

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Bakalářská práce



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Bakalářská práce



Jan Zmatlík

Regulace parametrů prostředí v domácnosti

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Teplý

Studijní program: Komunikace, Multimédia a Elektronika

Studijní obor: Aplikovaná Elektronika

Praha 2017

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra mikroelektroniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **ZMATLÍK Jan**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Obor: Aplikovaná elektronika

Název tématu: **Regulace parametrů prostředí v domácnosti**

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte koncepci modulárního systému pro monitorování a regulaci kvality prostředí v domácnosti a návrh realizujte. Zvolte důležité parametry, které by měl systém sledovat a regulovat. Mezi tyto parametry by měla patřit teplota, vlhkost, koncentrace CO a CO₂. Na základě změřených hodnot a zvolených parametrů bude systém vykonávat požadovanou akci. Jednotlivé senzorové moduly by měly být napájeny z vestavěných akumulátorů a se základnovou stanicí by měly komunikovat formou bezdrátového přenosu dat.

Postup vypracování bakalářské práce:

- 1) Prostudujte dostupné informační zdroje z oblasti sledování kvality prostředí v domácnostech a na základě získaných informací navrhněte koncepci vlastního systému.
- 2) Navrhněte obvodové zapojení, včetně desek plošných spojů a vlastní návrh realizujte.
- 3) Ověřte funkčnost a změňte základní parametry realizovaného systému.
- 4) Zhodnoťte dosažené výsledky.

Seznam odborné literatury:

- [1] Fraden, J.: Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications 4th ed. 2010 Edition, Springer Science+Business Media, 2010
- [2] Barnett, R., H. - Cox, S. - O'Cull, L.: Embedded C Programming and the Atmel AVR 2nd Edition, Cengage learning, Delmar 2007
- [3] Evans, B.: Beginning Arduino Programming, 2011, ISBN 1430237775
- [4] Kernighan, B., W. - Ritchie, D., M.: Programovací jazyk C, Computer Press, a.s., Brno 2006

Vedoucí: **Ing. Tomáš Teplý**

Platnost zadání: 28. 2. 2018



prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 7. 10. 2016

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce, Ing. Tomáši Teplému, za připomínky, rady a za podporu. Dále Bc. Ludvíku Saskovi, jenž byl ochotný obětovat nemalou porci svého volného času, aby mě naučil základy programu Eagle. V neposlední řadě bych také rád poděkoval své rodině a zejména své přítelkyni, Dis. Olze Hamouzové, za trpělivost a neutuchající podporu.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že České Vysoké Učení Technické v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V Praze, dne

Podpis autora

Abstrakt

Cílem této práce je navrhnout modulární systém pro regulaci prostředí v běžné domácnosti. Hlavní důraz je kladen na ověření proveditelnosti a použitelnosti několika klíčových konceptů. Systém se bude skládat z jedné obslužné stanice, skrze kterou bude celý systém konfigurovaný, monitorovaný a ovládaný, a z mnoha bezdrátových senzorů různých typů a konfigurace. Dalšími důležitými požadavky jsou robustnost celého systému a jeho modularita.

Klíčová slova: regulace, měření, bezdrátová komunikace, modulární architektura

Abstract

The aim of this project is to develop modular system for regulation of environment in common household. Main features are verification of feasibility and usability of key concepts. System will consist of one base station, which will provide configuration, monitoring and control for whole system, and many wireless sensor modules of different configuration. Another key feature is modularity of the system.

Keywords: regulations, measurement, wireless communication, modular architecture

Obsah

1	Úvod	5
2	Dostupná komerční řešení	7
2.1	Loxone	7
2.2	Elektrobock	7
3	Senzory	9
3.1	Stanovení měřených a regulovaných veličin	9
3.1.1	Teplota	9
3.1.2	Vzdušná vlhkost	9
3.1.3	Koncentrace oxidu uhličitého	9
3.1.4	Koncentrace hořlavých plynů	9
3.1.5	Koncentrace oxidu uhelnatého	10
3.2	Senzory teploty	10
3.2.1	LM35	10
3.2.2	DS18B20	11
3.2.3	DHT11/DHT22/CM2302	11
3.3	Senzory relativní vzdušné vlhkosti	12
3.3.1	DHT11/22/CM2302	12
3.3.2	SHT2x	12
3.4	Senzory plynů	13
3.4.1	Řada senzorů MQ-x	14
3.5	Senzory přítomnosti osob	14
3.5.1	Optická závora	14
3.5.2	PIR senzor	14
3.6	Zvolené typy senzorů	15
4	Regulace	17
4.1	Diskrétní regulátory	17
4.1.1	Dvoustavový regulátor	17
4.1.2	Třístavový regulátor	17
4.2	Spojité regulátory	17
4.2.1	Proporcionální regulátor	18
4.2.2	Integrační regulátor	18
4.2.3	Derivační regulátor	18
4.3	Sdružené regulátory	19
4.3.1	PI regulátor	19
4.3.2	PID regulátor	19

4.3.3	Číslicové implementace spjitých regulátorů.....	20
4.3.4	Implementované druhy regulací.....	21
5	Komunikace	23
5.1	Univerzální vysílač a přijímač v pásmu 433MHz.....	23
5.2	nRF24	23
6	Mikrokontroléry.....	25
6.1	Architektura mikrokontrolérů	25
6.1.1	Instrukční sada	25
6.1.2	Mikrokontrolér/Mikroprocesor	26
6.2	Periferie a sběrnice	26
6.2.1	SPI	26
6.2.2	LCD.....	27
6.2.3	ADC	27
6.3	Výběr mikrokontroléru.....	27
6.3.1	Požadavky	27
6.3.2	Výběr.....	28
7	HW architektura	29
7.1	Společné požadavky	29
7.2	Obslužná stanice	29
7.3	Bezdrátové senzory.....	30
8	SW architektura	31
8.1	Architektura obslužné stanice.....	31
8.1.1	Diagram architektury	31
8.1.2	Modulárnost	32
8.1.3	Integrace dalších funkcností	33
8.1.4	Monitorování vytížení mikrokontroléru	33
8.1.5	Konkrétní problémy při implementaci.....	33
8.2	Architektura bezdrátových senzorů.....	35
9	Výroba a testování	37
9.1	Obslužná stanice	37
9.2	Bezdrátové senzory.....	37
9.2.1	Chyby v návrhu	37
9.2.2	Nedostatky v návrhu.....	38
9.2.3	Oživování	38
9.2.4	Testování.....	38
10	Závěr	39

11	Reference	41
12	Přílohy	43
12.1	Schéma obslužné stanice	43
12.2	Horní vrstva DPS obslužné stanice	43
12.3	Spodní vrstva DPS obslužné stanice	44
12.4	Schéma bezdrátového senzoru	44
12.5	Horní vrstva DPS bezdrátového modulu	45
12.6	Spodní vrstva DPS bezdrátového modulu	45
12.7	Desky plošných spojů	45
12.8	Osazená deska bezdrátového senzoru	46
12.9	Kompletní deska bezdrátového senzoru	46
12.10	Obrazovka prvního senzoru	47
12.11	Obrazovka posledního senzoru	47
12.12	Obrazovka ostatních senzorů	48
12.13	Obrazovka parametrů	48

1 Úvod

Regulace obecně jsou dnes velmi populárním tématem, neboť optimalizace procesů, jež je výsledkem regulací, sebou přináší snížení nákladů, snížení času, potřebného k vykonání příslušného procesu. Tato práce se zabývá měřeními a regulací prostředí v běžné domácnosti, kdy regulace vhodných fyzikálních veličin mají za následek komfort osob tyto prostory obývajících. Tato práce bude taktéž svým zaměřením nepochybně zasahovat i do domény tzv. chytrých domů, a předpoklad je, že zde bude potenciál zasáhnout i do domény Internet of Things. Rád bych zdůraznil, že systém v této fázi nebude připojen do internetu, bude však navržen tak, aby takové rozšíření bylo velice snadné.

V první části této práce bude provedena rešerše dostupných komerčních řešení, co jsou na trhu k dispozici. Nepochybně taková řešení existují, je tak možné zjistit, jaké funkčnosti nabízejí a zda by bylo vhodné některé tyto funkčnosti také zajistit.

Dále bude práce obsahovat rozvalu nad regulacemi samotnými, jejímž výsledkem bude určení vhodných způsobů regulací, které budou dále použity.

V další části se práce zaměří na výběr fyzikálních veličin, které je vhodné měřit a regulovat za účelem dosažení komfortního prostředí.

Další část bude obsahovat výběr vhodných mikrokontrolérů. Na trhu je značné množství výrobců, a každý výrobce nabízí několik řad kontrolérů, jež se obvykle liší v šířce sběrnice, počtem vstupních/výstupních pinů, počtem analogových vstupů, zda mají či nemají HW budiče pro průmyslové sběrnice a jejich množství, velikostí flash a RAM paměti, a ve spoustě dalších parametrů. Je nutné stanovit požadavky na kontrolér a provést výběr.

Dále bude návrh HW a SW architektury a návrh celkového řešení. Zejména SW architektura bude koncipována tak, aby bylo možné snadno integrovat novou komponentu, zajišťující novou funkčnost.

Po sestavení výrobků bude následovat testování a shrnutí výsledků testu.

Závěrem bude následovat shrnutí, nakolik se podařilo zadání vyhovět, zda testování odhalilo chyby a které, a jak tyto chyby následně odstranit, ať už to jsou chyby v SW či v HW.

2 Dostupná komerční řešení

Pro účely stanovení dalších požadavků je nutné prozkoumat možnosti komerčních řešení. Pokud poskytují nějakou unikátní funkčnost, která by mohla být nějakým způsobem v systému užitečná, je vhodné rozhodnout, zda ji implementovat či nikoliv.

2.1 Loxone

Loxone (1) je rakouská firma, která se zabývá inteligentními domy obecně. Soustředí se na automatizaci veškerých procesů, které se v běžné domácnosti dějí, a snaží se nějakým způsobem u nich zajistit komfort. Vstávání po spánku, například, může být doprovázeno pomalým náběhem intenzity světla v místnosti, a také oblíbenou hudbou.

Systém je modulární a promyšlený, a poskytuje zpětnou kompatibilitu i se zastaralými verzemi produktů. Zajímavé je také využití průmyslových rozhraní, jako je RS485 a Modbus.

Koncept modulárních senzorů je zajímavé řešení a v této práci bude použit.

2.2 Elektrobock

Elektrobock je česká firma, jež se zabývá regulacemi tepla v domácnostech. Její produkt PocketHome (2) je určený k regulaci teploty v každé místnosti zvlášť pomocí dálkově ovládaných ventilů na radiátory. Jedná se taktéž o centralizovaný systém, který vzájemně komunikuje bezdrátově.

Prozkoumání portfolia firmy Elektrobock nevnese do této práce funkčnosti, které by bylo vhodné implementovat, krom těch, o kterých to již bylo rozhodnuto dříve.

3 Senzory

V této práci je potřeba měřit fyzikální veličiny a následně je zpracovávat. Tato kapitola rozebírá, jaké fyzikální veličiny budou měřeny a regulovány, jaká je fyzikální podstata jejich měření, jaké jsou možnosti a výběr senzorů. V každém případě budou v této kapitole zmíněny pouze ty konkrétní senzory, které jsou vhodné pro měření fyzikálních veličin v rozsahu, jaký je očekáván v běžné domácnosti.

3.1 Stanovení měřených a regulovaných veličin

Veličin, určujících komfort v domácnosti, je několik. V této sekci bude proveden výběr veličin, které budou měřeny a regulovány.

3.1.1 Teplota

Teplota je jedna z nejdůležitějších fyzikálních veličin, neboť bezprostředně ovlivňuje komfort v domácnosti. Je to fyzikální veličina, která má značnou setrvačnost. V případě ohřevu místnosti přímotopem či podlahovým vytápěním může trvat minuty, než bude změna teploty měřitelná, u centrálního vytápění plynovým kotlem to může být až desítky minut. Tomu bude v následující kapitole přizpůsoben výběr regulace.

Zde je vhodné také zmínit koncept tepelné pohody. Jedná se o celý souhrn faktorů, který ovlivňuje, zda člověk cítí teplo, chlad či zda cítí komfort. Teplota má na tepelnou pohodu dominantní vliv, ale faktorů je vícero.

3.1.2 Vzdušná vlhkost

Tato veličina také do určité míry pomáhá určovat tepelnou pohodu. Příliš vlhké prostředí může člověku způsobit diskomfort, například při teplotě, která je horní mezí tepelné pohody velmi záleží, zda je vzduch suchý, pak může člověk stále cítit komfort, nebo se vlhkost blíží rosnému bodu-pak může být pobyt v takovém prostředí za jinak stejných podmínek pro stejnou osobu značně nepříjemný. Dlužno také podotknout, že osoby s respiračními obtížemi velmi špatně snášejí prostředí příliš suchá a příliš vlhká.

Možnost regulovat vzdušnou vlhkost je skrze ventilování místnosti. To bude také určovat výběr akčního členu a tím i druh regulace.

3.1.3 Koncentrace oxidu uhličitého

Případ, že je koncentrace CO_2 příliš vysoká, je obvykle následkem vydýchání většího množství kyslíku a indikuje tak jeho nedostatek. Z medicínského hlediska je nedostatečné zásobování kyslíkem doprovázen únavou, ospalostí a celkově sníženým výkonem organismu. Je tak důvod tuto veličinu monitorovat a regulovat.

3.1.4 Koncentrace hořlavých plynů

Důvodem k měření této veličiny není zajištění komfortu v domácnosti, ale zajištění bezpečnosti. Značné množství domácností je vybaveno centrálním topením na zemní plyn i

plynovým sporákem. Aktivace plynového kotle vlivem poklesu teploty v obytných místnostech ve chvíli, kdy zemní plyn uniká do okolí tak může mít katastrofální následky. Proto bude toto měření plnit funkci ochrannou. Při překročení hraniční koncentrace bude zablokována činnost plynového vytápění.

3.1.5 Koncentrace oxidu uhelnatého

Stejně jako koncentrace hořlavých plynů, toto měření bude plnit ochrannou funkci. Rozdílem však bude zablokování činnosti plynového vytápění a aktivace ventilátorů, neboť oxid uhelnatý představuje bezprostřední ohrožení zdraví.

3.2 Senzory teploty

Základní principy přímého měření teploty jsou následující:

- Změna odporu vodiče vlivem teploty
- Závislost proudu tekoucím P-N přechodem na teplotě
- Termoelektrický jev

První způsob je vhodný do teplot v řádu stovek °C a vhodné typy senzorů jsou například platinová odporová čidla Pt100, Pt1000 či na niklová Ni100 a Ni1000. Velký teplotní rozsah je však doprovázen nedostatečnou přesností měření v malém intervalu pokojových teplot, proto nejsou pro tuto práci vhodná.

Termoelektrický Seebeckův jev souvisí s kvantovými procesy na rozhraní dvou vodičů. Umožňuje principiálně velice přesné měření, ovšem za tu cenu, že je možné měřit pouze rozdíly teplot a pro měření absolutní teploty je tak potřeba přesná teplotní reference. Proto je tento způsob měření nepoužitelný.

Měření teploty na základě závislosti proudu, tekoucím P-N přechodem na teplotě samo o sobě není vhodné kvůli silné nelinearitě Shockleyho vztahu, jež popisuje voltampérovou charakteristiku P-N přechodu (3.1):

$$I = I_s \left(e^{\frac{qV}{nkT}} - 1 \right) \quad 3.1$$

Kde I je proud, tekoucí P-N přechodem, I_s je reverzní saturační proud, n je emisí koeficient, daný vlastnostmi použité technologie výroby, q jednotkový náboj, V přiložené napětí, k Boltzmannova konstanta a T termodynamická teplota.

Existují však zapojení, která jsou schopna průběh linearizovat a zajistit citlivost na teplotu pouze u vybraného P-N přechodu, lze je integrovat do malých pouzder a lze u nich definovat přesnost měření. Příklady takovýchto senzorů následují.

3.2.1 LM35

LM35 (3), je analogové číslo teploty, jehož klíčové parametry jsou shrnuty v Tabulka 3.1:

Tabulka 3.1

Kalibrace výstupního napětí	10mV/°C
Přesnost	Max. 0,5 °C, typ. 0,25 °C při 25 °C
Rozsah napájecího napětí	4-30V
Rozsah měřených teplot	-55 °C–150 °C
Pouzdro	TO92, TO220, SOIC 8

Z **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** vyplývá, že tento typ senzoru je vhodný pro měření p okojoyých teplot. Běžné regulátory teploty v domácnostech mají rozlišení teploty právě 1 °C, a maximální přípustná nepřesnost LM35 v měření teploty je 0,5 °C, což principiálně umožňuje takové kvality regulace dosáhnout.

3.2.2 DS18B20

DS18B20 (4) je digitální teplotní čidlo, přímo určené k měření teploty mikrokontrolerem, který používá proprietární 1-Wire protokol. Čidlo v sobě integruje A/D převodník a kontrolér, který umožňuje měření teploty s 9 až 12 bitovým rozlišením. Klíčové vlastnosti shrnuje Tabulka 3.2:

Tabulka 3.2

Rozlišení	0,5 °C při 9bit, 0,0625 °C při 12bit
Rozsah napájecího napětí	3-5,5V
Rozsah měřitelných teplot	-55 °C–125 °C
Přesnost v intervalu -10 °C–85 °C	0,5 °C

Tento senzor je vhodnější pro číslicové zpracování díky integrovanému A/D převodníku a digitální komunikaci. Každý senzor má navíc unikátní 64 bitovou adresu a je tak možné mít na jednom pinu procesoru několik takových čidel.

3.2.3 DHT11/DHT22/CM2302

Tyto moduly dle (5) v sobě kombinují senzor teploty a kapacitní senzor relativní vzdušné vlhkosti. Zde je nutno uvést, že tyto senzory nemají jednoznačný název a liší se zdroj od zdroje. V tomto textu bude použito souhrnného názvu DHT22 i pro AM2302 a CM2302, neboť poslední dva jsou, jak se zdá podle (6), plánovanými nástupci DHT22. Jejich nesporná výhoda je v kombinovaném senzoru a digitální komunikaci. Nevýhoda oproti DS18B20 je, že komunikace zjednodušena a není tak možné na jeden pin procesoru připojit více takovýchto senzorů.

Další velkou výhodou je dostupnost knihovny pro obsluhu těchto senzorů. (7). Následující tabulka shrnuje klíčové vlastnosti senzorů DHT11/DHT22.

Tabulka 3.3

Senzor	DHT11	DHT22/AM2302/CM2302
Napájecí napětí	3.3V-5.5V	3.3V-5.5V
Rozsah měření teploty	-20 °C - +60 °C	-40 °C - +80 °C
Rozlišení teploty	0.1 °C	0.1 °C
Přesnost měření teploty	2 °C	0.5 °C
Rozsah měření vlhkosti	5 % - 95 %	0 % - 99.9 %
Přesnost měření vlhkosti	5 % při 25 °C	2 % při 25 °C
Rozlišení vlhkosti	1 %	0.1 %

Jak ukazuje Tabulka 3.3, senzor DHT22 je také vhodný pro měření teploty v domácnosti. Pro úplnost je také důležité dodat, že dle (8) se cena DHT11, který lze také použít, pohybuje kolem 80Kč.

3.3 Senzory relativní vzdušné vlhkosti

Senzory vlhkosti lze rozdělit do dvou skupin:

- Rezistivní
- Kapacitní

Rezistivní senzory vlhkosti jsou založené na měření odporu polymerové vrstvy, jejíž odpor je úměrný počtu iontů na povrchu této vrstvy, která je úměrná koncentraci molekul vody, která je v kontaktu s vrstvou.

Kapacitní senzory vlhkosti pracují na principu změny kapacity vlivem přítomnosti molekul vody na snímací desce kondenzátoru. Tato vrstva mění složení dielektrika, a tak dochází ke změně kapacity v závislosti na vlhkosti.

Vzhledem k tomu, že relativní vzdušná vlhkost bezprostředně závisí na teplotě, se kalibrované senzory vlhkosti vždy vyskytují jako digitální kombinované senzory teploty a relativní vzdušné vlhkosti. Následují příklady takovýchto čidel.

3.3.1 DHT11/22/CM2302

Tento senzor byl již popsán v předchozí kapitole a není tak důvod ho popisovat znovu. Je zmíněn na tomto místě právě kvůli možnosti měřit relativní vzdušnou vlhkost.

3.3.2 SHT2x

Tato řada senzorů je podle (9) dokonalejší než senzory typu DHT22, komunikuje skrze rozhraní I²C a má znatelně menší chybu měření. Ovšem dle (10) je i předchozí řada SHT1x také desetkrát dražší. Klíčové vlastnosti některých těchto senzorů shrnuje Tabulka 3.4.

Tabulka 3.4

Senzor	SHT20	SHT25
Napájecí napětí	2.1V-3.6V	2.1V-3.6V
Rozsah měření teploty	-40 °C - +125 °C	-40 °C - +125 °C
Přesnost měření teploty	0.3 °C typ.	0.2 °C typ.
Rozsah měření vlhkosti	0 % - 100 %	0 % - 100 %
Přesnost měření vlhkosti	3 % typ.	1.8 % typ.

3.4 Senzory plynů

Přítomnost nebezpečných plynů má nepochybně na prostředí v domácnosti nemalý vliv. Principiální metody, jak měřit přítomnost a koncentraci chemikálií v ovzduší se vždy zakládají na chemické interakci plynu s čidlem. Nejznámější typy senzorů plynů jsou následující:

- Chemorezistor
- TGS senzory
- Chemotranzistor

Dle (11) „Chemorezistor je nejjednodušší typ chemického senzoru. Působením chemické veličiny (plynu a páry) se mění elektrická vodivost chemicky citlivé odporové vrstvy.“

TGS senzory (12), jsou polovodičové senzory, cílené na hořlavé plyny. Tyto senzory fungují na základě vratné chemické reakce aktivní vrstvy senzoru s analytem. Za normálních podmínek je povrch aktivní vrstvy, kterou může tvořit např. ZnO, Fe₂O₃, hromaděn kyslík z atmosféry, který je nicméně vázán velmi slabě. Senzor je navíc vyhříván topným tělesem, aby vazba kyslíku byla co nejslabší. Detekce hořlavých plynů probíhá tak, že analyt, například metan, chemicky reaguje se slabě vázaným kyslíkem za vzniku vody a oxidu uhličitého. Výsledné chemikálie mají neutrální elektrický náboj a nadbytečné elektrony jsou vpraveny do polovodiče, čímž zvyšují jeho vodivost. V případě nepřítomnosti hořlavých plynů se na aktivní vrstvě začne hromadit kyslík, který naopak odčerpává volné elektrony, které jsou použity na vytvořené chemické vazby, čímž snižuje její vodivost.

Chemotranzistory jsou polem řízené tranzistory, jejichž hradlo je pokryto vrstvou aktivního materiálu, kdy absorpce analytu má za následek změnu prahového napětí nebo proudu kanálem. Dle (11) „Hlavním, a v praxi jediným parametrem tranzistoru MOSFET, závislým na změnách vlastností okolního prostředí, je výstupní práce ϕ_M . Tuto změnu lze měřit jako změnu prahového napětí U_T nebo proudu kanálem I_D . Výhodou chemotranzistorů v porovnání s chemorezistory je nízký šum a větší hodnota odstavu signál/šum.“

3.4.1 Řada senzorů MQ-x

Jedná se o řadu univerzálních senzorů TGS, určených k detekci různých plynů podle typu senzoru. Každý senzor je citlivý na více než jednu chemikálii a principiálně tak umožňuje kombinací více typů senzorů zjistit koncentraci jednotlivých složek. Podle (13) jsou vhodné následující typy senzorů:

- MQ-5 pro detekci úniků zemního plynu
- MQ-7 pro detekci oxidu uhelnatého
- MQ-135 pro detekci CO₂

Nepodařilo se dohledat další vhodné typy senzorů plynů, tyto jsou však postačující pro účely této práce. Taktéž je nutno zmínit, že se nepodařilo dohledat dostatečně kvalitní dokumentaci k těmto senzorům v anglickém jazyce.

3.5 Senzory přítomnosti osob

Přítomnost osob má zásadní vliv na to, zda vůbec je potřeba prostředí v domácnosti regulovat.

3.5.1 Optická závora

Funkce optické závory je velice jednoduchá. Přerušování světelného paprsku, jdoucího ze zdroje do detektoru, který může být v případě použití odrazky i ve stejném pouzdře jako zdroj, je možné při vhodném umístění senzoru vyhodnotit jako pohyb osoby. Nelze však určit, zda osoba vešla do místnosti či nikoliv. Je například možné požadovat, aby se teplota v místnosti prostřednictvím dálkově ovládaného přímotopu regulovala pouze v přítomnosti osob a pak při použití světelné závory není přítomnost osob určena jednoznačně.

3.5.2 PIR senzor

Pasivní infračervený senzor využívá Planckova vyzařovacího zákona (14), který říká, že každé těleso s nenulovou termodynamickou teplotou září se spektrem, popisovaným Planckovou křivkou, a vlnová délka maxima intenzity tohoto záření je úměrná právě jeho teplotě. PIR senzor je detektor záření, naladěný na vlnovou délku, která odpovídá 37 °C, čili průměrné teplotě lidského těla. V případě, že do detektoru vletí fotony o vlnové délce, která odpovídá této teplotě, bude to mít za následek zvýšení výstupního napětí senzoru. Tento senzor je sám o sobě aktivní, nicméně výstupní signál je slabý a pro zvýšení citlivosti se obvykle do pouzdra integruje také polem ovládaný tranzistor, kdy výstupní napětí senzoru je přivedeno přímo na hradlo tranzistoru, čímž se senzor sice stává pasivním, zato je výrazně zvýšena jeho citlivost.

Pro zvýšení detekčního úhlu se používá Fresnelova čočka, kterou lze snadno vyrobit tak, aby byl možný téměř libovolný pozorovací úhel senzoru.

3.6 Zvolené typy senzorů

Pro měření teploty a relativní vzdušné vlhkosti byl zvolen senzor DHT11 z důvodu dobré dostupnosti a také z důvodu dostupnosti knihovny pro obsluhu tohoto senzoru. V případě, že se přesnost senzoru ukáže jako nedostatečná, lze ho nahradit senzorem DHT22, kdy změna bude vyžadovat pouze definování jiného makra ve zdrojovém kódu a jeho další přeložení.

Pro měření koncentrace zemního plynu byl zvolen senzor MQ-5, pro měření koncentrace oxidu uhelnatého senzor MQ-7 a pro měření koncentrace CO₂ senzor MQ-135.

Pro detekci osob byl zvolen PIR senzor.

4 Regulace

Regulace můžeme rozdělit podle toho, zda je akční člen spojitý či nikoliv na diskrétní a spojitě regulátory.

4.1 Diskrétní regulátory

Tyto regulace se vyznačují hysterezí regulované veličiny v pásmu spodní mez-horní mez regulátoru. Zpravidla je velmi jednoduché je realizovat, a ve spoustě případů je průběh regulované veličiny postačující pro daný účel.

4.1.1 Dvoustavový regulátor

Dvoustavová regulace spočívá v aktivaci akčního členu, pokud regulovaná veličina poklesne pod spodní mez, a deaktivaci akčního členu, pokud přeroste přes horní mez. Je to konstrukčně i funkčně nejjednodušší typ regulátoru, taktéž nejjednodušší na číslicovou implementaci. Nevýhodou tohoto druhu regulace je nevyhnutelná hystereze regulované veličiny, plynoucí přímo z principu funkce regulátoru. Přesto je to jeden z nejpoužívanějších typů regulátoru, neboť existuje značné množství aplikací, kdy tato nevýhoda není významná.

V této práci bude tento regulátor použit.

4.1.2 Třístavový regulátor

Třístavová regulace rozlišuje tři polohy akčního členu, což umožňuje vyšší kvalitu regulace. Příkladem může být ventil ovládaný servomotorem pro přívod zemního plynu do pece, kdy při překročení horní meze požadované teploty je ventil přivřen, když je překročena spodní mez, začne se servomotor otáčet na druhou stranu a ventil začne více otevírat, v případě že je teplota v limitech není s ventilem manipulováno. Dalším příkladem může být trojfázové elektrické topení, kdy podle toho, jak moc poklesla teplota, regulátor zapne jednu topnou spirálu nebo všechny, případně žádnou, pokud je teplota dostatečně vysoká.

4.2 Spojité regulátory

Základní spojitě regulátory jsou proporcionální, integrační a derivační, každý z nich lze popsat jedním parametrem, ovlivňujícím reakci na regulační odchylku. Za účelem dosažení požadované kvality regulace je možné kombinovat je do sdružených.

4.2.1 Proporcionální regulátor

Proporcionální regulátor je takový, jehož výstup je lineárně závislý na vstupní regulační odchylce. Je to nejjednodušší typ spojitého regulátoru, jak do principu činnosti, tak do implementace, ať už analogové či digitální. Výhodou tohoto typu regulátoru je frekvenční stabilita, neobsahuje žádný diferenciální člen, který by mohl regulovanou soustavu rozkmitávat. Vztah 4.1 popisuje chování proporcionálního regulátoru, kde v je výstup, r_0 je zesílení regulátoru a e je regulační odchylka.

$$v = r_0 \cdot e(t) \quad 4.1$$

4.2.2 Integrační regulátor

Samotný proporcionální regulátor nemusí být schopen odstranit velmi malé regulační odchylky-typicky řádově menší, než je řád regulované veličiny, a může tak trvale vzniknout nenulová regulační odchylka. Řešením je použití integračního regulátoru, který integruje regulační odchylku do té doby, než je výstup akčního členu právě takový, aby vykompenzoval tuto odchylku. Nevýhodou integračního regulátoru je však pomalá reakce na skok regulační odchylky, daná integrační konstantou a v neposlední řadě také možné ohrožení stability celého systému. Z tohoto důvodu je použití integračního regulátoru samostatně ojedinělé a musí pro to existovat zvláštní důvody. Chování regulátoru popisuje vztah 4.2, kde r_{-1} je integrační konstanta.

$$v = r_{-1} \int_0^t e(\tau) d\tau \quad 4.2$$

4.2.3 Derivační regulátor

Pro rychlou reakci systému na skok v regulované veličině je vhodné použití derivačního regulátoru. Výstup tohoto regulátoru je úměrný časově změně regulační odchylky, z čehož plyne zřejmé omezení použití tohoto typu regulace. Derivační regulátor není schopen regulovat pomalu se měnící či konstantní regulační odchylku a z tohoto důvodu se používá výhradně ve spojení s ostatními typy regulátorů. Chování regulátoru popisuje vztah 4.3, kde r_1 je derivační konstanta.

$$v = r_1 \frac{de(t)}{dt} \quad 4.3$$

Další nevýhodou je problematická číslíková implementace. Výsledek numerické derivace se snadno může dostat nad limit použitého datového typu a je potřeba při implementaci s tím počítat a takový stav ošetřit.

4.3 Sdružené regulátory

Základní typy spojitých regulátorů je výhodné sdružovat do komplexnějších regulátorů za účelem dosažení lepší kvality regulace. Ne každá kombinace má však vhodné parametry. V následující sekci budou popsány pouze některé z nich. Každý sdružený regulátor má tolik typických parametrů, z kolika základních regulátorů je složen. Současně je také nutno rozlišovat, zda změna jednoho z typických parametrů ovlivní ostatní. Pokud ano, jedná se o regulátor s interakcí a v takovém případě je poněkud složitější nastavit regulační parametry empiricky.

4.3.1 PI regulátor

Tento regulátor je složený z proporcionálního a integračního regulátoru. Kombinuje v sobě stabilitu proporcionálního regulátoru se schopností eliminace malých regulačních odchylek integračního regulátoru. Je velmi jednoduché ho implementovat, zejména číslicově, a jeho oblast použití je velice široká. Následující dva vztahy popisují PI regulátor s interakcí (4.4) a bez interakce (4.5).

$$v = r_0 \cdot e(t) + r_{-1} \int_0^t e(\tau) d\tau \quad 4.4$$

$$v = r_0 (e(t) + r_{-1} \int_0^t e(\tau) d\tau) \quad 4.5$$

Jak je vidět ze vztahu 4.5, nastavení parametru r_0 ovlivňuje také integrační složku. Regulátor bez interakce je jednodušší nastavit empirickou metodou, zatímco regulátor s interakcí má jednodušší implementaci. V praxi se používají se oba typy PI regulátorů.

4.3.2 PID regulátor

Proporcionálně-integračně-derivační regulátor je nejúplnějším typem sdruženého regulátoru. Na rozdíl od PI regulátoru je jeho výhodou také rychlá reakce na skokové změny regulační odchylky, nicméně z tohoto důvodu není vhodné použít ho pro regulaci frekvenčně nestabilních soustav. Derivační složku také může být komplikované implementovat v číslicové podobě, neboť při dostatečně velké změně regulační odchylky může snadno dojít k přetečení znaménkového datového typu. V případě regulátoru s interakcí je také velmi složité, mnohdy i nemožné, empirickou metodou nastavit optimální regulační parametry. Ačkoliv představuje nejdokonalejší typ spojitého regulátoru, v mnohých případech je optimální použít PI regulátor. Chování PID regulátoru bez interakce popisuje vztah 4.6.

$$v = r_0 \cdot e(t) + r_{-1} \int_0^t e(\tau) d\tau + r_1 \frac{de(t)}{dt} \quad 4.6$$

4.3.3 Číslicové implementace spojitých regulátorů

Je několik způsobů, jak číslicově realizovat spojitý regulátor. První, která se nabízí, je užití A/D převodníku. Tato možnost však selhává v oblastech výkonové techniky - je k ní potřeba lineární zesilovač a v případě buzení akčního členu o jmenovitém příkonu řádově stovky wattů jsou jeho tepelné ztráty nepřijatelné. Další možností je použití pulzně šířkové modulace. Pokud leží všechny kritické kmitočty regulované soustavy pod modulačním kmitočtem, lze výstup z regulátoru považovat za spojitý a v mnohých případech je toho preferovaná metoda. Je také možné zkombinovat PID regulátor s dvoustavovým či třístavovým regulátorem. V některých situacích to může být vhodné řešení.

Co se týče implementace sdružených spojitých regulátorů, vyvstává otázka, zda použít regulátor s interakcí či nikoliv. Vezměme jako příklad číslicový PI regulátor. V diskrétní podobě přejde integrál na sumu a aktuální výstup regulátoru bez interakce v kroku n lze zapsat zjednodušeně jako 4.7:

$$v_n = r_0 \cdot e_n + r_{-1} \cdot e_n + \sum_{i=0}^n r_{-1} \cdot e_{n-1} \quad 4.7$$

Je nutné si uvědomit, že implementačně je celá suma počítána průběžně, a v n -tém kroku výpočtu ve vztahu vystupuje jako obsah průběžně sumované proměnné. Vztah není návodem, jak takový regulátor implementovat, neboť se při něm neuvažuje algoritmus aktualizace průběžné sumy do n -tého kroku. V každém případě je potřeba vykonat celkem tyto operace:

- Dvě násobení
- Tři součty
- Uložení průběžné sumy do pomocné proměnné

Naopak, PI regulátor s interakcí může být implementován pomocí následujícího vztahu:

$$v_n = r_0 \left(\frac{1}{r_{-1}} \cdot e_n + e_n + \sum_{i=0}^n e_{n-1} \right) \quad 4.8$$

Jak ukazuje vztah 4.8, celkový počet operací se nezměnil, stále ve vztahu zůstává stejný počet násobení, sčítání a uložení průběžné sumy do pomocné proměnné, změnilo se však pořadí operací. V tomto kroku je však nutné zvážit, zda je vstupní regulační odchylka normovaná či nikoliv, jakým způsobem je na cílové platformě implementovaná operace násobení, jak je implementováno dělení, v jakém datovém typu a jakém formátu jsou uloženy všechny regulační parametry a proměnné. Cílem této úvahy nebylo rozsoudit, která z implementací PI regulátoru je méně náročná na výpočetní výkon, ale nastínit, co všechno je potřeba zvážit při konkrétní implementaci.

4.3.4 Implementované druhy regulací

Vzhledem k tomu, že veškeré akční členy, které mohou být použity, jsou standardně regulovány dvoustavově, a také vzhledem k tomu, že veškeré monitorované veličiny jsou pomalu se měnící, bylo rozhodnuto implementovat pouze dvoustavovou regulaci.

5 Komunikace

Aby mohlo měření probíhat bezdrátově, je potřeba zajistit digitální komunikaci. Návrh obvodu pro rádiovou komunikaci je nad rámec této práce, proto bylo rozhodnuto použít dostupné komunikační moduly.

5.1 Univerzální vysílač a přijímač v pásmu 433MHz

Tyto moduly, dostupné na (15), jsou vysílačem a přijímačem ve volném pásmu 433MHz a umožňují dva druhy modulace: OOK a ASK. Je zde zajištěna pouze základní detekce nosné vlny, není zajištěna odolnost proti chybám při přenosu, není zajištěna detekce kolize a bylo by velice složité, tyto funkčnosti implementovat softwarově. Tento způsob komunikace tak není vhodný pro tyto účely.

5.2 nRF24

NRF24 je vysílač/přijímač ve volném pásmu 2.4GHz, který podle (16) má zajištěnou detekci kolize, detekci chyb při přenosu, podporuje až 126 kanálů, maximální přenosovou rychlost 2Mbps, dynamickou délku packetu a pro komunikaci s mikrokontrolérem používá SPI rozhraní. Další výhodou je dostupnost knihovny pro ovládání tohoto modulu (17). Tato knihovna je také velice dobře dokumentovaná a po prvotních pokusech bylo jasné, že užití tohoto modulu společně s dostupnou knihovnou velmi zjednoduší další práci. Proto byl tento modul také zvolen.

6 Mikrokontroléry

Tato kapitola se zabývá mikrokontroléry, jejich architekturou, instrukční sadou, periferiemi a možnostmi použití v konkrétních aplikacích.

6.1 Architektura mikrokontrolérů

Mikrokontroléry lze rozdělit podle toho, jak přistupují k paměti na:

- Von Neumannova
- Harvardská
- Modifikovaná Harvardská

Von Neumannova architektura má společnou paměť pro data i kód. To umožňuje použít samomodifikující se kód, který v jistých situacích dovede sám sebe optimalizovat. Na druhou stranu je ale sběrnice paměti velice vytížena a za určitých okolností může mít omezená propustnost paměťové sběrnice dopad na výpočetní výkon.

Harvardská architektura používá oddělenou paměť pro data a pro kód. Použití samomodifikujícího se kódu je zde velmi omezené, pokud vůbec je principiálně možné, nicméně tato nevýhoda je více než kompenzována možností současně přistupovat k datům i ke kódu, což u Von Neumannovy architektury není možné.

Modifikovaná Harvardská architektura není tak striktní pro oddělení paměti pro data a pro kód. Pro obojí je k dispozici cache, která je napojena na paměť společnou pro data i pro kód. To umožňuje načíst kód z paměťového média, například pevného disku, do paměti, a následně ho spustit jako instrukce. Mnohé dnešní architektury, například x86 a ARM, jsou založené právě na modifikované Harvardské architektuře.

6.1.1 Instrukční sada

Podle instrukční sady lze mikrokontroléry rozdělit do dvou základních skupin:

- RISC
- CISC

RISC znamená Reduced Instruction Set Computing, tedy počítání s redukovanou instrukční sadou. Tato instrukční sada obsahuje zpravidla pouze základní instrukce a složitější operace, jako je například násobení, je implementováno ve skutečnosti jako opakované sčítání. Příkladem mikrokontrolérů s redukovanou instrukční sadou jsou například PIC, ATME1 a SPARC.

Podskupinou RISC procesorů je i ARM architektura. Původně tento akronym znamenal Acorn RISC Machine (18), dnes znamená Advanced RISC Machine. Původně byl navrhován tak, aby byl jednoduchý. Přímý důsledek tak byla nízká spotřeba a levná výroba, což jsou vlastnosti, kterou si tato architektura udržela dodnes. Téměř většina nově vyrobených mobilních telefonů obsahuje alespoň jeden čip ARM, tento trend se drží dodnes.

CISC znamená Complex Instruction Set Computing, tedy počítání s komplexní instrukční sadou. V této instrukční sadě jsou hardwarově implementovány instrukce i pro složité operace.

Mikrokontroléry s touto instrukční sadou mají obvykle větší výpočetní výkon a jsou tak určeny pro složitější aplikace. Nevýhodou ovšem je vyšší složitost čipu, což má za následek také vyšší cenu. Příkladem procesorů s komplexní instrukční sadou jsou DSP(digitální signálový procesor) a také architektura x86.

6.1.2 Mikrokontrolér/Mikroprocesor

Tyto termíny se mnohdy zaměňují, proto pro jednoznačnost bude použito následujících pravidel:

- Mikroprocesor nemusí nutně obsahovat všechny periferie na čipu. To zahrnuje i paměť pro data, pro kód, řadiče a další periferie. Příkladem je x86 architektura.
- Mikrokontrolér musí na čipu obsahovat paměť pro data i kód, obecně vše nutné k chodu
- Mikrokontrolér může mít na čipu další periferie, např. ADC, sběrnice SPI, I²C

Tento text pojednává o použití mikrokontrolérů.

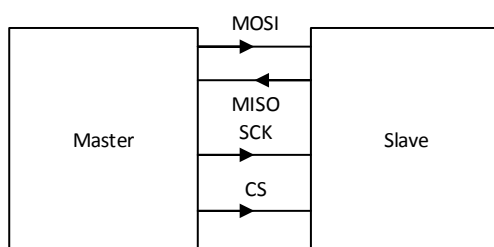
6.2 Periferie a sběrnice

Mikrokontrolér může obsluhovat celou řadu periferií, mnohé z nich mohou být integrované přímo na čipu. V následujícím textu budou zmíněny pouze některé periferie, které budou v práci využity.

6.2.1 SPI

SPI sběrnice je typu singlemaster, komunikace s podřazenými zařízeními je však obousměrná. Vše je řízeno hodinovým signálem, který udává Master. V případě použití více Slave zařízení je nutné zvlášť signalizovat pomocí signálu Chip Select, který Slave má v danou chvíli komunikovat. Schematicky je SPI komunikace znázorněna pomocí Obrázek 6.1:

Obrázek 6.1



MOSI znamená Master Output Slave Input, MISO naopak, tedy Master Input Slave Output, SCK je hodinový signál a CS znamená Chip Select.

SPI sběrnice je jediná, která je bezpodmínečně požadována.

6.2.2 LCD

Stav systému je potřeba konfigurovat a poté také monitorovat. K tomuto účelu je potřeba zobrazovací jednotka. K dispozici je opět nepřeberné množství displejů. Pro účely této práce postačí alfanumerický LCD, např. displej Winstar WH2004A (19). Jedná se o alfanumerický displej o čtyřech řádcích a dvaceti znacích na řádek. Důležité je, že se jedná o displej s řadičem HD44780 nebo kompatibilní, který je dobře dokumentovaný, snadno obsluhovatelný a nemá zvláštní požadavky na mikrokontrolér vyjma dostatečného počtu datových pinů.

6.2.3 ADC

Integrovat na čip analogově digitální převodník je velice snadné a mnoho výrobců nabízí čipy, které mají různé množství pinů, schopných přivést signál na vstup vnitřního ADC. Jeden z nejpoužívanějších je postupně aproximační ADC, jehož princip dle (20) spočívá v porovnávání vstupního signálu se signálem na výstupu DAC, jež je ovládán bity v postupně aproximačním registru. Postup převodu je následující

- MSB se nastaví na log1
- Porovná se vstupní napětí s napětím z DAC
- V případě že je $V_{in} > V_{DAC}$ nechá se na MSB log1 a pokračuje se dalším bitem
- Jinak se nastaví MSB na log0 a pokračuje se dalším bitem
- Celý postup se opakuje až po dosažení LSB

Pro postupně aproximační ADC je typické, že délka převodu odpovídá rozlišení ADC, tedy dejme tomu 16-bitový postupně aproximační ADC při stejném hodinovém kmitočtu mikrokontroléru bude potřebovat na převod více času než 10-bitový.

6.3 Výběr mikrokontroléru

6.3.1 Požadavky

Jak již bylo zmíněno, kvůli výběru radiového komunikačního modulu nRF24 je potřeba dedikovaná SPI sběrnice a dostatek digitálních pinů. Minimum pro obsluhu LCD jsou čtyři, další alespoň čtyři pro výstupní relátka, alespoň šest vstupů pro tlačítka. Pro zachování dostatečné rezervy bude požadováno alespoň 20 vstupně-výstupních pinů.

Dalším požadavkem na výběr je výrobce ATMEL. Důvodem je velká dostupnost těchto čipů a zejména také velice dostupná podpora.

Co se týče bezdrátových modulů senzorů, bude taktéž požadována dedikovaná SPI sběrnice, pro obsluhu kompletní konfigurace také čtyři digitální vstupně-výstupní piny a alespoň dva analogové vstupy.

6.3.2 Výběr

Po zvážení všech faktů bylo rozhodnuto pro obslužnou stanici použít čip ATmega 2560 (21) a pro moduly senzorů čip ATmega 328 (22). Hlavním důvodem pro použití těchto dvou konkrétních čipů je, že jsou součástí opensource vývojové platformy Arduino (23). Arduino je určeno pro rychlé prototypování, kdy je potřeba v co nejkratším čase vytvořit funkční zařízení. Existují snadno dostupné vývojové kity, samotný projekt má celosvětově obrovskou komunitu, díky čemuž je k dispozici velmi dobrá uživatelská podpora. Šance je, že téměř každý problém, který může doprovázet tuto práci, již byl někdy v minulosti řešen a řešení bylo publikováno na web. Dalším důvodem je také značné množství knihoven pro téměř jakoukoliv periférii. Příkladem je knihovna LiquidCrystal (24), pomocí které lze vytvořit kód pro obsluhu alfanumerického LCD ve velmi krátkém čase.

7 HW architektura

Pokud má být řešení elegantní a jednoduché, je potřeba správně zvolit architekturu. Špatně zvolená architektura může drasticky zkomplikovat pozdější návrh a nemusí pak být možné snadno doplnit nějakou další funkčnost, pokud takový požadavek vznikne. Obecně platné požadavky jak na obslužnou stanici, tak na bezdrátové senzory následují.

7.1 Společné požadavky

V původním návrhu této práce se uvažovalo o akumulátorovém napájení. Toto by však bylo problematické a vyžadovalo by to pravidelný zásah uživatele, neboť by baterie musely být pravidelně dobíjeny či měněny, což je v přímém rozporu s požadavkem snadné obsluhy.

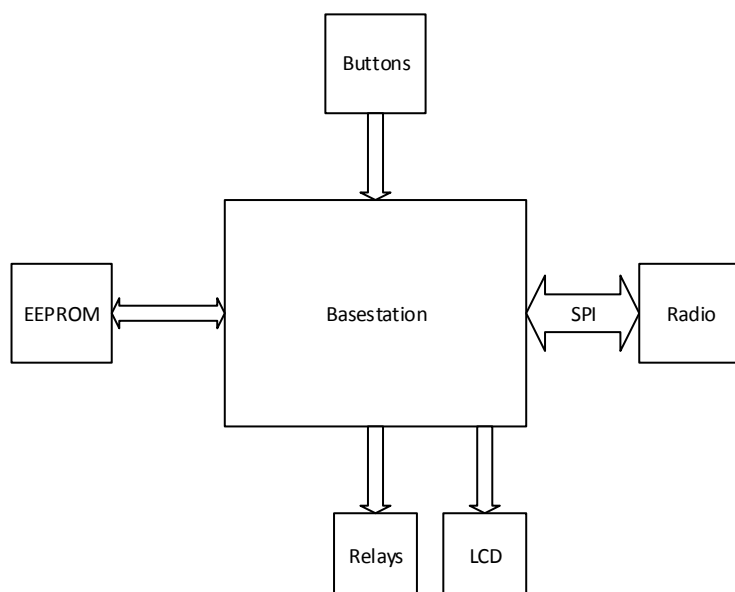
Další věc ke zvážení je, že bateriové napájení nepřinese další užitek. Je krajně nepravděpodobné, že by v případě výpadku napájení nadále fungovaly veškeré akční členy. I vytápění na zemní plyn potřebuje napájení, i kdyby jen kvůli činnosti oběhového čerpadla. Není tak důvod použít bateriové napájení, a naopak existují důvody, proč ho nepoužít.

V obou dvou případech bude potřeba mít k dispozici sériovou linku pro účely ladění kódu, proto musí být na každé desce k dispozici konektor pro signály Rx, Tx a GND.

7.2 Obslužná stanice

Co se týče funkcí, obslužná stanice bude mít za úkol pravidelně sbírat data z bezdrátových senzorů, bude zobrazovat vše potřebné, bude reagovat na tlačítka, bude ovládat akční členy a bude si pamatovat nastavení pro senzory. Veškeré tyto funkčnosti lze shrnout následujícím diagramem:

Obrázek 7.1



Pro uchovávání nastavení bude použito paměti EEPROM. Prvotní odhady ukazují, že ATmega 2560 bude mít dostatečnou velikost této paměti, z hlediska návrhu DPS to však není

podstatné. Bude potřeba na desku umístit konektor pro nRF24, relátka ke spínání akčních členů, konektor pro připojení LCD a konektory pro připojení tlačítek.

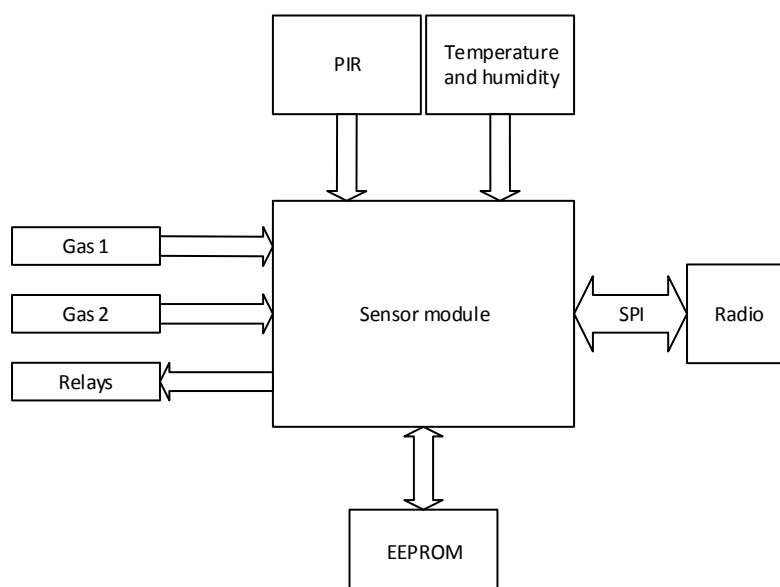
7.3 Bezdrátové senzory

Bezdrátové senzory budou mít návrh HW architektury jednodušší o absenci tlačítek a LCD. Naopak přibudou senzory. Ty však budou řešeny běžně dostupnými moduly. V této práci se nejedná o vytvoření dokonalého návrhu ale spíše o ověření konceptu.

Dalším požadavkem bude funkčnost vzdálených akčních členů. Od uživatele může existovat požadavek na ovládání jak centrálního vytápění, tak i odděleného přímotopu v samostatné místnosti, například koupelně. Proto bude každý bezdrátový senzor také obsahovat dvě relátka ke spínání vzdálených akčních členů.

HW architektura je naznačena na následujícím diagramu:

Obrázek 7.2



Opět deska musí obsahovat konektor pro nRF24, dvě relátka a konektory pro konkrétní senzory, protože ne každý senzor musí být osazen. Může být požadován senzor, který bude v koupelně udržovat pomocí elektrického přímotopu požadovanou teplotu pouze pokud v ní někdo bude. Nebude požadováno měřit koncentrace nebezpečných plynů, neboť může být centrální vytápění v jiné místnosti. Celková konfigurace tak bude obsahovat pouze PIR senzor a DHT11/22 a bude zapsaná v paměti EEPROM.

8 SW architektura

Z hlediska možnosti přidání dalších funkcí je SW architektura ještě důležitější, neboť správně navržená SW architektura umožní snadnou integraci nových funkcí, zatímco špatně navržená architektura takovou věc buďto přímo znemožní, nebo v lepším případě to bude možné pouze za cenu rozsáhlé refaktorizace kódu.

8.1 Architektura obslužné stanice

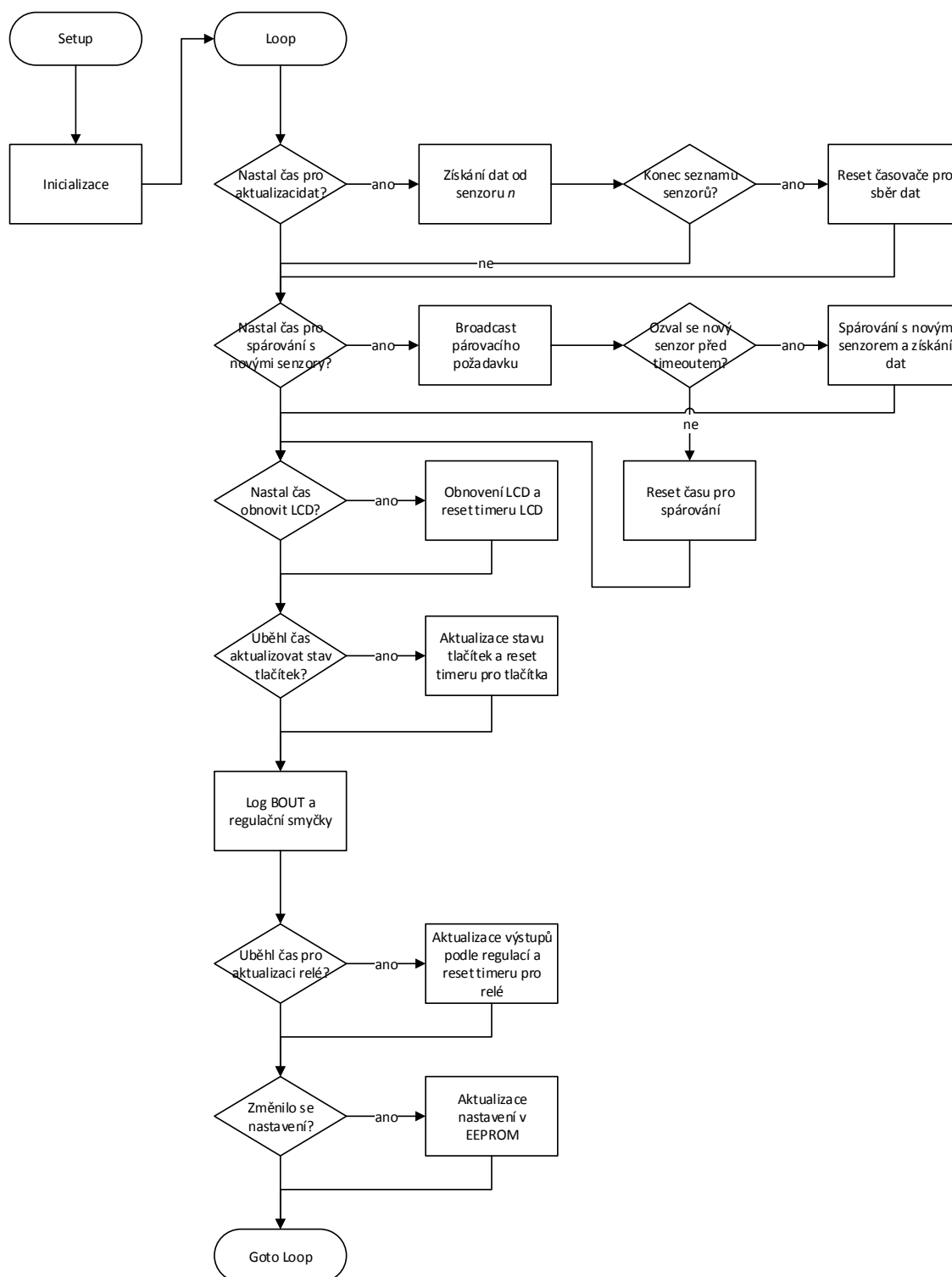
Tato kapitola obsahuje návrh SW architektury obslužné stanice. Hlavním požadavkem SW architektury je modulárnost, která zajistí, že přidání nové funkce nebude nijak složité. Dalšími požadavky jsou včasná reakce systému na vstup od uživatele a malé odchylky obnovovací periody LCD obrazovky.

Tyto požadavky lze splnit pouze pod podmínkou, že žádná dílčí úloha nebude trvat déle, než je perioda vykonávání úlohy, která se volá nejčastěji.

8.1.1 Diagram architektury

Všechny tyto požadavky řeší návrh, popsáný Obrázek 8.1. Celá architektura se dá shrnout do inicializace a následně do nekonečné smyčky, ve které jsou dílčí úlohy. U každé úlohy se vyhodnocuje, zda nastal čas pro její vykonání. Pokud ano, úloha se vykoná a pokračuje se vyhodnocováním, zda nastal čas pro další úlohu, dokud se program nedostane na konec smyčky a pak se opakuje. Výhody tohoto řešení a diagram samotný jsou na následujících stranách.

Obrázek 8.1 SW architektura obslužné stanice



8.1.2 Modulárnost

Architektura je rozdělena na dílčí úlohy, kdy každá úloha má za cíl zabezpečit jednu konkrétní funkčnost. Příkladem je úloha stažení aktuálních dat z bezdrátového senzoru. Při každém běhu programu se provede stažení dat pouze z jednoho senzoru a pak program pokračuje další úlohou, neboť tato operace může trvat poměrně dlouho a následkem toho by se

nestihly vykonat další úlohy. Teprve pokud se zjistí, že více senzorů už obslužná stanice nezná, resetuje se timer pro tuto úlohu a pak se již úloha nevykoná, dokud zas nenastane čas stáhnout aktuální data. Je tak zajištěna plynulost programu a dostatečně rychlá reakce na vstup od uživatele v podobě volání úlohy, zajišťující obsluhu tlačítek.

Jediný kód, který se vykonává nepřetržitě, je funkce pro ochrany před nebezpečnými plyny, jehož účelem je blokovat činnost vytápění na zemní plyn.

8.1.3 Integrace dalších funkcí

Podle prvotních odhadů bude mikrokontrolér většinu času čekat, než nastane čas pro vykonání nějaké úlohy, což vytváří možnost integrace dalších funkcí do systému. Díky modulární architektuře je přidání nové funkce velice snadné. Zahrnuje pouze inicializaci ve funkci Setup a pak vytvoření periodicky se opakující úlohy. Je tak možné systém například zahrnout do konceptu IoT pomocí ethernetu, je možné dodat ovládání systému skrze mobilní telefon pomocí Bluetooth, je možné přidat další možnosti řízení od nějakého nadřazeného systému použitím protokolu Modbus. Možností je nespočet.

8.1.4 Monitorování vytížení mikrokontroléru

Přidání funkce však sebou přináší jistá úskalí. Ta nejdůležitější otázka však zní, zda se budou jednotlivé úlohy stíhat vykonávat, pokud se přidá nějaká náročnější. Nejjednodušší možností, jak měřit vytížení mikrokontroléru, je inkrementovat ve volném čase nějakou pomocnou proměnnou a vytvořit úlohu, která bude obsah této proměnné periodicky odesílat přes sériovou linku a následně nulovat. Je to jednoznačně ukazatel, který má vypovídající hodnotu o volném čase procesoru, který, při vhodně zvolené periodě hlášení, nebude mít výrazný dopad na vlastní funkci.

Dokonalejší monitorování by znamenalo modifikovat každou úlohu tak, aby sebou nesla informaci o tom, jak dlouho trvalo, než přišla na řadu, což lze vyhodnocovat a následně odeslat zpoždění každé úlohy přes sériovou linku. Mírně by to však každou úlohu prodloužilo, což nemusí být, v případě dlouhé úlohy, žádný velký problém, a také by se mikrokontrolér zatížil pravidelným odesíláním těchto informací.

V každém případě je vhodné tyto metody využít pouze při vývoji. Finální build by už neměl tuto funkci obsahovat z důvodu negativního dopadu na výkon.

8.1.5 Konkrétní problémy při implementaci

V průběhu implementace a ladění bylo zjištěno, že některé funkce je nutné implementovat jinak, než bylo odhadnuto. V této sekci jsou rozebrány příklady takovýchto situací a jak byly řešeny.

Přestože nRF24 umožňuje dle (17) topologii hvězdy, díky možnosti otevření dohromady šesti spojení, využít takové možnosti by narušilo některé principy navržené architektury, zejména proto, že by omezila maximální počet senzorů v systému na pět. Čip nRF24 podporuje jednu

pipeline pro čtení a až pět pro zápis. Komunikace je implementována s využitím pouze jedné pipeline pro zápis, jejíž cílová adresa je měněna podle toho, od kterého modulu jsou požadována čerstvá data.

Komplikace také nastaly v případě rozhodování, jaká data vysílat, jak je přijímat a v jakém formátu budou uložena. V každém případě je potřeba ukládat data ze senzorů a současně mít s daty svázáno nastavení. Kvůli zajištění modularity je potřeba vysílat i data z těch senzorů, které nejsou použity. Je to z důvodu udržení konstantní délky datagramu a jednotného přístupu k datům. Všechny tyto problémy řeší následující konstrukce.

```
struct DATA_structure
{
    uint32_t address=0;
    uint16_t sensor_type=0;
    uint16_t temperature=0;
    uint8_t humidity=0;
    uint8_t binary_sensors=0;
    uint16_t generic_analog_1=0;
    uint16_t generic_analog_2=0;
    uint8_t binary_outputs=0;
};

struct SETPOINTS_structure
{
    uint16_t temperature_high=270;
    uint16_t temperature_low=180;
    uint8_t humidity_high=80;
    uint8_t humidity_low=40;
    uint16_t generic_analog_1_high=0;
    uint16_t generic_analog_1_low=0;
    uint16_t generic_analog_2_high=0;
    uint16_t generic_analog_2_low=0;
    uint8_t module_priority=255;
};

struct VALUES_structure
{
    uint32_t address;
    DATA_structure data;
    SETPOINTS_structure setpoints;
};
```

Zjevná výhoda tohoto způsobu ukládání aktuálních dat do paměti je snadná možnost použít strukturu DATA_structure přímo jako obsah rámce, který bude posílat bezdrátový senzor obslužné stanici. Bylo také nutné zduplikovat adresu modulu mimo tuto strukturu. Ukázalo se, že nRF24 začne po zapnutí odpovídat na dotazy dříve, než je Arduino schopné začít po SPI sběrnici odesílat data. Toto duplikování také slouží pro druhotnou kontrolu integrity dat-nRF24 sice počítá CRC přijatého datagramu, takže provádí detekci chyb při přenosu, nicméně tato kontrola má za cíl ověřit, zda vůbec došlo k odeslání platných dat.

Strukturu SETPOINTS_structure lze naopak snadno uložit do EEPROM za účelem uchování nastavení po výpadku napájení. Setpoint je jen jiný název pro jakýkoliv nastavitelný parametr, ovlivňující chod programu. Jak již bylo vysvětleno dříve, nemá smysl užít bateriové napájení. Nějak ale je potřeba zajistit, aby si systém ukládal nastavení. Toho lze dosáhnout dvojitým způsobem.

První způsob je pravidelná aktualizace nastavení v paměti EEPROM. Je potřeba pravidelná kontrola, zda je v paměti EEPROM uloženo aktuální nastavení a pokud ne, zjednat nápravu. Tato metoda má tu výhodu, že není potřeba žádných externích komponent. Nevýhodou však je, že pokud nastane výpadek napájení bezprostředně po změně setpointů, dříve, než se tato změna promítne do EEPROM, systém si neuchová aktuální nastavení.

Druhým způsobem je záloha napájení z kondenzátoru o velké kapacitě, nejlépe ze supercapu, a provádět detekci napájecího napětí. V případě selhání napájení se pak provede pre-mortem zápis do EEPROM. Výhoda této metody je zjevná-zápisy do EEPROM není potřeba provádět příliš často. Nevýhodou ovšem je nutnost použití dalších komponent na desce plošného spoje.

8.2 Architektura bezdrátových senzorů

SW architektura bezdrátových senzorů je výrazně jednodušší oproti architektuře obslužné stanice, neboť ji lze popsat výrazně menším počtem úloh, které je potřeba vykonávat.

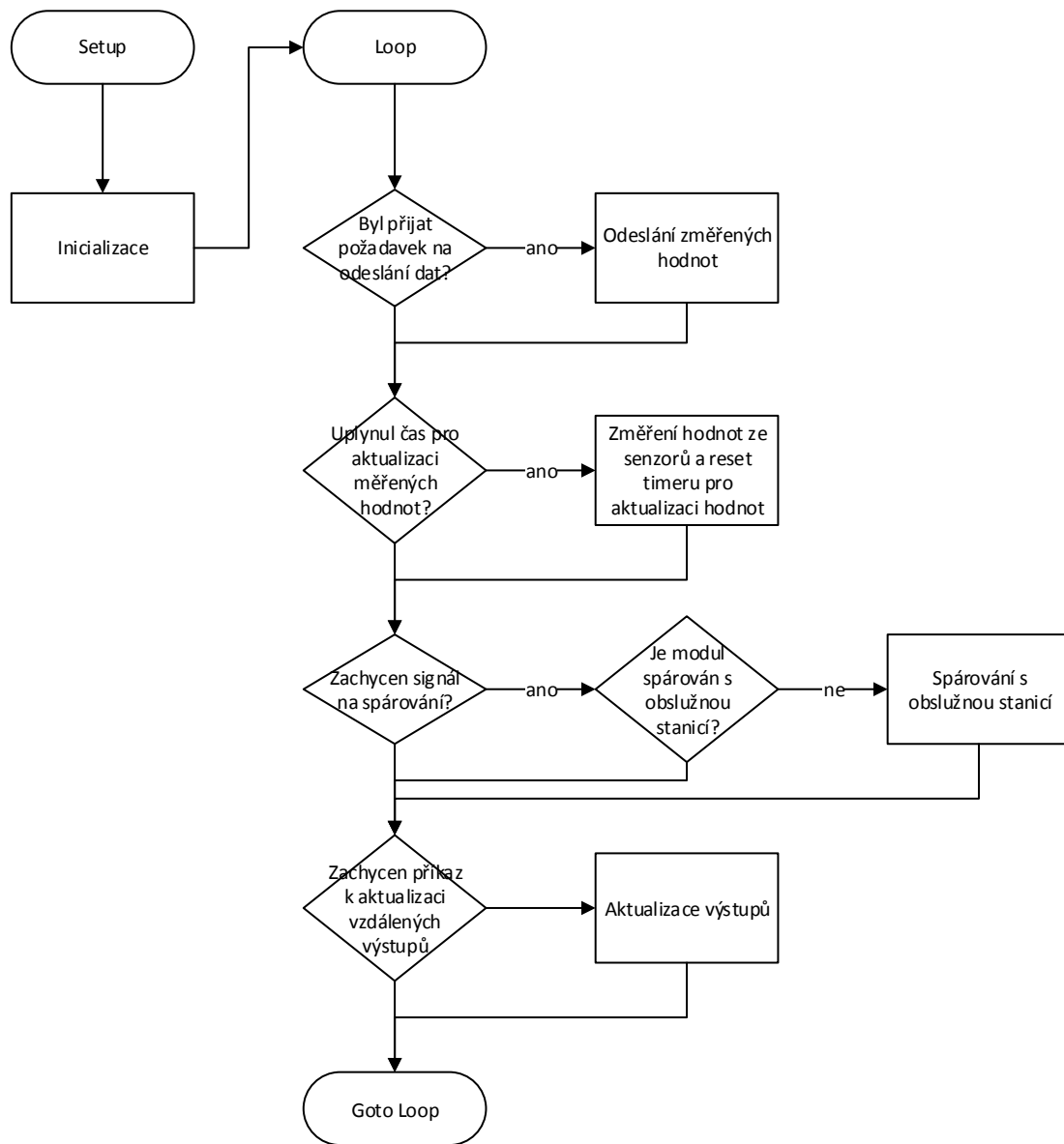
Většina požadavků na architekturu byla provedena v návrhu architektury obslužné stanice a pro bezdrátové senzory se nezměnily.

Architekturu shrnuje Obrázek 8.2. V podstatě je použit stejný přístup jako v architektuře obslužné stanice, po zapnutí napájení je provedena inicializace a poté přechod do nekonečné smyčky, ve které se provádějí jednotlivé úlohy.

Největším rozdílem však je, že jediná úloha, která se periodicky opakuje, je měření. Ostatní úlohy se provádějí vždy. Nejlepším příkladem je úloha, která zajišťuje odesílání dat, která není spouštěna vypršením času pro aktualizaci, ale je podmíněna přijetím příkazu od obslužné stanice.

Další zvláštností je použití vzdálených výstupů. Je potřeba rozlišit, co je vlastně potřeba udělat při přijetí zprávy. Důsledkem je nutnost implementace systému příkazů i v obslužné stanici.

Obrázek 8.2 SW architektura bezdrátových senzorů



9 Výroba a testování

Vlastní výroba neprobíhala podle původních odhadů, zejména z důvodu nedostatku času autora a dalších komplikací, které nebylo možné předvídat.

9.1 Obslužná stanice

Obslužnou stanicí se nepodařilo realizovat kvůli dočasné nedostupnosti klíčových součástí. Mezi těmito komponenty je i mikrokontrolér, za nějž se nepodařilo zavčas sehnat náhradu. Veškerý vývoj proto musel probíhat na nepájivém poli. Naštěstí modulární SW architektura umožňuje snadnou přenositelnost kódu na jakoukoliv DPS-stačí pouze v jedné konkrétní úloze správně nastavit, který pin mikrokontroléru je na co připojen. Ostatní úlohy jsou oproštěné od HW a lze je tedy vyvíjet jako samostatné komponenty.

Z tohoto důvodu bylo také rozhodnuto, že testování bude probíhat metodou white-box testing. Tato metoda předpokládá, že tester ví, co se děje uvnitř programu, má k dispozici zdrojové kódy a využívá této znalosti k testování. Tento způsob testování má jednu zásadní výhodu a jednu zásadní nevýhodu. Výhoda je, že si lze v programu předpřipravit cestu, kudy program poběží, využitím pomocných proměnných a funkcí. Nevýhoda ovšem je, že tak nelze otestovat všechny scénáře. White-box testing je metoda vhodná pro vývoj, ale méně vhodná pro detekci chyb v programu. Pro takové účely je lepší využít metodu black-box testing. V takové situaci tester ví pouze, jaká má být reakce systému na vstupy. Není žádoucí, aby znal zdrojový kód, účelem je prověřit celkové chování systému a nevyhýbat se podvědomě rizikovým stavům.

9.2 Bezdrátové senzory

Toto zařízení se podařilo úspěšně sestavit, byť bylo při výrobě odhaleno množství chyb v návrhu, které je vhodné zmínit. Přílohy 12.8 a 12.9 ukazují hotový výrobek.

9.2.1 Chyby v návrhu

V první řadě je špatně zvoleno pouzdro lineárního stabilizátoru 7805. Na desce je použito pouzdro DPAK. Senzory plynů však mají odběr cca 150 mA každý, neboť musí být vyhřívány, tudíž je vhodné použít větší pouzdro D2PAK, které je dimenzováno na větší tepelné ztráty. Nápravné opatření je snadné, v návrhu změnit typ pouzdra a provést nové routování.

Další chybou je příliš malá rozteč konektorů pro senzory plynů. Důsledkem je, že se nevejdou dva senzory vedle sebe a při vývoji tak bylo nutné použít kabelové propojky. Je potřeba zvětšit tuto vzdálenost.

Relátka pro vzdálené výstupy jsou na špatné straně desky, konkrétně ve spodní vrstvě. Důsledkem je, že deska na stole není v rovině, což při testování přinášelo drobné obtíže.

9.2.2 Nedostatky v návrhu

Není použito jednotné pouzdro SMD rezistorů a kondenzátorů. Některé součástky se díky tomu velmi obtížně pájely na desku. Bylo by vhodné sjednotit velikost těchto prvků a použít pouzdro 1206.

Není jednotná velikost děr. Toto nepřináší žádné velké omezení vyjma vyšších výrobních nákladů kvůli nutnosti v průběhu výrobního procesu měnit vrták.

9.2.3 Oživování

Přes nemalé obtíže se podařilo desku bezdrátových senzorů plně oživit. Krom stabilizátoru 7805, kde je použito jiné pouzdro, vše funguje dle očekávání.

9.2.4 Testování

Jak již bylo zmíněno, testování probíhalo převážně formou white-box testingu. Ne každou funkčnost se podařilo implementovat, nicméně každá implementovaná funkčnost byla otestovaná. Následuje seznam funkčností, které se podařilo úspěšně implementovat.

Regulace teploty a relativní vzdušní vlhkosti. Teplota je regulována pomocí výstupu, ovládající vytápění, lhostejno jakého druhu. Regulace vlhkosti probíhají pomocí ventilátorů. Příloha 12.11 ukazuje stav, kdy jeden konkrétní modul požaduje zapnutí vytápění i ventilace.

Human-Machine interface. Přestože na začátku vývoje nebylo jasné, jak bude vypadat finální výsledek, funkčnost obrazovek ve spojení s klávesnicí je prostá. Je k dispozici několik obrazovek a přechody mezi nimi jsou definovány čtyřmi tlačítky, jejichž funkce je popsána ve čtvrtém řádku alfanumerického displeje. Krátce provedená analýza ukazuje, že toto řešení bude plně postačovat pro tyto účely i z hlediska nastavování parametrů.

Komunikace principiálně funguje, nicméně jsou chvíle, kdy se na několik vteřin rozpadne. Analýza ukázala, že se za nějakých okolností nepodaří odeslat zprávu. Na další analýzu tohoto problému nebylo bohužel dostatek času. Toto je však závažný nedostatek, který bude nutno vyřešit, kdy další analýza by se měla zaměřit na code review použité knihovny za účelem zjištění, co přesně se v kritické chvíli děje (17).

10 Závěr

Tato práce měla za cíl sestavit prototyp systému pro měření a regulaci fyzikálních veličin v domácnosti za účelem dosažení co největšího komfortu osob, v řečené domácnosti přebývajících. Tento cíl se podařilo splnit pouze částečně. Základní funkčnost je zajištěna. Systém je v době psaní této práce schopen základních regulací a měření, je schopen předat měřené hodnoty v čitelné podobě, avšak jeho plnému nasazení brání několik věcí.

Prvním problémem je absence HW pro obslužnou stanici. Bez této komponenty nemůže systém fungovat, nicméně analýza problému ukázala, že program by měl fungovat tak jak je, pouze s minimálními zásahy v podobě správného nastavení datových pinů mikrokontroléru. Toto je možné pouze díky použití modulární architektury, popsané v kapitole 8.1.2.

Co se týče DPS, jsou zde nedostatky, které byly zmíněny společně s nápravnými opatřeními, které je potřeba pro optimální chod vykonat.

Dalším problémem jsou již dříve zmíněné výpadky komunikace. Pokud analýza neodhalí příčinu, proč se tak děje, bude nutné implementovat mechanismus, který přímo počítá s tím, že aktuální data nemusí být dostupná.

Jeden z nejzávažnějších problémů, který bylo v průběhu této práce potřeba řešit, byly na začátku špatně zvolené SW nástroje. Pro program na kreslení DPS Fritzing (25) scházela dostatečná podpora. Oproti Eagle nemá takovou základnu uživatelů, schází kvalitní knihovny i pro lehce atypické součástky a po velmi dlouhou dobu pokusy o návrh DPS tímto SW blokovaly vývoj.

Je nutné zmínit, že tato práce by nemohla vzniknout v termínu díky dvěma věcem. První je již zmíněná modulární architektura, která umožnila vývoj i ladění po jednotlivých komponentách, Druhá jsou knihovny pro obsluhu periférií. U každé knihovny bylo prověřeno, zda je distribuovaná pod některou z copyleftových licencí. Pokud nebyla knihovna pod takovou licencí šířena, nebyla použita. V každém případě použité knihovny velice zjednodušily zdrojový kód a umožnily rychlejší vývoj.

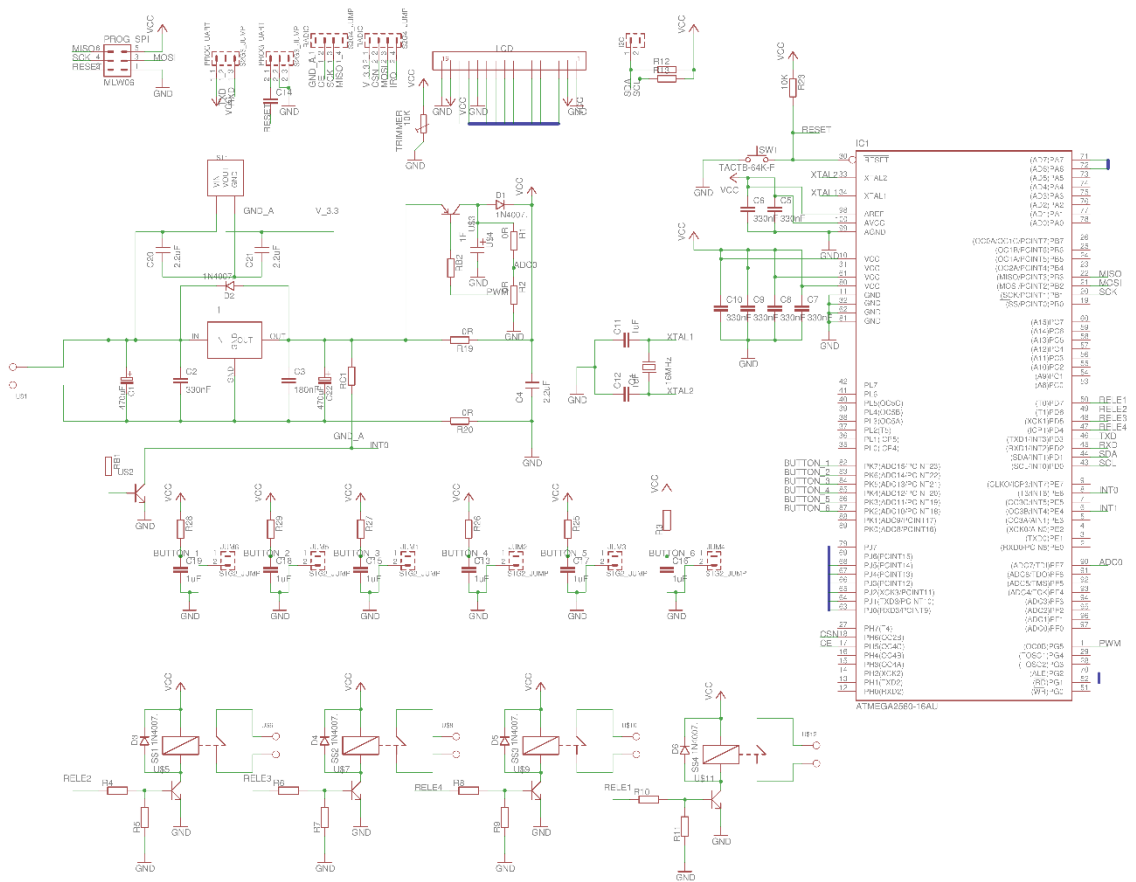
11 Reference

1. **Loxone.** Loxone Smart Home. [Online] Květen 2017. <https://www.loxone.com/cscz/>.
2. **Elektrobock.** PocketHome. [Online] Květen 2017. <https://www.elektrobock.cz/pockethome/c12>.
3. **Texas Instruments.** LM35 Datasheet. [Online] Srpen 2016. www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf.
4. **Maxim Integrated.** DS18B20 Datasheet. [Online] Leden 2015. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.
5. **Aosong Electronics Co., Ltd.** Aosong Humidity&Temp Sensors. [Online] Květen 2017. <http://www.aosong.com/en/products/index.asp?classid=313>.
6. —. CM2302 web page. [Online] Květen 2017. <http://www.aosong.com/en/products/details.asp?id=117>.
7. **Fried, Limor ladyada.** DHTxx guide. *adafruit*. [Online] Květen 2017. <https://learn.adafruit.com/dht>.
8. **GME.** DHT11. [Online] Květen 2017. <https://www.gme.cz/teplomer-a-vlhkomer-digitalni-dht11>.
9. **Sensirion.** SHT humidity sensors download center. [Online] Květen 2017. <https://www.sensirion.com/en/environmental-sensors/all-documents-of-sensirions-humidity-sensors-for-download/>.
10. **GME.** SHT15. [Online] Květen 2017. <https://www.gme.cz/sht15>.
11. **Husák, Miroslav.** *Mikrosenzory a Mikroaktuátory*. místo neznámé : Academia, 2008. 978-80-200-1478-8.
12. **Taguchi, Naoyoshi.** US3695848 (A) - GAS DETECTING DEVICE. *European Patent Office*. [Online] 3. Říjen 1972. https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=US&NR=3695848&KC=&FT=E&locale=en_EP.
13. **Arduino.** MQ Gas Senors. *Arduino Playground*. [Online] Květen 2017. <https://playground.arduino.cc/Main/MQGasSensors>.
14. **Kulhánek, Petr.** Statistická fyzika. *Aldebaran*. [Online] Květen 2017. www.aldebaran.cz/studium/statistika.pdf.
15. **GME.** Modul vysílač + přijímač 433Mhz. [Online] Květen 2017. <https://www.gme.cz/modul-vysilac-prijimac-433mhz>.
16. —. nRF24. [Online] Květen 2017. <https://www.gme.cz/modul-wifi-s-nrf24l01>.
17. **maniacbug.** RF24 repository. *GitHub*. [Online] Květen 2017. <https://github.com/maniacbug/RF24>.
18. **The Telegraph.** History of ARM: from Acorn to Apple. *The Telegraph*. [Online] Leden 2011. <http://www.telegraph.co.uk/finance/newsbysector/epic/arm/8243162/History-of-ARM-from-Acorn-to-Apple.html>.

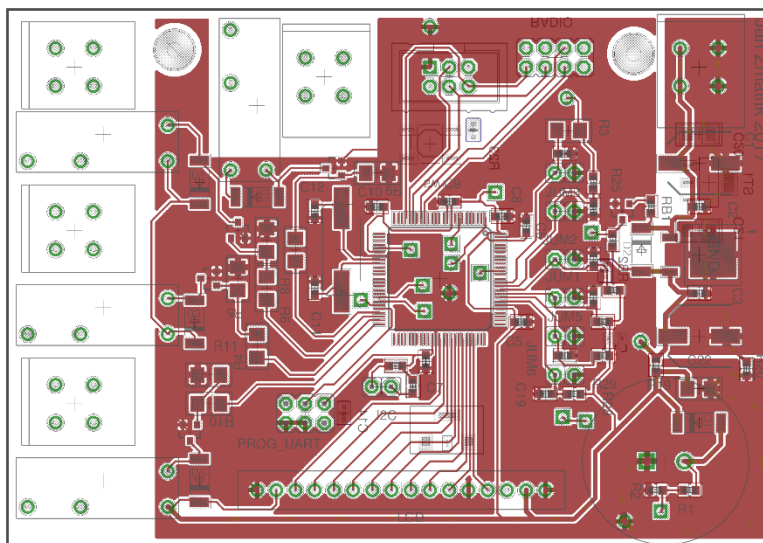
19. **GME.** LCD Winstar 2004A. [Online] Květen 2017. <https://www.gme.cz/lcd-alfanumericky-displej-winstar-wh2004a-yti-et>.
20. **Haasz, Vladimír a Sedláček, Miloš.** *Elektrická Měření. Přístroje a metody.* 80-01-01717-6 .
21. **Atmel.** ATmega 2560 datasheet. [Online] Květen 2017. http://www.atmel.com/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf.
22. —. ATmega328 datasheet. [Online] Květen 2017. <http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>.
23. **Arduino.** Arduino homepage. [Online] Květen 2017. <https://www.arduino.cc/>.
24. —. LiquidCrystal reference. [Online] Květen 2017. <https://www.arduino.cc/en/Reference/LiquidCrystal>.
25. **Fritzing.** Fritzing. [Online] Květen 2017. <http://fritzing.org/home/>.
26. **Kitchen, Zbyšek Voda & Tým HW.** *Průvodce světem Arduina.* místo neznámé : HW Kitchen, 2015. 978-80-87106-90-7.

12 Přílohy

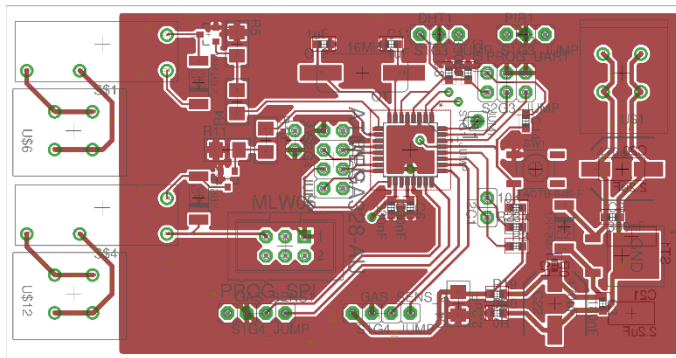
12.1 Schéma obslužné stanice



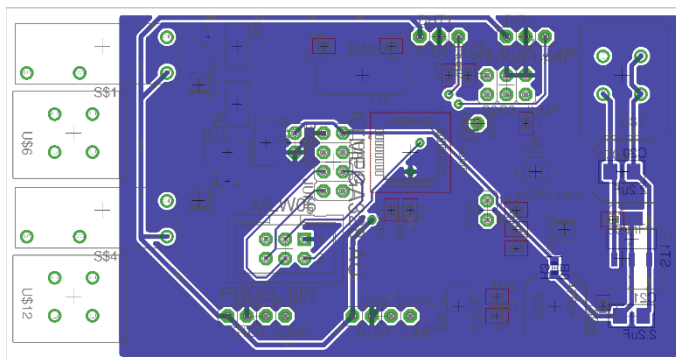
12.2 Horní vrstva DPS obslužné stanice



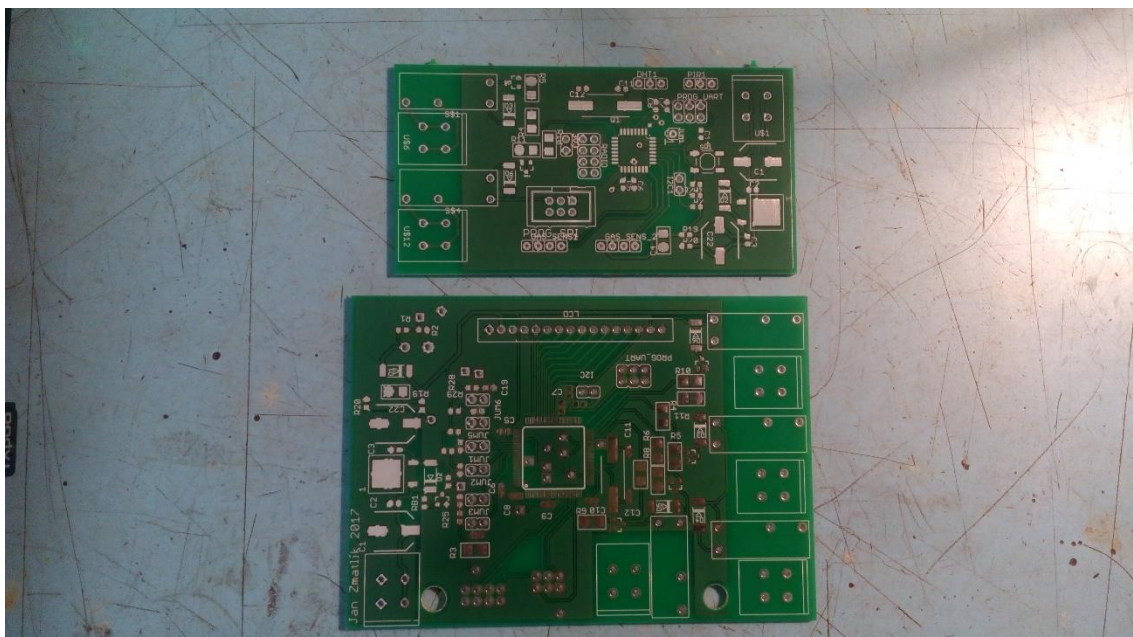
12.5 Horní vrstva DPS bezdrátového modulu



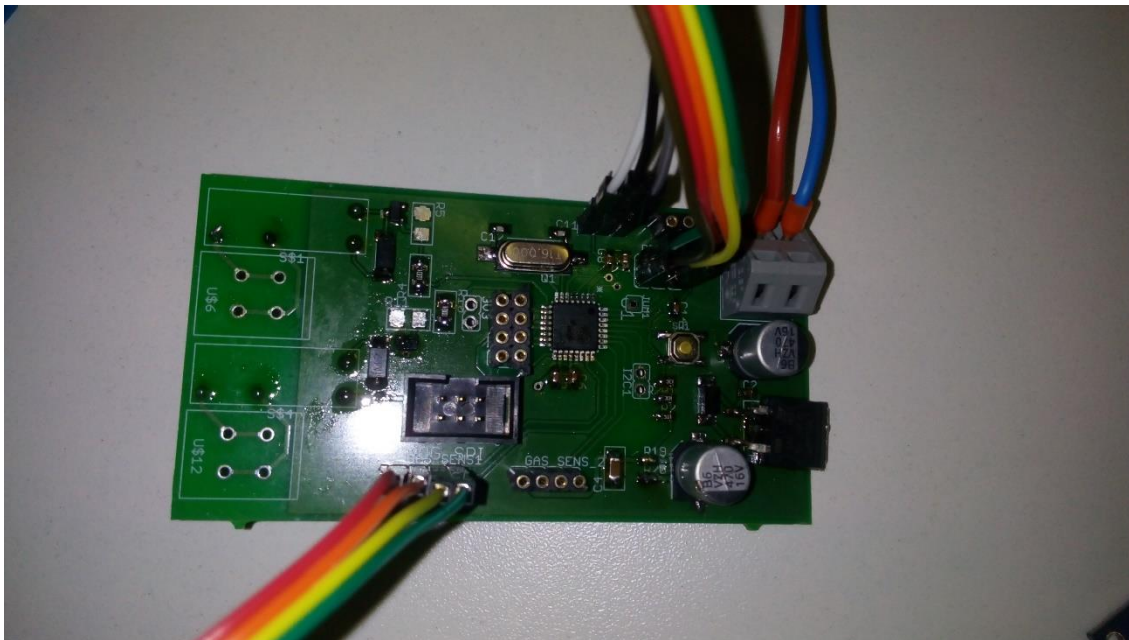
12.6 Spodní vrstva DPS bezdrátového modulu



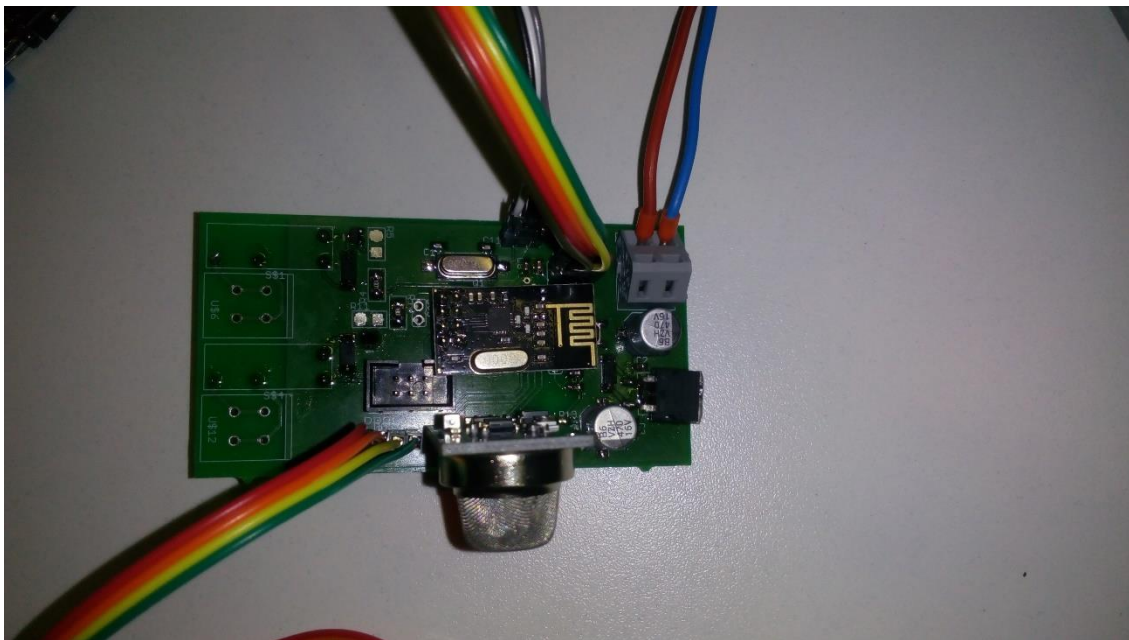
12.7 Desky plošných spojů



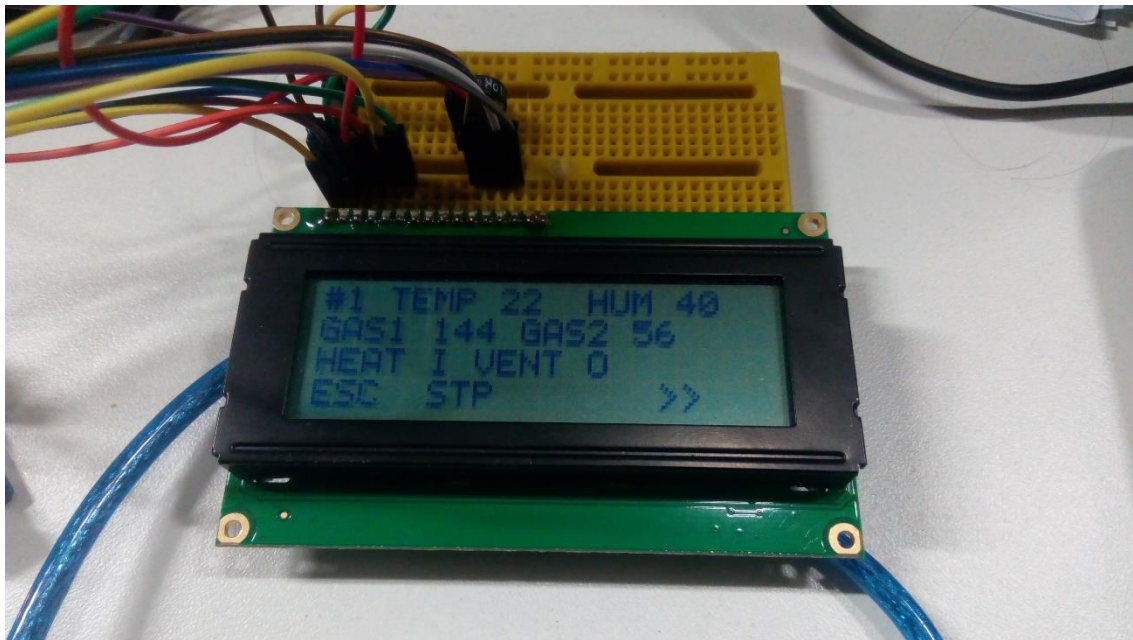
12.8 Osazená deska bezdrátového senzoru



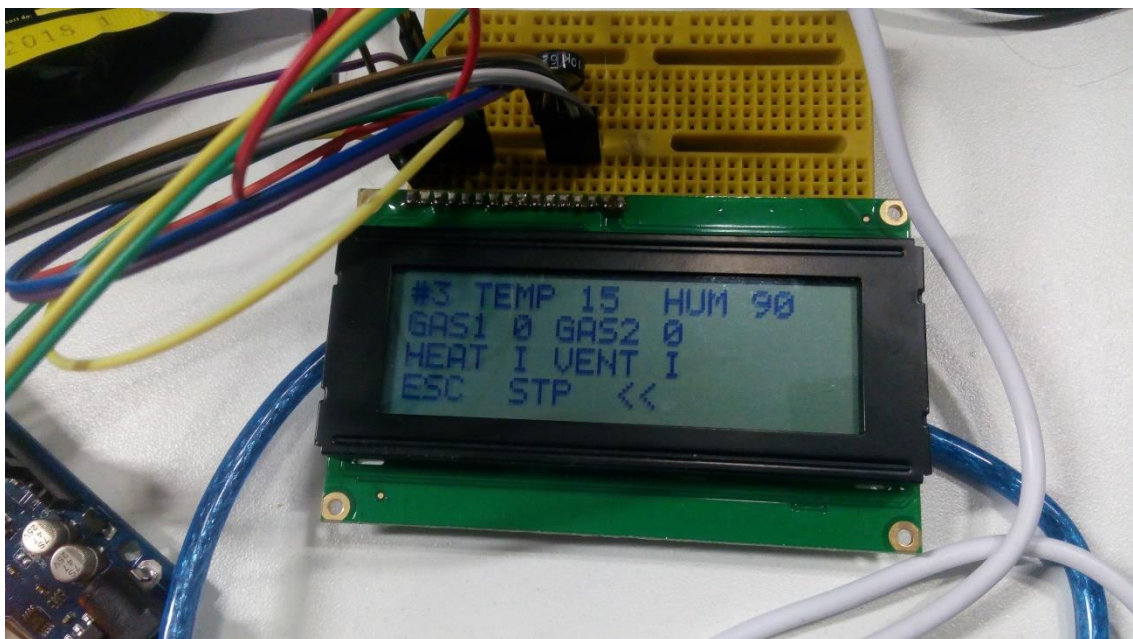
12.9 Kompletní deska bezdrátového senzoru



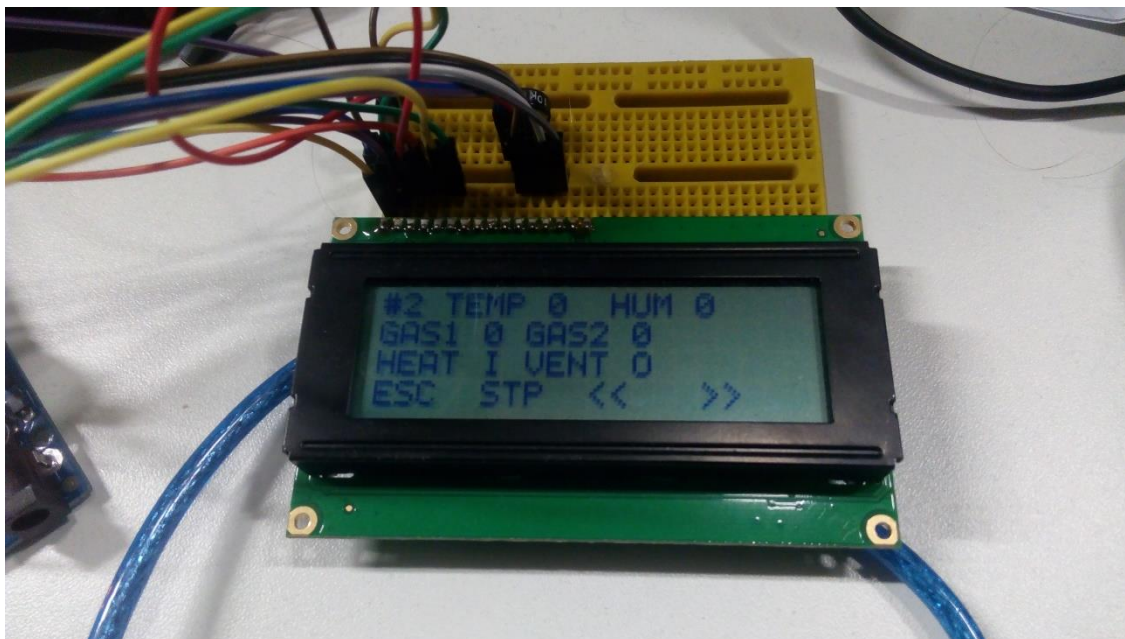
12.10 Obrazovka prvního senzoru



12.11 Obrazovka posledního senzoru



12.12 Obrazovka ostatních senzorů



12.13 Obrazovka parametrů

