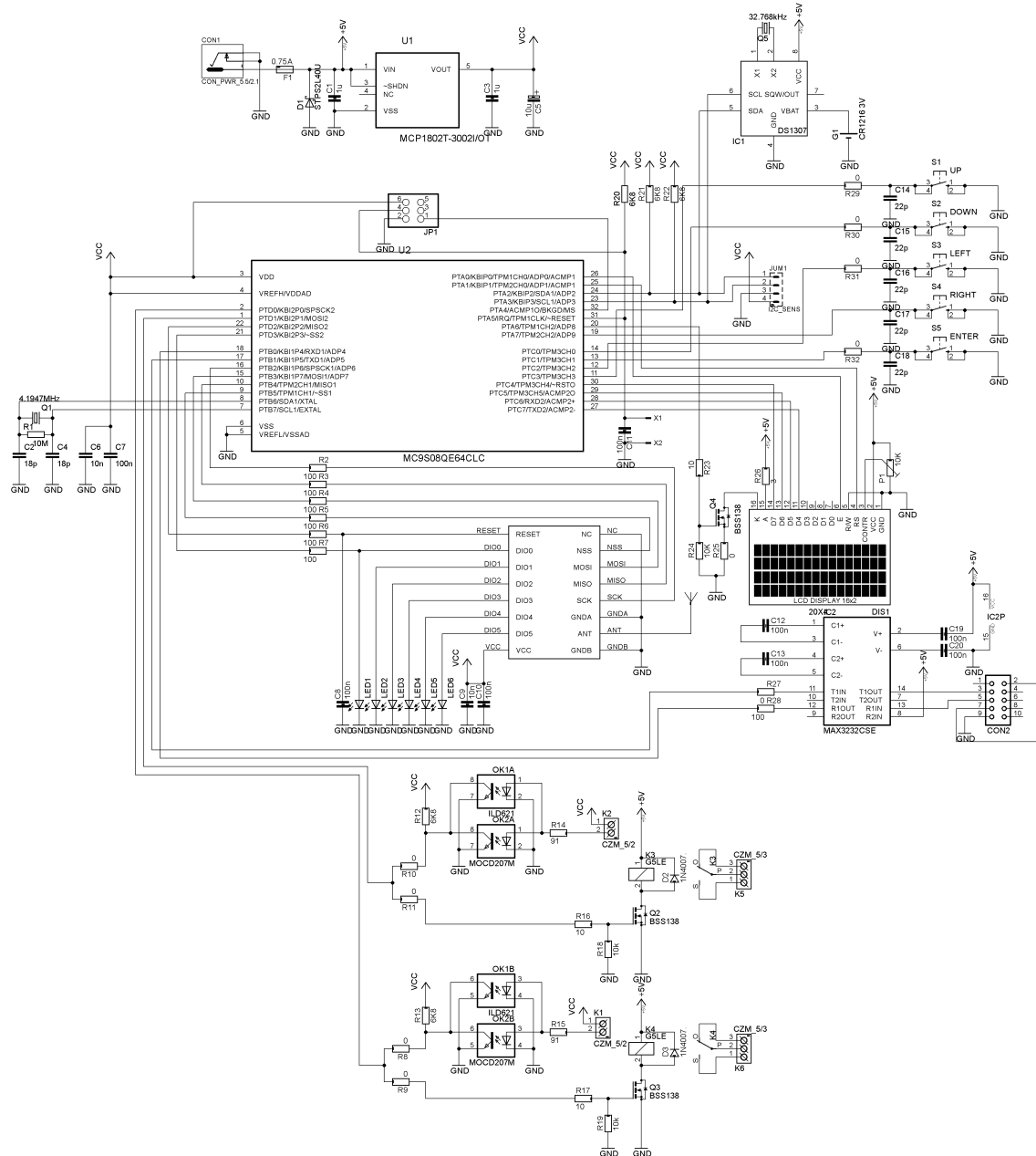
PŘÍLOHY

A Schémata.....	81
B Vývojové diagramy.....	87

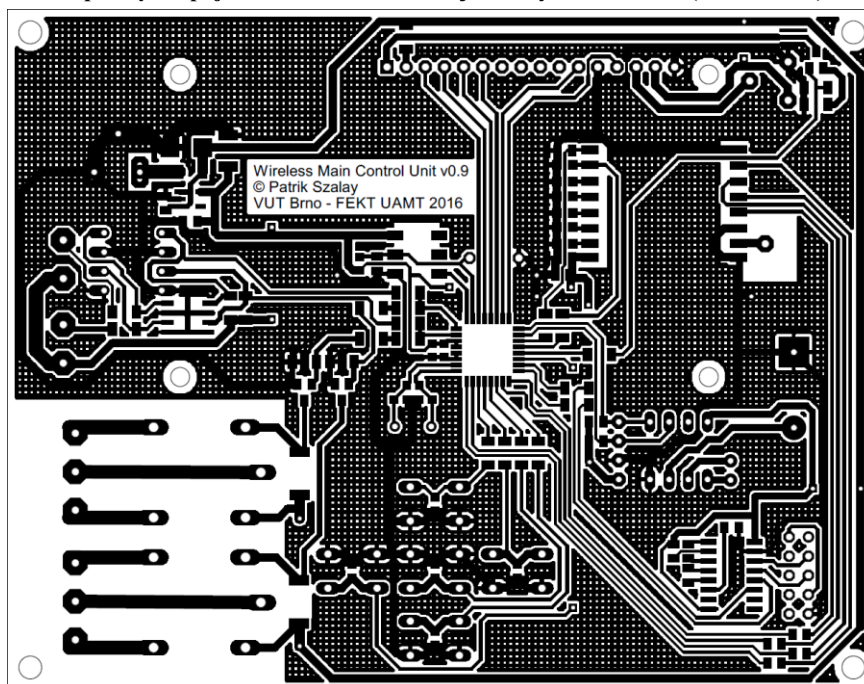
Příloha č. 1 – Schéma desky centrální bezdrátové jednotky.....	81
Příloha č. 2 – Deska plošných spojů centrální bezdrátové jednotky – BOTTOM (měřítko 1:1).....	82
Příloha č. 3 – Osazovací plán DPS centrální bezdrátové jednotky – TOP (měřítko 1:1).....	82
Příloha č. 4 – Osazovací plán DPS centrální bezdrátové jednotky – BOTTOM (měřítko 1:1).....	83
Příloha č. 5 – Schéma desky bezdrátového modulu měření	83
Příloha č. 6 – Deska plošných spojů bezdrátového modulu měření – BOTTOM (měřítko 1:1).....	84
Příloha č. 7 – Osazovací plán DPS bezdrátového modulu měření – TOP (měřítko 1:1).....	84
Příloha č. 8 – Osazovací plán DPS bezdrátového modulu měření – BOTTOM (měřítko 1:1).....	84
Příloha č. 9 – Schéma desky bezdrátového modulu akčních členů	85
Příloha č. 10 – Deska plošných spojů bezdrátového modulu akčních členů – BOTTOM (měřítko 1:1).....	85
Příloha č. 11 – Osazovací plán DPS bezdrátového modulu akčních členů – TOP (měřítko 1:1).....	85
Příloha č. 12 – Osazovací plán DPS bezdrátového modulu akčních členů – BOTTOM (měřítko 1:1).....	86
Příloha č. 13 – Vývojový diagram firmware centrální bezdrátové jednotky.....	87
Příloha č. 14 – Vývojový diagram firmware bezdrátové jednotky měření veličin.....	88
Příloha č. 15 – Vývojový diagram firmware bezdrátové jednotky akčních členů.....	89

A SCHÉMATA

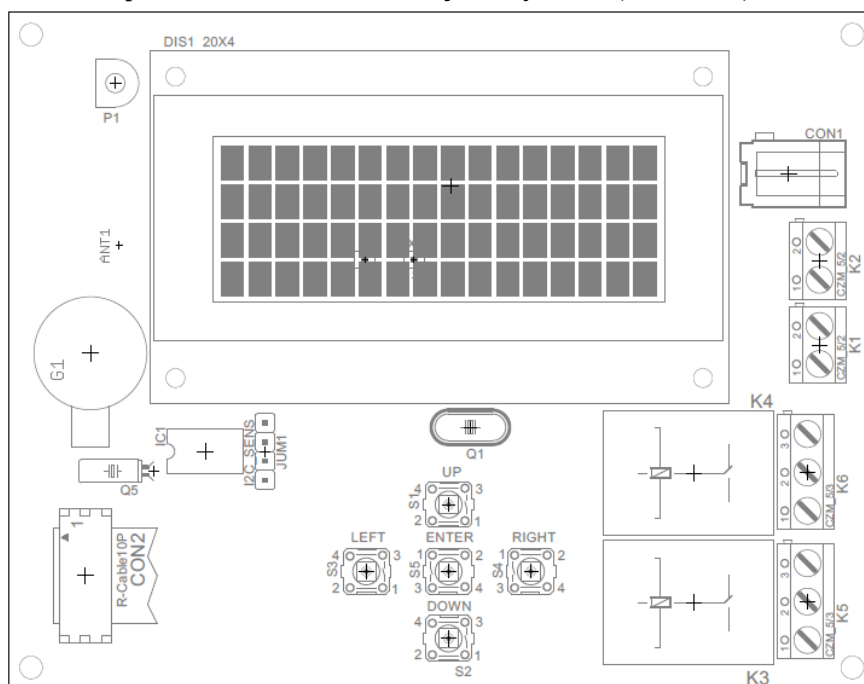
Příloha č. 1 – Schéma desky centrální bezdrátové jednotky



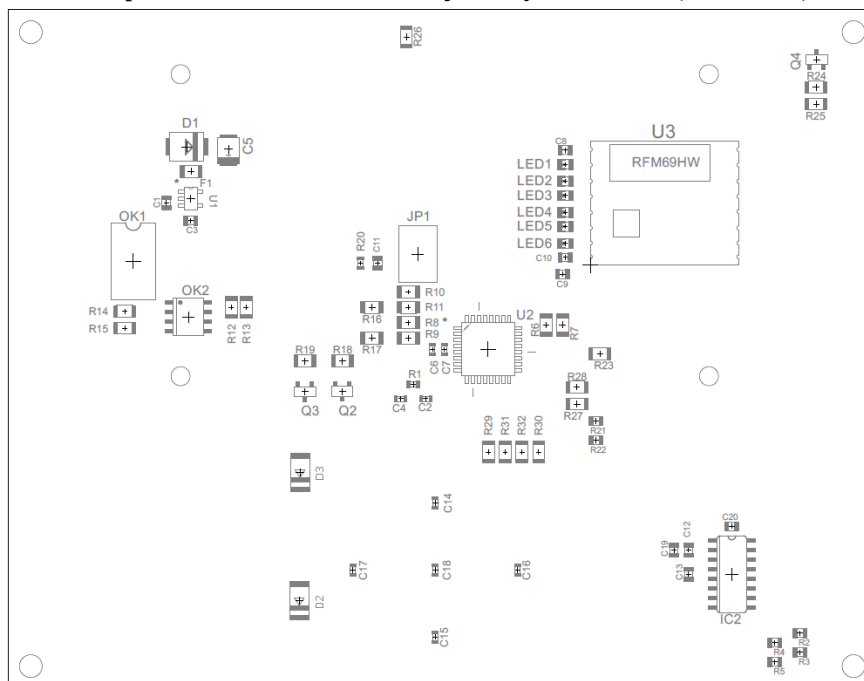
Příloha č. 2 – Deska plošných spojů centrální bezdrátové jednotky – BOTTOM (měřítko 1:1)



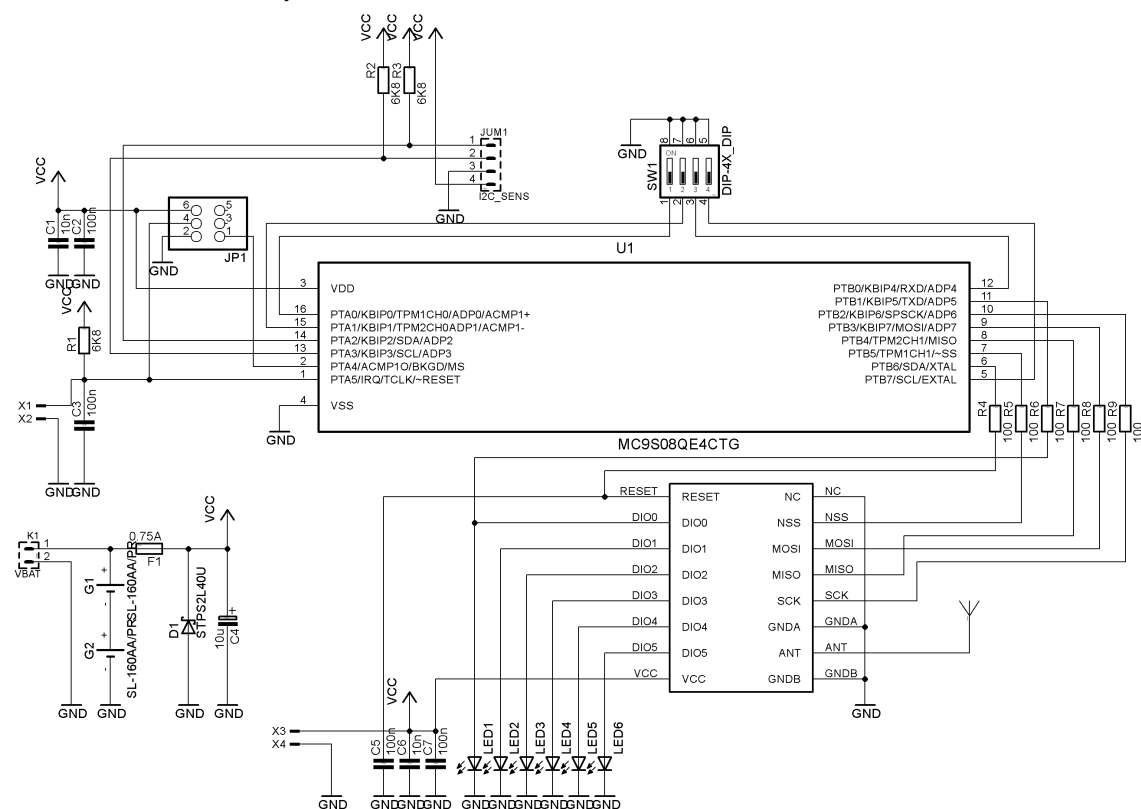
Příloha č. 3 – Osazovací plán DPS centrální bezdrátové jednotky – TOP (měřítko 1:1)



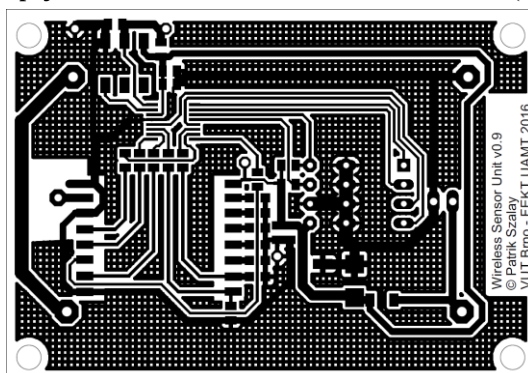
Příloha č. 4 – Osazovací plán DPS centrální bezdrátové jednotky – BOTTOM (měřítko 1:1)



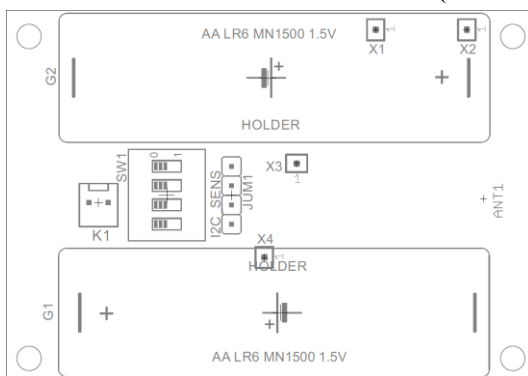
Příloha č. 5 – Schéma desky bezdrátového modulu měření



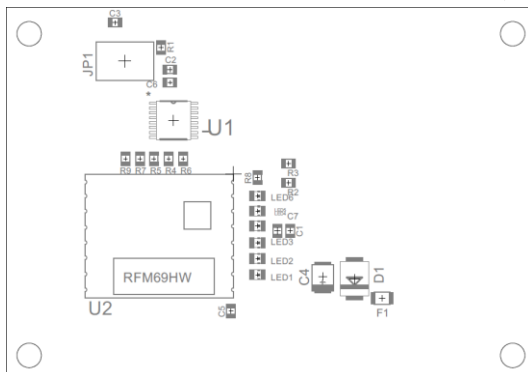
Příloha č. 6 – Deska plošných spojů bezdrátového modulu měření – BOTTOM (měřítko 1:1)



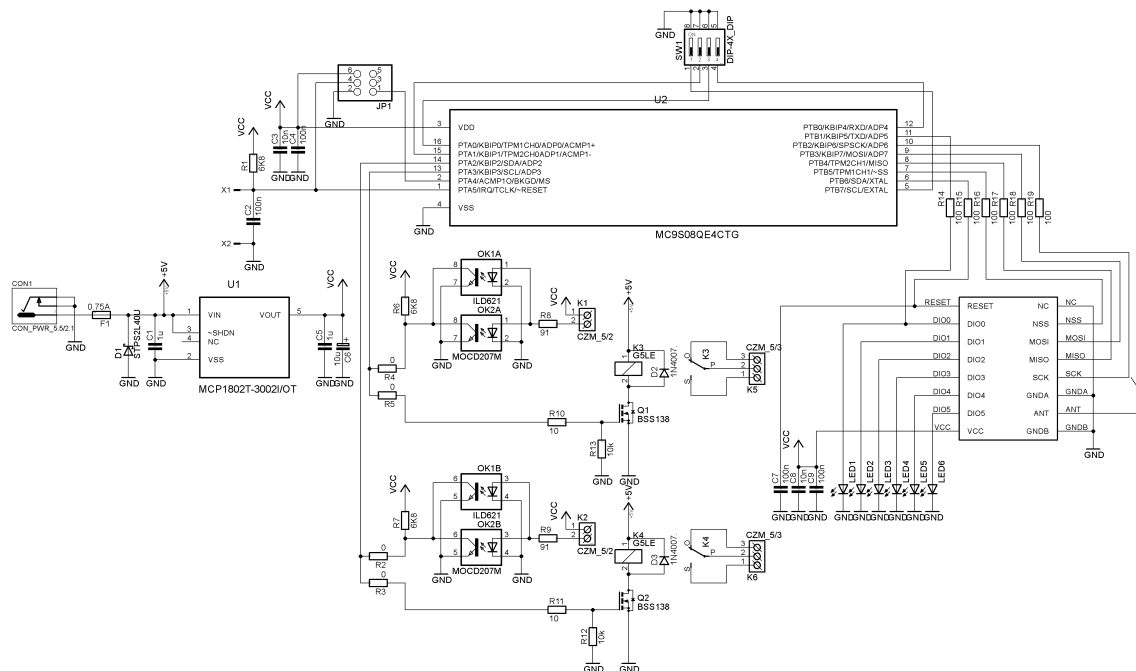
Příloha č. 7 – Osazovací plán DPS bezdrátového modulu měření – TOP (měřítko 1:1)



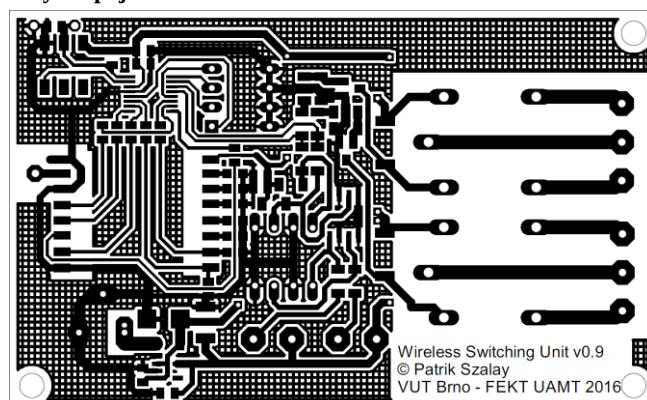
Příloha č. 8 – Osazovací plán DPS bezdrátového modulu měření – BOTTOM (měřítko 1:1)



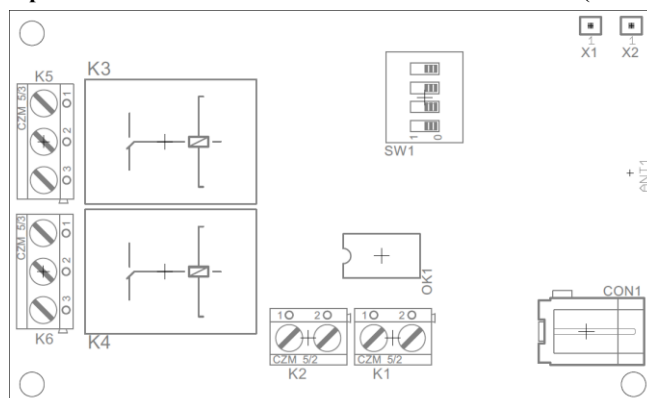
Příloha č. 9 – Schéma desky bezdrátového modulu akčních členů



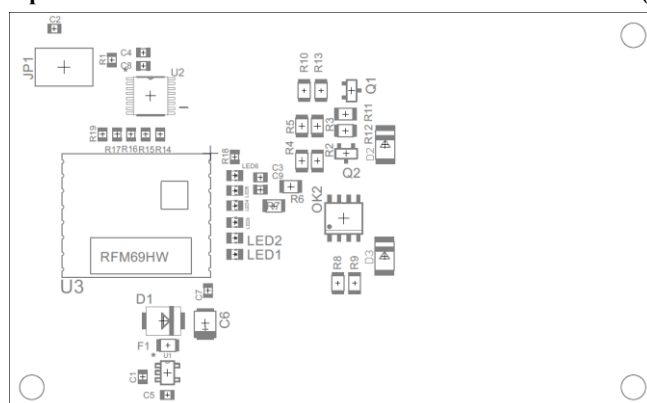
Příloha č. 10 – Deska plošných spojů bezdrátového modulu akčních členů – BOTTOM (měřítko 1:1)



Příloha č. 11 – Osazovací plán DPS bezdrátového modulu akčních členů – TOP (měřítko 1:1)

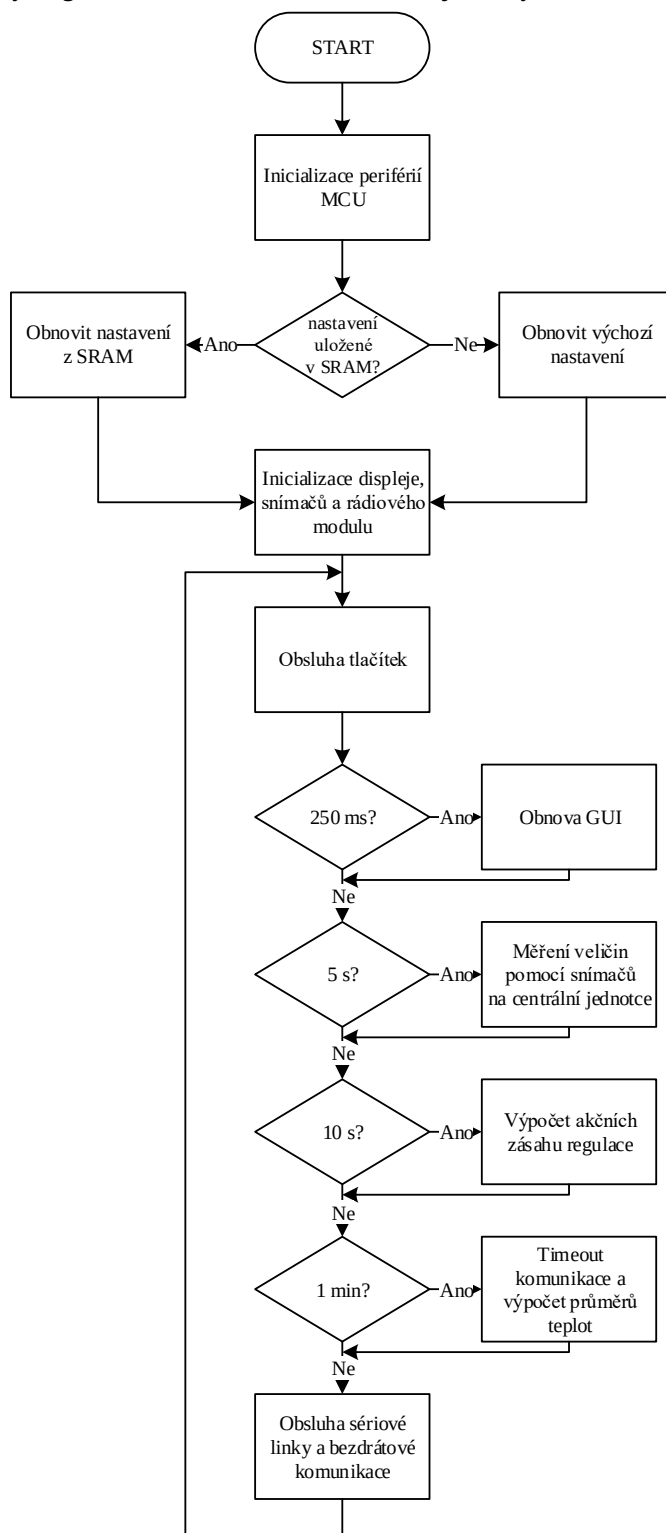


Příloha č. 12 – Osazovací plán DPS bezdrátového modulu akčních členů – BOTTOM (měřítko 1:1)

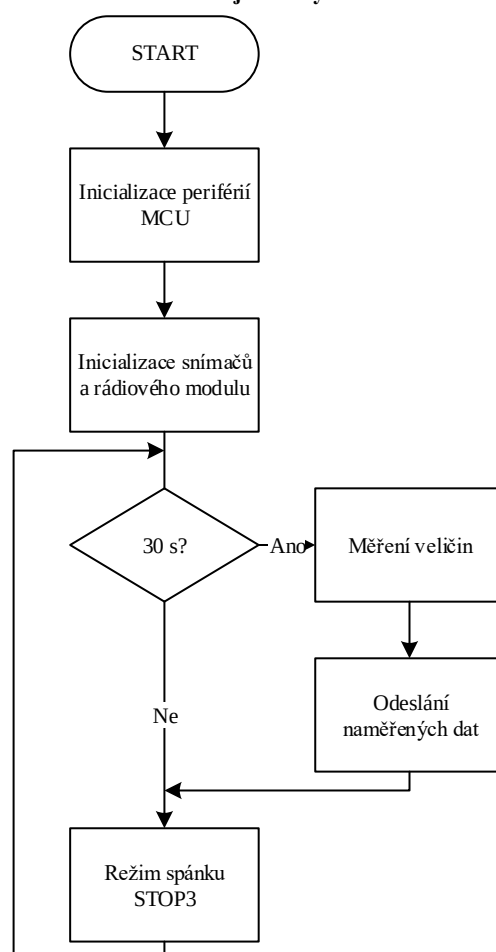


B VÝVOJOVÉ DIAGRAMY

Příloha č. 13 – Vývojový diagram firmware centrální bezdrátové jednotky



Příloha č. 14 – Vývojový diagram firmware bezdrátové jednotky měření veličin



Příloha č. 15 – Vývojový diagram firmware bezdrátové jednotky akčních členů

