



**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

F3

**Fakulta elektrotechnická
Katedra teorie obvodů**

Diplomová práce

Měření parametrů vnitřního prostředí

Bc. Anna Budková

Lékařská elektronika a bioinformatika

Praha, 2024

Vedoucí práce: Ing. Jan Havlík, Ph.D

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Budková** Jméno: **Anna** Osobní číslo: **486991**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra teorie obvodů**
Studijní program: **Lékařská elektronika a bioinformatika**
Specializace: **Lékařská technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Měření parametrů vnitřního prostředí

Název diplomové práce anglicky:

Measurement of Indoor Ambient Parameters

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a realizujte systém pro komplexní měření parametrů vnitřního prostředí, jako jsou např. teplota a vlhkost vzduchu, koncentrace CO₂ apod., který umožní jejich dlouhodobý kontinuální záznam a odesílání notifikací v okamžiku překročení nastavených limitních hodnot.

1. Seznamte se s problematikou měření parametrů prostředí, resp. měření neelektrických fyzikálních veličin.
2. Navrhněte a realizujte hardware zařízení pro měření parametrů prostředí a navrhněte a implementujte potřebný firmware pro dlouhodobý kontinuální záznam naměřených hodnot a odesílání notifikací v okamžiku překročení nastavených prahů.
3. Ověřte funkčnost realizovaného zařízení.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Pipal, A.S., Taneja, A. (2023). Measurements of Indoor Air Quality. In: Aswal, D.K., Yadav, S., Takatsuji, T., Rachakonda, P., Kumar, H. (eds) Handbook of Metrology and Applications. Springer, Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-19-1550-5_90-1
- [2] Saini, J., Dutta, M. & Marques, G. A comprehensive review on indoor air quality monitoring systems for enhanced public health. *Sustain Environ Res* 30, 6 (2020). <https://doi.org/10.1186/s42834-020-0047-y>
- [3] Pitarma, R., Marques, G., Ferreira, B. R.: Monitoring Indoor Air Quality for Enhanced Occupational Health. *J Med Syst* 41, 23 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10916-016-0667-2>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Havlík, Ph.D. katedra teorie obvodů FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **02.02.2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2024**

Platnost zadání diplomové práce: **21.09.2025**

Ing. Jan Havlík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Radoslav Bortel, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Poděkování / Prohlášení

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Janu Havlíkovi, Ph.D., za odborné vedení a ochotu, kterou mi věnoval. Srdečně děkuji své rodině za jejich velkou trpělivost a podporu během celého studia.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

.....

Abstrakt / Abstract

Tato práce se zabývá studiem a realizací systému pro komplexní monitorování parametrů vnitřního prostředí, včetně teploty, vlhkosti vzduchu, koncentrace CO₂ a tlaku. Bylo navrženo a realizováno hardware zařízení na platformě Raspberry Pi Zero, které integruje senzory pro měření jednotlivých veličin a firmware umožňující dlouhodobý záznam naměřených hodnot a odesílání notifikací v případě překročení limitů. Pro odesílání notifikací pomocí SMS byl integrován GSM modul a pro snadnou správu nastavení byl vytvořen webový server přístupný přes Wi-Fi. Mechanická zástavba byla navržena a vyrobena pomocí 3D tisku, zajišťující ochranu a stabilitu celého systému. Funkčnost systému byla úspěšně ověřena jak v laboratorních, tak i v reálných podmínkách. Celkově navržený systém poskytuje efektivní nástroj pro monitorování kvality vnitřního prostředí s možností flexibilního nastavení a širokého využití v různých aplikacích.

Klíčová slova:

Monitorování vnitřního prostředí, Raspberry Pi Zero, Integrace senzorů, Vývoj firmware, Wi-Fi webový server

This thesis explores the study and implementation of a system for comprehensive monitoring of indoor environmental parameters, including temperature, humidity, CO₂ concentration, and pressure. Hardware equipment was designed and implemented on the Raspberry Pi Zero platform, integrating sensors for measuring individual variables and firmware enabling long-term recording of measured values and sending notifications in case of exceeding limits. For sending notifications via SMS, a GSM module was integrated, and for easy settings management, a web server was created via Wi-Fi. The mechanical enclosure was designed and manufactured using 3D printing, ensuring protection and stability of the entire system. The functionality of the system was successfully verified both in laboratory and real-world conditions. Overall, the designed system provides an efficient tool for monitoring indoor environmental quality with the possibility of flexible settings and wide application usage.

Keywords:

Indoor environmental monitoring, Raspberry Pi Zero, Sensor integration, Firmware development, Wi-Fi web server

Title translation: Measurement of Indoor Ambient Parameters

Obsah /

1 Úvod	1	5 Výběr platformy pro ukládání dat	17
1.1 Cíle a požadavky na navrhovaný systém	1	5.1 ThingsBoard	17
2 Seznámení s měřením parametrů prostředí	2	5.2 ThingSpeak	17
2.1 Význam měření parametrů prostředí	2	5.3 Node-RED	18
2.2 Normy a směrnice	2	6 HW návrh systému	20
2.3 Teplota vzduchu	3	6.1 Raspberry Pi Zero	20
2.4 Vlhkost vzduchu	3	6.2 LCD display – L2004A	21
2.5 Tlak vzduchu	3	6.3 SMS modul - SIM7000E	22
2.6 Koncentrace CO ₂ ve vzduchu	3	6.4 Napájení zařízení	22
2.7 Intenzita osvětlení	4	6.4.1 Záložní napájení	23
3 Měření parametrů vnitřního prostředí	5	6.5 Návrh PCB	25
3.1 Měření teploty	5	6.6 Realizace HW	27
3.1.1 Termočlánek	5	7 Implementace firmware	28
3.1.2 RTD - odporový teplotní detektor	6	7.1 Programování řídicí jednotky	28
3.1.3 Termistor	6	7.2 Automatické spuštění	29
3.1.4 PN přechod	7	7.3 I ² C komunikace	29
3.2 Měření vlhkosti	7	7.3.1 Sběr dat ze senzorů	30
3.2.1 Kapacitní senzor vlhkosti	7	7.3.2 Zobrazení na LCD display	30
3.2.2 Odporový senzor vlhkosti	8	7.4 Komunikace ThingSpeak	31
3.2.3 Termální senzor	8	7.5 Web rozhraní	31
3.3 Měření tlaku vzduchu	9	7.6 UART komunikace	32
3.3.1 Kapacitní senzory tlaku	9	7.6.1 Komunikace s SMS modulem	33
3.3.2 Piezorezistivní senzory tlaku	10	7.7 Logika pro kontinuální význam hodnot	33
3.3.3 Piezoelektrické senzory tlaku	10	7.8 Implementace notifikačního systému	34
3.4 Měření koncentrace CO ₂	10	7.8.1 Notifikace napájení	35
3.4.1 NDIR měření	10	7.8.2 Notifikace funkce jednotky	35
3.4.2 Chemické senzory	12	8 Uživatelské rozhraní	36
3.5 Měření intenzity světla	13	8.1 LCD display	36
3.5.1 Fotorezistor	13	8.2 Webové rozhraní	36
3.5.2 Fotodioda	13	8.3 ThingSpeak	37
4 Vybrané senzory	15	8.4 SMS	37
4.1 BH1750 – měření intenzity světla	15	9 Mechanická zástavba zařízení	38
4.2 SCD30 – měření teploty, vlhkosti a koncentrace CO ₂	16	10 Ověření funkčnosti reálného zařízení	41
4.3 BMP280 – měření tlaku a teploty	16	10.1 Umělé vytvoření situací	41
		10.2 Testování v reálném prostředí	43
		10.2.1 Výsledky kontinuálního měření	44
		11 Diskuze	47
		12 Závěr	48

Literatura	49
A Zkratky	53
B Realizované zařízení	54

Tabulky / Obrázky

10.1 Prahové hodnoty pro reálné testování.....	43
3.1 Princip termočlánku	5
3.2 Senzor Pt100	6
3.3 Komerční termistory	6
3.4 Senzor DS18B20.....	7
3.5 Kapacitní senzor P14	8
3.6 Rezistivní senzor DHT11	8
3.7 Schéma sensoru ABS.....	9
3.8 Kapacitní senzor tlaku	9
3.9 Senzor BMP280	10
3.10 Spektrální absorpční čáry různých plynů	11
3.11 Optický plynový senzor	11
3.12 Princip sensoru SCD30	12
3.13 Senzor CO ₂ MG8110.....	12
3.14 Fotorezistor GL5528	13
3.15 Schéma fotodiody	14
4.1 Schéma vnitřního obvodu sensoru BH1750	15
4.2 Senzor SCD30	16
5.1 ThingsBoard.....	17
5.2 ThingsSpeak.....	18
5.3 Node-RED	19
6.1 Blokové schéma zařízení	20
6.2 Raspberry Pi Zero	20
6.3 Raspberry Pi pinout	21
6.4 SIM7000E	22
6.5 Schéma záložního napájení zařízení	23
6.6 LiPol Baterie 2s	24
6.7 Nabíječka TP5100.....	24
6.8 Step-up s SX1308	25
6.9 Návrh PCB.....	26
6.10 Osazený PCB.....	27
7.1 Blokové schéma používaných komunikací	28
7.2 I ² C komunikace	30
7.3 Komunikace UART	33
7.4 Reprezentativní hodnoty.....	33
7.5 Schéma logiky notifikace.....	34
8.1 Webové rozhraní	36
9.1 Vrchní část zástavby	38
9.2 Spodní část zástavby.....	39
9.3 Spodní část zástavby.....	40
10.1 Finální zařízení	43
10.2 Hodnoty veličin při testování ..	45
10.3 Porovnání hodnot	45

Kapitola 1

Úvod

V dnešní době, kdy se realizují různorodé experimenty v laboratořích, nabývá stále většího významu měření parametrů prostředí, kde tyto experimenty probíhají. Analýza, stabilita a znalost prostředí se stává klíčovým prvkem při posuzování jeho vlivu na samotná měření projektů nebo úkolů. Otázky týkající se vhodného prostředí pro experimenty a podmínek pro opakování se stávají neodmyslitelnou součástí vědeckého výzkumu.

Při zkoumání vlivu prostředí na experimentální výsledky je nezbytné zvážit řadu faktorů. Patří sem například teplota, vlhkost, světelné podmínky, koncentrace oxidu uhličitého a další. Tyto faktory mohou výrazně ovlivnit chování, fyziologii a reakce testovaných subjektů, a tím i spolehlivost a reprodukovatelnost experimentu.

Pokud je cílem dosáhnout vědeckých výsledků, které jsou relevantní v reálném prostředí, je nezbytné pečlivě zvážit, jakým podmínkám jsou vystaveny subjekty experimentu. Analýza prostředí, ve kterém probíhá experiment, může poskytnout klíčové informace pro interpretaci získaných dat. Také umožní vědcům lepší porozumění vztahu mezi okolním prostředím a výsledky experimentů.

V tomto kontextu se měření parametrů prostředí stává neodmyslitelným prvkem v procesu vědeckého výzkumu. V době, kdy je etika výzkumu na zvířatech klíčovým tématem, se tato studie stává důležitým nástrojem pro zajištění důstojných podmínek životního prostředí pro testované subjekty.

1.1 Cíle a požadavky na navrhovaný systém

Cílem této práce je navrhnout a implementovat systém pro komplexní měření parametrů prostředí, což jsou například teplota a vlhkost vzduchu, koncentrace CO_2 apod. Hlavním úkolem systému je poskytovat dlouhodobý kontinuální záznam těchto parametrů a informovat uživatele, pokud některá z hodnot překročí nastavené limity uživatelem. Systém má sledovat parametry prostředí a zajistit, že uživatelé budou okamžitě upozorněni na jakákoliv odchýlení od dovolených nastavených hodnot. Tím bude mít uživatel možnost rychle reagovat a přijmout případná opatření ke zlepšení kvality prostředí.

Kapitola 2

Seznámení s měřením parametrů prostředí

Měření parametrů prostředí představuje systematický proces, jehož cílem je získání údajů různých fyzikálních veličin prostředí. Důležitou součástí parametrů prostředí je kvalita vnitřního vzduchu (IAQ) a kvalita vnitřního prostředí (IEQ). IAQ se zaměřuje na měření kvality vzduchu uvnitř budov s důrazem na její potenciální vliv na zdraví a pohodu obyvatel. IEQ je širší pojem, který zahrnuje nejen IAQ, ale také další fyzické a psychologické aspekty života uvnitř budov. Měří různé faktory, včetně kvality vzduchu, osvětlení, vizuálního vnímání, akustiky a tepelného komfortu. [1]

2.1 Význam měření parametrů prostředí

Důvody pro měření neelektrických fyzikálních veličin jsou rozmanité a závisí na konkrétním kontextu. Jedním z hlavních důvodů jejich měření je vliv těchto parametrů na zdraví lidí, chování zvířat, růst rostlin a funkčnost elektroniky. V oblasti vědeckého výzkumu umožňuje měření parametrů prostředí shromažďování dat, která jsou nezbytná pro validní experimenty a jejich reprodukovatelnost. V průmyslu může měření parametrů přispět k optimalizaci výrobních procesů a zajištění kvality výrobků. [1–2]

2.2 Normy a směrnice

Instituce příslušné k daným oblastem vydávají normy, směrnice a doporučení pro hodnocení a zlepšování faktorů vnitřního prostředí. V České republice je to norma ČSN EN 16798-1 (127027): *Energetická náročnost budov - Větrání budov - Část 1: Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky* poskytuje směrnice pro celkové hodnocení energetické náročnosti budov. Tato norma sleduje kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky. Mezi další mezinárodně uznávané normy a směrnice řadíme ISO 7730–směrnice pro hodnocení tepelného prostředí a určující parametry, jako je teplota, vlhkost a rychlost proudění vzduchu, které ovlivňují pohodu a produktivitu pracovníků na pracovišti. ASHRAE Standard 55 je standardem pro hodnocení tepelného komfortu v různých typech budov, včetně kanceláří a komerčních prostor. OSHA (Occupational Safety and Health Administration) v USA poskytuje směrnice pro bezpečnost a ochranu zdraví pracovníků včetně otázek tepelného prostředí a klimatu v pracovních prostorách. Lokální předpisy mohou obsahovat specifická ustanovení týkající se teplotního prostředí uvnitř budov, a to v souladu s požadavky experimentů. Všechny tyto normy a směrnice slouží k tomu, aby zajistily, že vnitřní prostředí budov je bezpečné, zdravé a pohodlné pro jejich obyvatele. [1, 3–4]

2.3 Teplota vzduchu

Teplota vnitřních prostor je definována jako průměrná kinetická energie částic vzduchu v daném prostoru. Teplota je měřena v jednotkách stupně Celsius ($^{\circ}\text{C}$), Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) nebo Kelvinech (K). Teplota ovlivňuje nejen fyzikální vlastnosti látek, jako je objem, tlak, elektrická vodivost nebo viskozita, ale může i výrazně ovlivňovat lidské zdraví. Podle Světové zdravotnické organizace (WHO) je ideální okolní teplota pro lidi alespoň $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ a pro zranitelnější skupiny, jako jsou starší lidé, děti a lidé trpící chronickými nemocemi, je doporučována vyšší teplota. Nízké teploty mohou zvýšit riziko kardiovaskulárních onemocnění, zhoršit respirační stavy, způsobit zánět plic nebo vyvolat problémy s oběhovým systémem. Naopak příliš vysoké teploty mohou také zhoršit respirační stavy, přispět k problémům s krevním tlakem a způsobit symptomy tepelného stresu, včetně bolestí hlavy, nevolnosti a závratí. Je tedy důležité dbát na udržení vhodné teploty prostředí s ohledem na zdraví jednotlivců i zvířat. [5]

2.4 Vlhkost vzduchu

Vlhkost obecně označuje množství vodní páry přítomné v daném prostředí. Vlhkost vnitřních prostor je míra obsahu vodní páry ve vzduchu, vyjádřená jako podíl vodní páry na celkovém objemu vzduchu. Existují různé způsoby vyjádření vlhkosti. Absolutní vlhkost měří množství vodní páry ve vzduchu na objem. Relativní vlhkost udává poměr aktuálního obsahu vodní páry ve vzduchu k maximální možnému obsahu při dané teplotě, vyjádřený v procentech. Vlhkost má významný vliv na pohodu, zdraví a životnost materiálů. Většina nepříznivých zdravotních účinků způsobených relativní vlhkostí by byla minimalizována udržováním úrovně mezi 40–60 %. Příliš nízká vlhkost může zhoršit respirační stavy, způsobit suchou kůži, podráždění nosu a krku, svědění očí a zvýšit riziko infekcí. Naopak vysoká vlhkost může vést k dehydrataci, únavě, úpalu a ke zvýšenému riziku infekcí, spolu s dalšími problémy jako jsou alergie a svalové křeče. [6–7]

2.5 Tlak vzduchu

Atmosférický tlak je tlak, který vzduch vyvíjí na povrch Země vlivem působení gravitace nad daným místem. Jednotkou pro měření tlaku vzduchu v mezinárodním systému jednotek (SI) je pascal (Pa). Velikost atmosférického tlaku může ovlivnit několik faktorů, jako je teplota vzduchu, množství vodní páry v atmosféře, nadmořská výška a geografická poloha. Každý experiment by měl být definován, při jakém tlaku je prováděn, aby bylo možné zaručit konzistenci a reprodukovatelnost výsledků.

2.6 Koncentrace CO_2 ve vzduchu

Koncentrace CO_2 je důležitým parametrem hodnocení kvality vzduchu v uzavřených prostorech. Referenční hodnoty pro tyto koncentrace nejsou jednotné a pohybují se v rozmezí od 530 do 1500 ppmv (parts per million by volume neboli částí na milion objemu). V prostředí škol je doporučená koncentrace CO_2 udržována pod 1000 ppm.

Překročení hranice 1000 ppm může vést k subjektivním pocitům špatného vzduchu a ospalosti u jednotlivců. Při koncentracích mezi 1000 a 2000 ppm mohou být zaznamenány stížnosti na bolesti hlavy, sníženou koncentraci, ztrátu pozornosti, zvýšený tep a mírnou nevolnost. Při vyšších hodnotách, mezi 2000 až 5000 ppm, se mohou objevit intenzivnější symptomy, včetně silnějších bolestí hlavy, výrazné únavy, potíže se soustředěním a zvýšené nevolnosti. [8–9]

2.7 Intenzita osvětlení

Intenzita světla může ovlivňovat cirkadiánní rytmy a celkový psychický stav jednotlivců. Cirkadiánní rytmus, zahrnující cykly světla a tmy v průběhu 24-hodinového slunečního dne, je synchronizován vnitřními mechanismy v mozku. Tyto mechanismy jsou každodenně resetovány expozicí světla a tmy, což umožňuje optimální načasování biologických procesů s vnějším prostředím. Výzkumy potvrzují, že existuje vztah mezi poruchami nálad a cirkadiánními rytmy. Intenzita světla se měří v luxech (lx), přičemž jasná noc osvětluje temporální zónu prostředí 0,1–0,3 lx, v tropech až 1,0 lux. Jeden lux odpovídá světlu jedné svíčky ze vzdálenosti jednoho metru. Ve studii [10] byl sledován vliv intenzity světla na chování brojlerů. Brojleři udržovaní při intenzitě 20 lx během denní fáze byli aktivnější než brojleři při 5 lx. Tento výzkum ukazuje význam sledování intenzity světla u lidí i zvířat, zejména pokud se snažíme dosáhnout reprodukovatelných výsledků ve výzkumech. [11, 10]

Kapitola 3

Měření parametrů vnitřního prostředí

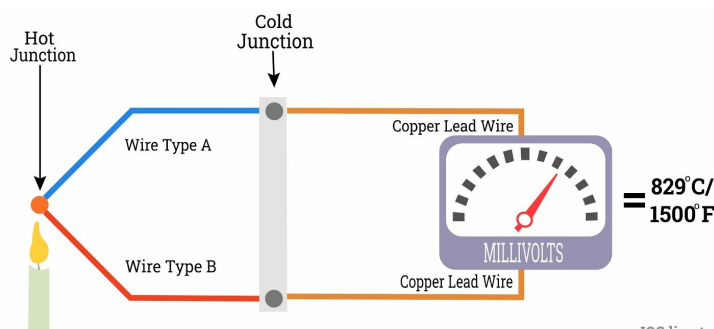
Měření parametrů prostředí, zejména neelektrických fyzikálních veličin, je klíčovým prvkem v různých odvětvích, od vědeckého výzkumu po průmyslové aplikace. Tato měření jsou založena na různých fyzikálních principech, které umožňují převod neelektrických veličin na elektrické signály pro snadné zpracování a analýzu. Mezi tyto metody patří například termoelektrický jev, piezoelektrický jev, optické metody, chemické senzory a kapacitní měření. V závislosti na typu senzoru může jeho elektrický výstup být napětí, proud, kapacita, odpor, frekvence nebo jiná elektrická vlastnost, která se mění v závislosti na změnách neelektrických veličin. Níže v kapitolách jsou představeny obecné principy daných senzorů a jejich komerční zástupci.

3.1 Měření teploty

Pro měření teploty je možné využít celou řadu technik, níže jsou popsány typické principy používané v komerčně dostupných senzorech.

3.1.1 Termočlánek

Termočlánek, který je tvořen dvěma kovovými vodiči spojenými na jednom konci, je zobrazen na obrázku 3.1. Měří teplotu na základě termoelektrického jevu, kde je generováno malé napětí při změně teploty ve spojení dvou různých kovů. Respektive, když se teplota v místě spojení vodičů mění, také se mění napětí generovaný termočlánekem. Tato změna se poté měří a interpretuje jako změna teploty. Termočláanky jsou typicky vyrobeny z různých kovů, jako je například chromel a alumel. Mají lineární chování v rozsahu teplot, což usnadňuje jejich kalibraci.

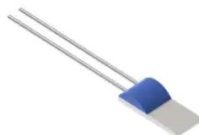


Obrázek 3.1. Princip termočláneku [12]

3.1.2 RTD - odporový teplotní detektor

RTD je zkratka pro odporový teplotní detektor (Resistance Temperature Detector). Jedná se o typ teplotního senzoru, který mění svůj elektrický odpor v závislosti na teplotě okolí. RTD senzory jsou vyrobeny z kovového materiálu, jako je například platinový drát nebo fólie, jejichž elektrický odpor se mění lineárně v závislosti na teplotě. U platiny se jedná o pozitivní teplotní koeficient odporu (PTC Positiv Temperature Coeficient), když teplota vzroste, odpor platinového materiálu se zvyšuje, a když teplota klesá, odpor se snižuje. Tato změna odporu se používá k výpočtu teploty okolí.

Například komerčně dostupné senzory je řada sensorů Pt100 nebo Pt1000. Pt, je chemický symbol pro platinu, což ukazuje, že senzor je založen na platině. Druhá část, 100, se vztahuje k odporu zařízení při teplotě 0 °C. Senzor Pt100 na obrázku 3.2 při teplotě 0 °C má odpor 100 Ω. Existují i jiné materiály, které lze použít, jako je nikl (Ni) nebo měď (Cu).

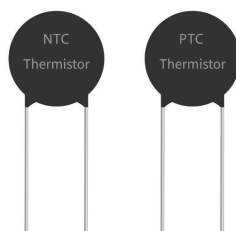


Obrázek 3.2. Senzor Pt100 pro měření teploty [13]

3.1.3 Termistor

Termistory jsou vyrobeny z materiálů s vysokým teplotním koeficientem odporu, jako je keramika nebo polymer. Na rozdíl od RTD sensorů, termistory mají obvykle nelineární odezvu na změny teploty a jsou obecně citlivější na nižší teploty. Jejich nelineární chování vyžaduje složitější kalibraci a kompenzaci.

Termistorové senzory se dělí na NTC (Negative Temperature Coefficient) a PTC podle jejich chování odpor s rostoucí teplotou. NTC termistory mají odpor, který klesá s rostoucí teplotou. Tyto senzory jsou vyrobeny z materiálů s vysokým teplotním koeficientem odporu, jako je oxid kovu nebo keramika. PTC termistory mají odpor, který stoupá s rostoucí teplotou. Tyto senzory jsou obvykle vyrobeny z materiálů, jako je polovodičový keramický materiál nebo polymer. Ukázka komerčně dostupných sensorů využívajících termistor je na obrázku 3.3.

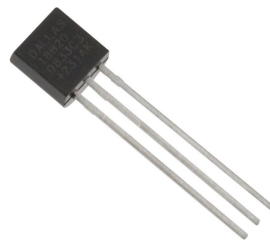


Obrázek 3.3. Ukázka komerčně dostupných termistorů [14]

■ 3.1.4 PN přechod

PN přechod je tvořen spojením polovodičových materiálů s odlišným typem vodivosti (neboli P a N typ). Princip měření teploty pomocí PN přechodu spočívá v prahové hodnotě napětí závislé na teplotě. Když teplota stoupá, elektrony v polovodiči získávají energii, což vede ke zvýšení průchodu proudu přes PN přechod. Tento nárůst proudu je způsoben tím, že se zvýší počet volných nositelů náboje v polovodiči při vyšší teplotě. Tato změna proudu nebo napětí přes PN přechod je potom měřena jako indikátor teplotní změny.

Například senzor využívající PN přechod je DS18B20, zobrazen na obrázku 3.4.



Obrázek 3.4. Teplotní senzor DS18B20 využívající PN přechod [15]

■ 3.2 Měření vlhkosti

Senzory vlhkosti fungují na základě principu měření relativního odpařování, což je klíčové pro získání relevantních dat o vlhkosti vzduchu. Pro zajištění přesnosti měření tyto senzory často integrují také detekci teploty, která slouží k případným korekcím. Na povrchu senzorů se mohou ukládat nečistoty nebo mastnota, což může vést ke zkresleným výsledkům, proto je velmi důležité s nimi manipulovat dle instrukcí.

■ 3.2.1 Kapacitní senzor vlhkosti

Kapacitní senzory využívají technologii změny dielektrické konstanty materiálu na základě absorpce vodních par. Tyto senzory měří změnu kapacity elektrod umístěných vedle sebe v závislosti na obsahu vlhkosti v okolním prostředí. Když se vlhkost vzduchu mění, mění se i dielektrická konstanta mezi elektrodami, což způsobuje změnu kapacity a umožňuje měření vlhkosti.

Mezi komerčně dostupné kapacitní senzory vlhkosti patří například Kapacitní senzor vlhkosti P14 Rapid-W zobrazen na obrázku 3.5.

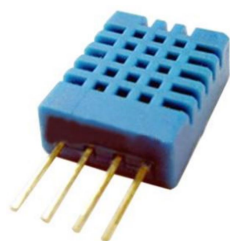


Obrázek 3.5. Kapacitní senzor vlhkosti P14 [16]

■ 3.2.2 Odporový senzor vlhkosti

Odporové senzory vlhkosti pracují na základě změn elektrického odporu materiálu v závislosti na vlhkosti okolního prostředí. Tyto senzory obsahují substrát, na který je nanesena vrstva citlivého materiálu, jako je polymer nebo keramika, která reaguje na změny vlhkosti. Když je senzor vystaven vlhkému prostředí, absorbuje vlhkost a mění se elektrický odpor citlivého materiálu. Tato změna odporu je pak měřena a interpretována jako relativní vlhkost prostředí. Principem měření je detekce změn elektrické impedance senzoru, která přímo dopovídá změnám vlhkosti.

Materiál uvnitř senzoru Honeywell, který reaguje na změny vlhkosti, je například polymethylmethakrylát (PMMA), polyamid nebo polykarbonát. Komerčně dostupnými senzorem, využívající měření změn v kapacitě polymerní vrstvy v reakci na absorbovanou vlhkost a korekci těchto hodnot na základě naměřené teploty, jsou i senzory DHT11 (na obrázku 3.6), HT22 a HTU21D.

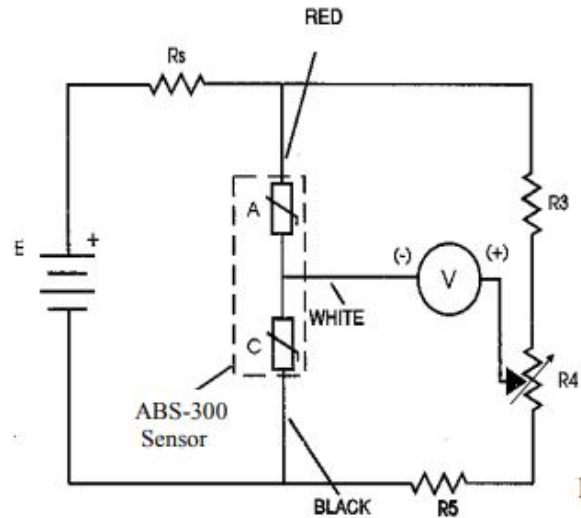


Obrázek 3.6. Rezistivní senzor vlhkosti DHT11 [17]

■ 3.2.3 Termální senzor

Termální senzory vlhkosti jsou běžně používány k měření absolutní vlhkosti. Termální senzory vlhkosti měří vlhkost vzduchu pomocí principu změny tepelné vodivosti. Od senzorů relativní vlhkosti se též liší tím, že používají dva vlhkostní sondy namísto jedné. Jednu pro suchý dusík a druhou pro vzduch v okolí (exponovanou sondou). Když se vlhkost shromáždí na exponované sondě, dojde k rozdílu v tepelné vodivosti mezi suchým dusíkem a vzduchem

Senzory ABS používají dva spárované termistory, připojené v mostovém obvodu, umístěné na společném tepelném hrdle z nerezové oceli. Jeden termistor (referenční) na obrázku 3.7 označen *C* je skleněně obalen v suchém dusíku, zatímco druhý termistor označen *A* je vystaven prostředí. Přivedením napětí jsou termistory zahřívány na vysokou teplotu (200 °C nebo více). Teplotní rozdíl mezi termistory, způsobený úrovní vlhkosti, vytvoří výstupní napětí úměrné vlhkosti vzduchu. Popsáno na obrázku. [18]



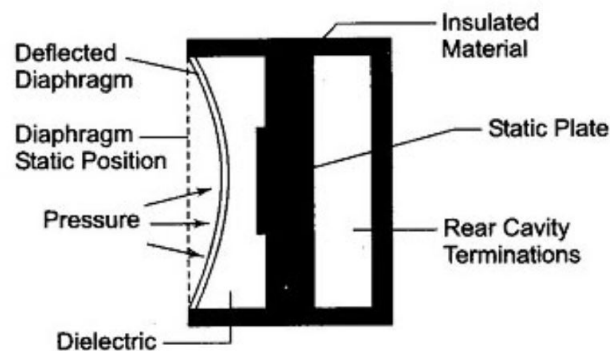
Obrázek 3.7. Schéma senzoru ABS využívající termální princip měření absolutní vlhkosti [18]

3.3 Měření tlaku vzduchu

Pro měření tlaku (nejen vzduchu) se využívají různé fyzikální principy například kapacitní, piezorezistivní nebo piezoelektrický.

3.3.1 Kapacitní senzory tlaku

Základním principem kapacitních senzorů tlaku je pružnost jedné z elektrod. Respektive jedna elektroda kondenzátoru je tvořena membránou, pokud na ní působí tlak přiblíží se k druhé elektrodě. Změna vzdálenosti elektrod kondenzátoru se projeví změnou jeho kapacity. Princip je zobrazen na obrázku 3.8.



Obrázek 3.8. Schéma principu kapacitního senzoru tlaku [19]

3.3.2 Piezorezistivní senzory tlaku

Princip piezorezistivního senzoru tlaku spočívá v využití změn elektrického odporu materiálu, který se mění v závislosti na mechanickém tlaku působícím na senzor. Hlavní komponentou je piezorezistivní materiál, který mění elektrický odpor v závislosti na jeho mechanickém napětí. Piezorezistivní materiál (typicky keramika) je integrován do speciální deformační struktury, která je navržena tak, aby se deformovala nebo ohýbala v reakci na tlak, který na ni působí. Změnu odporu lze měřit pomocí vhodného elektrického obvodu, jako je například Wheatstoneův můstek, a převést ji na měření tlaku. Na obrázku 3.9 je komerčně dostupný senzor BMP280 využívající piezorezistivní materiál.



Obrázek 3.9. Piezorezistivního senzoru tlaku BMP280 [20]

3.3.3 Piezoelektrické senzory tlaku

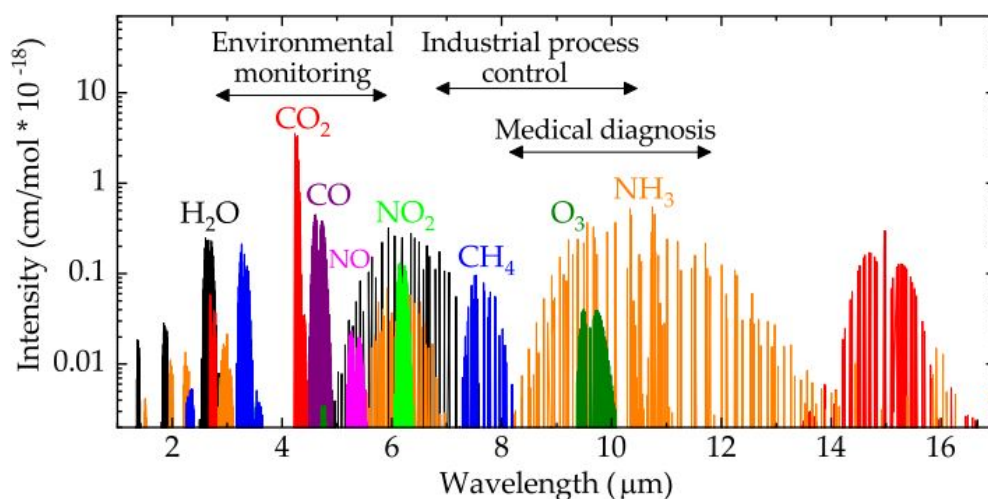
Piezoelektrický senzor tlaku využívá piezoelektrických materiálů, které generují elektrický náboj v reakci na mechanický tlak. Mezi piezoelektrické materiály patří například křemík nebo keramika. Piezoelektrický materiál je integrován do speciální deformační struktury, která může být navržena tak, aby se deformovala nebo ohýbala v reakci na působící tlak. Vygenerovaný elektrický náboj je zachycen pomocí elektrod, které jsou umístěny na povrchu piezoelektrického materiálu. Tento signál je pak měřen pomocí elektrických obvodů a převeden na čitelné údaje o tlaku.

3.4 Měření koncentrace CO₂

Níže v podkapitolách jsou popsány principy pro měření koncentrace CO₂ pomocí NDIR senzorů a chemických senzorů. Oba typy senzorů typicky zahrnují také měření teploty a vlhkosti pro zohlednění celkového kontextu prostředí.

3.4.1 NDIR měření

Princip technologie NDIR (nedisperzní infračervené, Non-Dispersive InfraRed) spektroskopie pro měření koncentrace CO₂ spočívá v absorpci infračerveného záření různými plyny na specifických vlnových délkách. Tato absorpční pásma jsou charakteristická pro každý plyn a vznikají v důsledku interakce mezi infračerveným zářením a vibracemi nebo rotacemi molekul. Na obrázku 3.10 jsou zobrazeny spektrální čáry plynů typických pro ovzduší, průmysl, medicínu. CO₂ vykazuje specifickou absorpci při vlnové délce 4,3 μm . Ostatní plyny ve vzduchu mají minimální absorpci při vlnové délce kolem 4 μm . Tento fakt se využívá právě při selektivní detekci CO₂ pomocí infračerveného záření. [21]

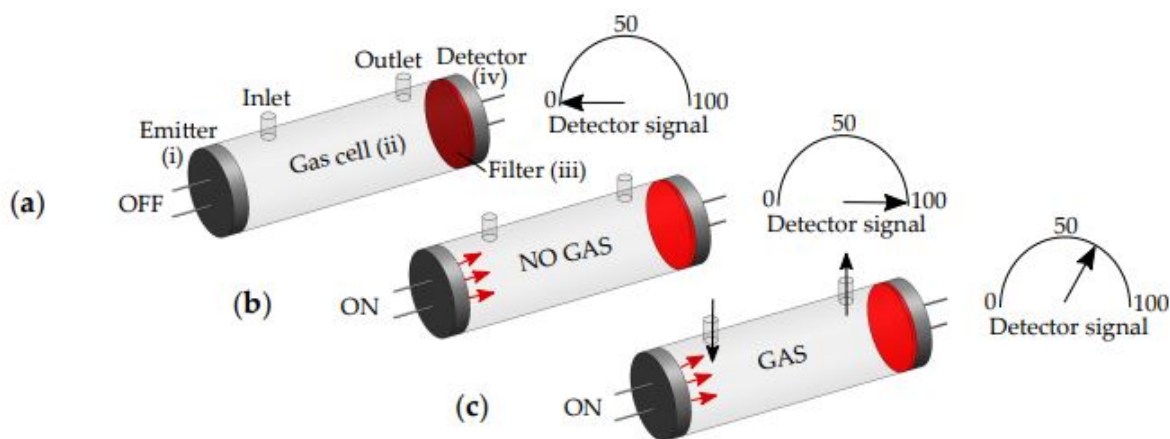


Obrázek 3.10. Spektrální absorpční čáry různých plynů. Maximální absorpce CO₂ při vlnové délce 4,3 μm [21]

Obecně optický plynový senzor pracuje podle Beer–Lambertově zákona:

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot e^{-\alpha(\lambda) \cdot c \cdot l},$$

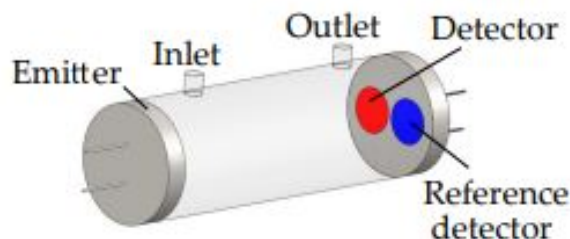
kde $I(\lambda)$ představuje detekovanou intenzitu světla při vlnové délce λ , $I_0(\lambda)$ je původní intenzita světla při vlnové délce λ , $\alpha(\lambda)$ reprezentuje koeficient absorpce, l je délka optické trasy (odpovídající délce plynové cely v senzoru), ve které světlo může interagovat s plynem a c je koncentrace plynu. Obrázek 3.11 ukazuje základní stavy senzoru tj. když není detekován signál, když signál dosahuje maximální hodnoty a když je signál částečný.



Obrázek 3.11. Optický plynový senzor založený na Beer–Lambertově zákonu. (a) Žádný signál není detekován, když je vysílač vypnutý. (b) Detekovaný signál je maximální, když je vysílač zapnutý a plyn není přítomen. (c) Signál klesá s koncentrací plynu, když je plyn přítomen [21]

Mezi komerčně dostupné senzory využívající NDIR patří senzor SCD30. Převáděcí část měření koncentrace (CO₂) senzoru SCD30 se skládá z vysílače IR (emitor), plynové

cely, optických filtrů a detektorů IR (semiconductors). Na obrázku 3.12 je zobrazen zdroj, z kterého je vysíláno infračerveného záření, které se šíří skrz plynovou celu. V plynové cele se nachází vzduch s aktuální koncentrací CO_2 , dopadající záření na detektor je propuštěno přes optické filtry. První filtr propouští záření pouze v pásmu $4,3 \mu\text{m}$, měří intenzitu záření $I(\lambda)$. Druhý detektor (referenční) má filtr propouštějící záření v pásmu $4 \mu\text{m}$, v kterém jsou minimálně absorbovány plyny vzduchu, měří intenzitu záření $I_0(\lambda)$. [21–22]



Obrázek 3.12. Princip senzoru SCD30. [21]

3.4.2 Chemické senzory

Princip měření koncentrace CO_2 pomocí chemických senzorů spočívá v absorpci CO_2 do senzoru a následné chemické reakci, která způsobuje změnu elektrických vlastností senzoru. Tato změna je detekována a interpretována jako indikace koncentrace CO_2 v okolním prostředí. Senzory jsou kalibrovány pomocí známých koncentrací CO_2 pro přesné měření.

Senzor využívající chemickou detekci CO_2 je MG811 na obrázku 3.13. Tento typ senzoru obsahuje pevnou elektrolytickou buňku, která je složena z několika pevných článků v elektrolytu. Přítomnost CO_2 způsobí katodickou i anodickou reakci za vzniku produktů. V důsledku těchto elektrodových reakcí vzniká elektromotorická síla (EMF), která je měřena a zpracovávána senzorem. Tato EMF odpovídá Nernstově rovnici, která závisí na $P(\text{CO}_2)$ částečném tlaku CO_2 , E_c konstantním objemu, R plynové konstantě objemu, T absolutní teplotě a F Faradayově konstantě.

$$EMF = E_c - (R \cdot T)/(2F) \ln(P(\text{CO}_2))$$



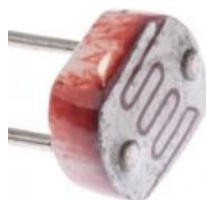
Obrázek 3.13. Senzor CO_2 MG811 [23]

3.5 Měření intenzity světla

Světelný senzor je fotoelektrické zařízení, které přeměňuje detekovanou světelnou energii (fotony) na elektrickou energii (elektrony). Existují různé typy světelných senzorů, především fotorezistory, fotodiody a fototranzistory.

3.5.1 Fotorezistory

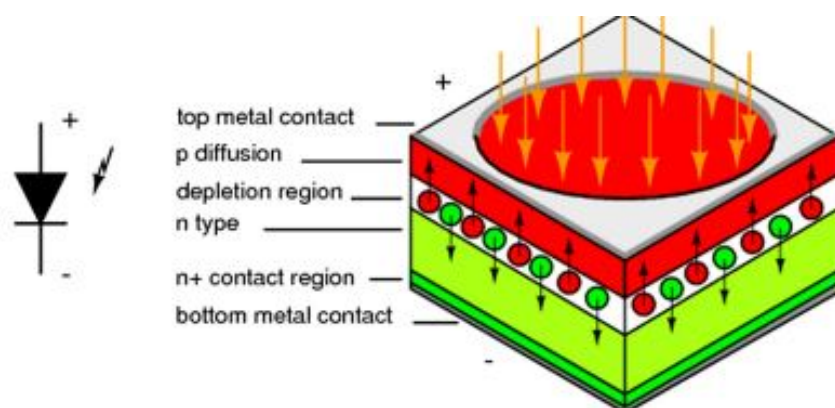
Fotorezistory neboli světelně závislé odpory (LDIR – Light-Dependent Resistors) detekují intenzitu přítomného světla. Fotorezistory jsou vyrobeny z vysoce odolného polovodičového materiálu (například sulfid kademnatý), který je vysoce citlivý na viditelné a blízké infračervené světlo. Fotorezistory fungují podobně jako běžné rezistory, ale změna odporu závisí na množství světla, kterému je vystaven. Vysoká intenzita světla způsobí nižší odpor mezi články sulfidu kademnatého, zatímco nízká intenzita světla vede k vyššímu odporu mezi články sulfidu kademnatého. Fotorezistory mají typicky spirálovitý nebo zvlněný tvar, podobný hadímu tělu, aby se zvýšila jejich efektivní délka. Tento tvar (zobrazen na obrázku 3.14 komerčně dostupného senzoru GL5528) umožňuje zvětšit plochu citlivou na světlo uvnitř omezeného prostoru. Tím se zvyšuje množství světla, které může fotorezistor zachytit, což zase zlepšuje jeho citlivost a výkon při detekci světla.



Obrázek 3.14. Fotorezistor GL5528 [24]

3.5.2 Fotodioda

Fotodioda v rámci senzoru slouží k zachycení světelné energie a přeměně této energie na elektrickou veličinu. Jedná se o diodu s odhaleným PN přechodem, což umožňuje pronikání světla do této oblasti. Schématicky zobrazena na obrázku 3.15. Při dopadání světla na odhalenou oblast dochází k vnitřnímu fotoelektrickému jevu. V důsledku absorpce elektromagnetického světla elektrony získávají dostatek energie k přechodu z nevodivostní vrstvy do vodivostní vrstvy, čímž vzniká elektrický proud. Tento proud je přímo úměrný intenzitě dopadajícího světla. Komerčně dostupným senzorem využívající tento jev je senzor BH1750.



Obrázek 3.15. Schéma fotodiody [25]

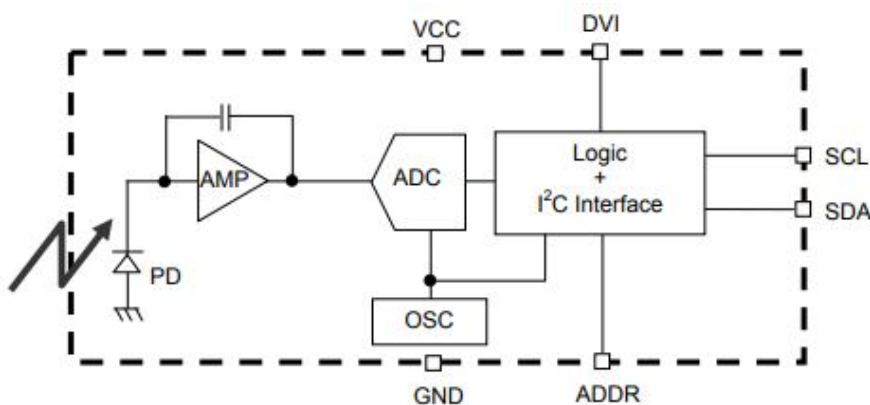
Kapitola 4

Vybrané senzory

V následujících podkapitolách jsou představeny vybrané senzory pro sledování teploty, vlhkosti, tlaku, koncentrace CO_2 a osvětlení v daném prostředí realizovaném zařízením. Při jejich výběru hrála klíčovou roli jejich funkční integrace s Raspberry Pi a schopnost měření parametrů v reálném čase. Vybrané senzory mají v sobě již zabudovaný převaděč neelektrické veličiny na elektrickou, operační zesilovač pro zesílení signálu a analogově-digitální převodník a I²C komunikaci. Ukázka obvodu je u senzoru BH1750 obrázek 4.1.

4.1 BH1750 – měření intenzity světla

Senzor BH1750 je integrovaný obvod s fotodiodou, který umožňuje měřit intenzitu a osvětlení světla v rozmezí 1 až 65535 lx. Senzor se skládá z několika částí: fotodiody, operačního zesilovače, analogově-digitálního převodníku, logického křemíku a I²C rozhraní pro komunikaci s dalšími zařízeními a přenos dat. Obrázek 4.1 zobrazuje schéma senzoru BH1750, ukazující jeho integrovanou strukturu a komponenty, které společně umožňují přesné měření intenzity světla a jsou typickým zapojením senzorů.

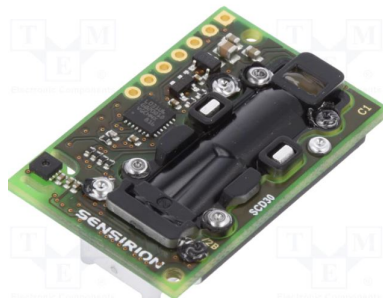


Obrázek 4.1. Schéma vnitřního obvodu senzoru BH1750-luxometru. [26]

Senzor BH1750 má provozní teplotní rozsah od -40 do 85 °C. Měřicí přesnost je vyjádřena vzhledem k citlivosti a závisí na intenzitě světla. Hodnoty S/A (Sensitivity/Accuracy) u senzoru BH1750 představují násobek, konkrétně hodnoty 0,96; 1,2 a 1,44 odrážejí faktory, jakými měřená hodnota senzoru může být upravena, aby lépe odpovídala skutečné intenzitě světla v konkrétních podmínkách. Tímto způsobem senzor optimalizuje svá měření v závislosti na různých úrovních osvětlení a dosahuje tak přesnějších a korektnějších výsledků. Napájecí napětí je 3 – 5 V. Průměrná spotřeba proudu je 120 uA. [26]

4.2 SCD30 – měření teploty, vlhkosti a koncentrace CO₂

Senzor SCD30 je senzor NDIR k měření koncentrace oxidu uhličitého, zahrnuje také měření teploty a vlhkosti pro zohlednění celkového kontextu prostředí. SCD30 dokáže měřit koncentraci CO₂ v rozsahu od 400 do 10000 ppm s přesností ± 30 ppm. Současně umožňuje i měření vlhkosti s typickou přesností a provozním rozsahem 0 – 95 % RH a přesností 3 % RH. Provozní teplotní senzoru je od -40 do 70 °C. Vstupní napájení je 3,3 – 5,5 V. Průměrný dodávaný proud senzoru je 19 mA, s maximálním dodávaným proudem dosahujícím 75 mA. Senzor SCD30 je zobrazen na obrázku 4.2. [22]



Obrázek 4.2. Senzor SCD30 koncentrace CO₂, teploty, vlhkosti [27]

4.3 BMP280 – měření tlaku a teploty

Senzor BMP280 využívá piezorestivní materiál pro měření tlaku v rozsahu 30 – 110 kPa. Jeho napájení je 3,3 – 5 V. Provozní teplota senzoru je od -40 do 85 °C. Průměrný dodávaný proud senzoru je 2,8 uA. Používaný senzor je na obrázku 3.9, v zařízení je jeho integrovaná verze s I²C komunikací. [20]

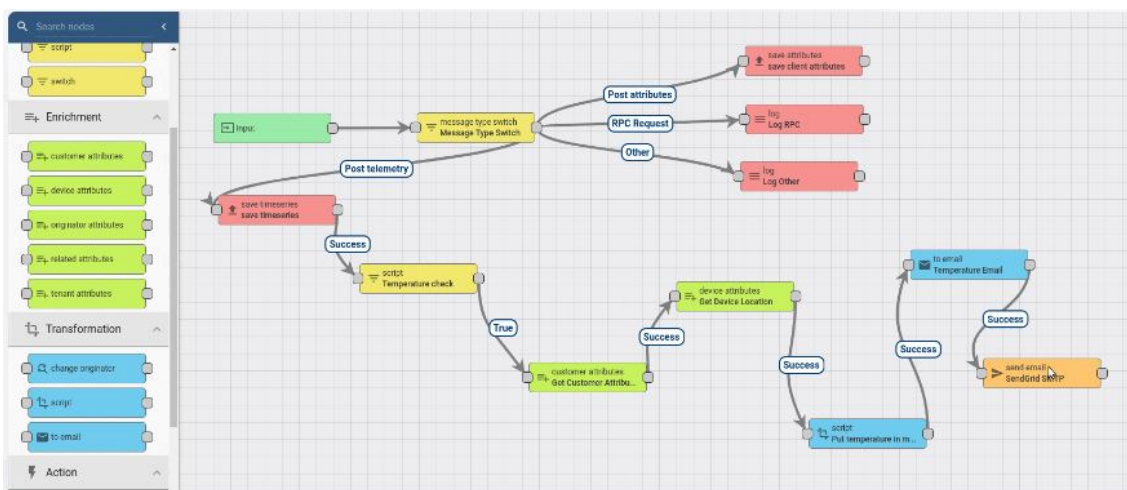
Kapitola 5

Výběr platformy pro ukládání dat

Výběr platformy pro ukládání dat v reálném čase je důležitým krokem při volbě vhodného rozhraní pro specifické potřeby práce. Níže je srovnání hlavních výhod a nevýhod několika dostupných platform.

5.1 ThingsBoard

ThingsBoard je otevřená platforma pro správu a vizualizaci dat v reálném čase. Je navržena pro sběr, zpracování, vizualizaci a analýzu dat z různých zařízení a senzorů v IoT (Internet of things neboli internetu věcí). Tato platforma poskytuje uživatelům možnost monitorovat a řídit svá zařízení a senzory prostřednictvím webového rozhraní. Uživatelé mohou vytvářet vlastní dashboards a vizualizace dat pomocí předdefinovaných widgetů a grafů. Velkou výhodou je možnost nastavit pravidla pro automatické zpracování dat a odesílání notifikací v případě definovaných událostí. Ukázka této funkce je na obrázku 5.1. Má možnost správy rozsáhlých datových objemů, proto je vhodný pro rozsáhlejší projekty. Jedná se o placenou platformu, která dovoluje pouze třicetidenní bezplatnou verzi. [28]

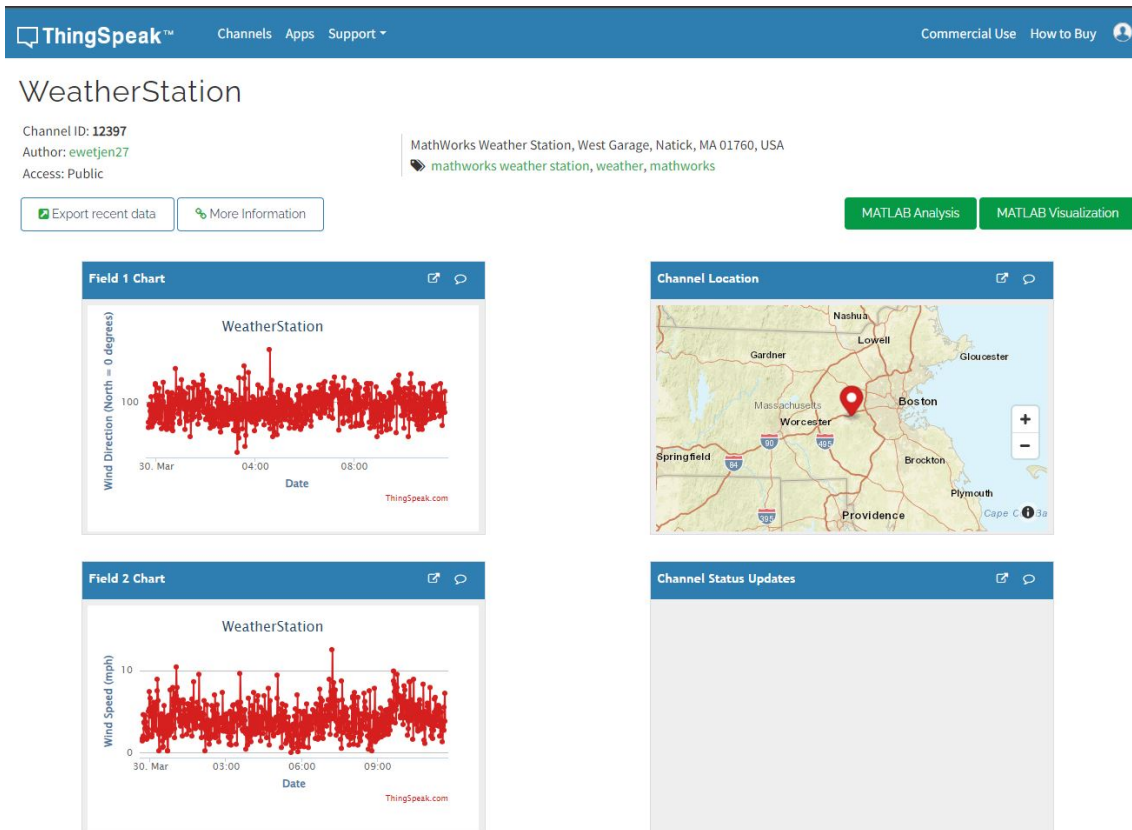


Obrázek 5.1. Ukázka ThingsBoard programování pravidel [28]

5.2 ThingSpeak

Thingspeak je cloudová platforma, za podpory MATLABu, pro internet věcí, která umožňuje sběr, vizualizaci a analýzu dat z IoT zařízení. Platforma poskytuje uživatelům možnost vytvářet kanály (Channels), do kterých mohou zasílat data ze svých

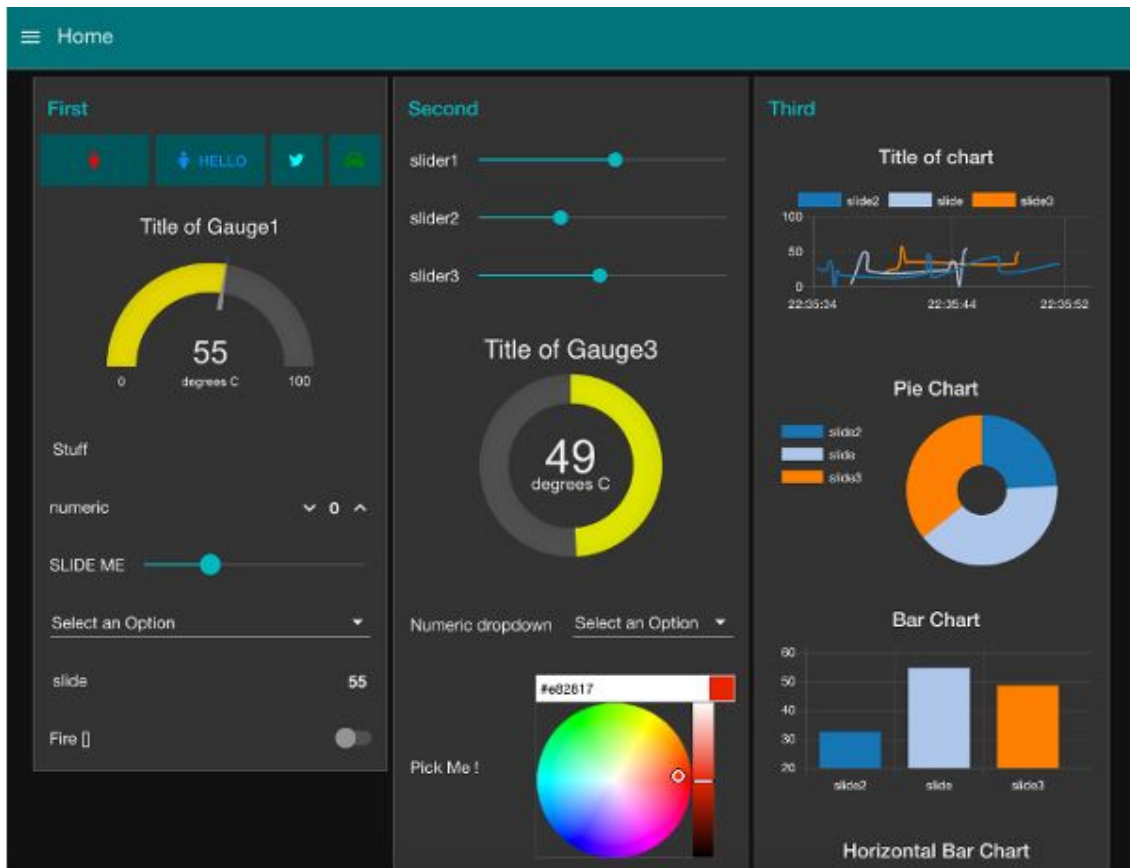
IoT zařízení a následně tyto data vizualizovat a analyzovat pomocí grafů a tabulek, například obrázek 5.2. Programování v Thingspeak lze provádět pomocí kanálů a jejich API. Thingspeak nabízí jednoduché nástroje pro vytváření vizualizací a sledování dat přímo v prostředí webového rozhraní a jejich sdílení v komunitě. Platforma má zdarma základní úroveň služeb, ale existují také placené plány s různými funkcemi a úrovněmi podpory. Bezplatný účet může mít některá omezení, jako například omezený počet kanálů, omezený počet záznamů nebo omezenou dobu ukládání dat. [29]



Obrázek 5.2. Ukázka ThingsSpeak zobrazení hodnot [29]

5.3 Node-RED

Node-RED je online dostupná platforma, která si získala popularitu mezi vývojářskou komunitou a nadšenci. Své uživatele oslovuje díky grafickému programování. Tato platforma umožňuje vytváření programů pomocí intuitivního grafického rozhraní, čímž eliminuje potřebu psát kód ručně. Uživatelé tak mohou snadno propojovat vizuální prvky, nazývané uzly, a definovat tak chování svých aplikací bez složitého programování. Node-RED poskytuje uživatelsky přívětivé prostředí pro vývoj (zobrazeno na obrázku 5.3) a prototypování aplikací pro Internet věcí (IoT) a další projekty, a to zcela zdarma. [30]

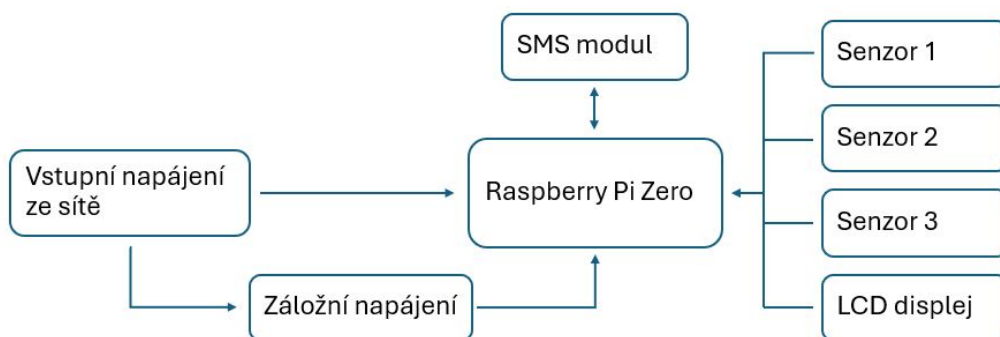


Obrázek 5.3. Ukázka Node-RED displeje pro uživatele [30]

Kapitola 6

HW návrh systému

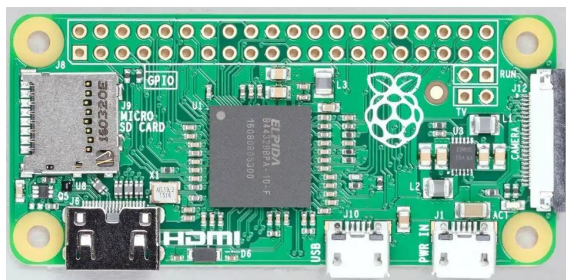
Systém pro komplexní měření parametrů vnitřního prostředí se skládá z vybraných senzorů popsaných v kapitole 4, Raspberry Pi Zero, LCD displeje, modulu pro odesílání SMS a záložního napájení. Blokové schéma navrhovaného zařízení je zobrazeno na obrázku 6.1. Detailní popis jednotlivých částí systému a návrh PCB (Printed Circuit board neboli Deska Plošného Spoje) je popsán v této kapitole.



Obrázek 6.1. Blokové schéma navrhovaného zařízení

6.1 Raspberry Pi Zero

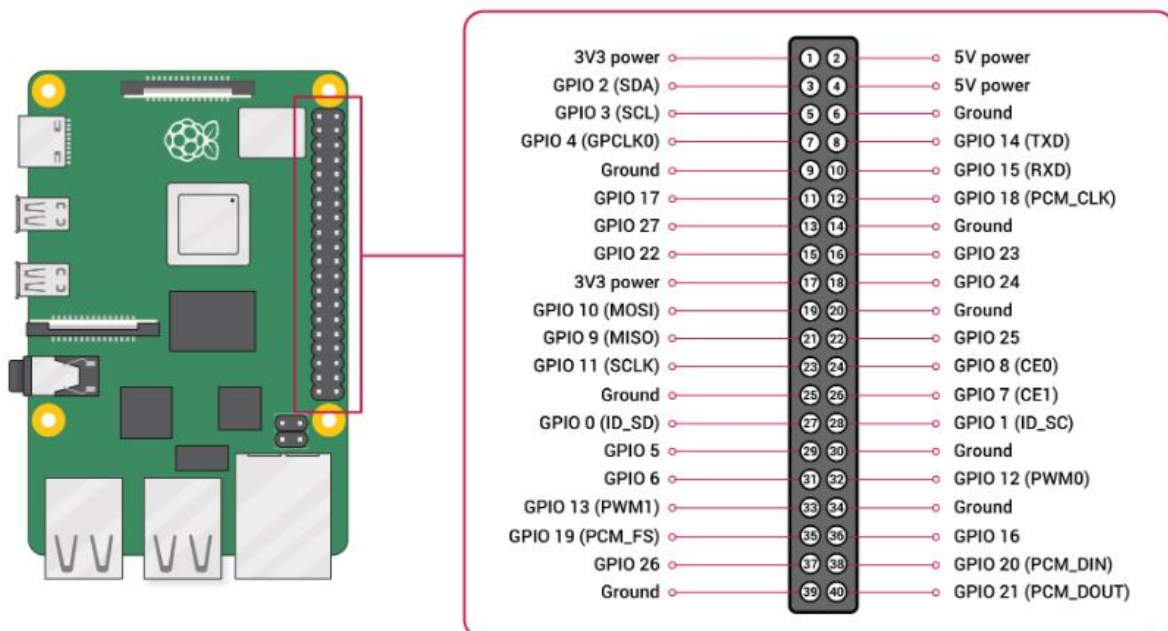
Raspberry Pi Zero je jednou z řady jednodeskových počítačů od společnosti Raspberry Pi Foundation. Jeho předností je malá velikost a relativně nízká cena a dostatečný výkon pro zadanou aplikaci. Deska je zobrazena na obrázku 6.2. Raspberry Pi Zero je funkční s různými operačními systémy, ale nejčastěji se používá Raspbian (jako i v této práci), který je odvozený od operačního systému Linux. Tento operační systém poskytuje prostředí pro vývoj aplikací v jazyce Python, C/C++ a dalších.



Obrázek 6.2. Jednodeskový počítač Raspberry Pi Zero [31]

Raspberry Pi Zero má integrované rozhraní pro komunikaci s různými periferiemi a externími zařízeními. Patří sem rozhraní GPIO (General Purpose Input/Output), SPI (Serial Peripheral Interface), I²C (Inter-Integrated Circuit), UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), USB (Universal Serial Bus) a HDMi (High-Definition Multimedia Interface).

Raspberry Pi všech generací má stejný pinout, který je zobrazený na obrázku 6.3. Tento pinout zahrnuje GPIO piny na Raspberry Pi, který umožňují komunikaci s externími zařízeními a senzory pomocí digitálních a analogových signálů. Tyto piny lze programovat pomocí různých programovacích jazyků a používat k čtení vstupů a ovládání výstupů. Raspberry Pi má integrované sériové rozhraní UART, které umožňuje komunikaci s externími zařízeními pomocí sériových protokolů, jako je RS-232 nebo TTL. Tato komunikace je v této práci využívána pro komunikaci s SMS modulem. Raspberry Pi podporuje komunikaci pomocí sběrnice I²C (Inter-Integrated Circuit) a SPI (Serial Peripheral Interface), což umožňuje připojení různých periférií, jako jsou senzory, displeje, paměťová média a další zařízení.



Obrázek 6.3. Raspberry Pi pinout [31]

Pro usnadnění komunikace s periferiemi a externími zařízeními existuje mnoho softwarových knihoven a rozhraní pro Raspberry Pi Zero. Tyto knihovny poskytují jednoduché a přehledné rozhraní pro práci s různými komunikačními protokoly a periferiemi.

6.2 LCD display – L2004A

LCD znamená Liquid Crystal Display neboli displej s kapalnými krystaly. Jedná se o typ displeje, který využívá kapalné krystaly umístěné mezi dvěma skleněnými nebo plastovými substráty. Využívaný displej nabízí dostatečný prostor pro zobrazení informací

a s rozlišením 4 řádky x 20 znaků. Vybraný LCD displej 2004 je komerčně dostupný s I²C převodníkem. [32] Pro funkční komunikaci s mikrokontrolerem postačí napájení 5 V a I²C rozhraní. Součástí převodníku je i propojka na ovládání podsvícení displeje. Tato propojka je vyvedena vedle displeje na tlačítko. Tedy při zmačknutí tlačítka se rozsvítí podsvícení displeje a po jeho uvolnění opět zhasne. Tato implementace úspěšně zabráňuje zbytečnému svícení v místnosti. Zbytečné svícení od displeje není pro zvířata v laboratoři žádoucí.

6.3 SMS modul - SIM7000E

Modul SIM700e je GSM/GPRS (Global System for Mobile Communications/General Packet Radio Service) modul, který umožňuje zařízením komunikovat přes mobilní síť. Tento modul podporuje širokou škálu funkcí včetně posílání a přijímání SMS zpráv, správy hovorů a připojení k internetu pomocí GPRS. Má kompaktní velikost a nízkou spotřebu energie, což ho činí ideální volbou pro zařízení, která potřebují komunikovat přes mobilní síť. Modul SIM700e je také vybaven rozhraním UART pro komunikaci s mikrokontrolérem nebo jinými zařízeními a umožňuje snadnou integraci do různých projektů. V tomto projektu se využívá možnost odeslání SMS přes UART a napájení přes piny 5V a GND. Modul je zobrazen na obrázku 6.4. [33]



Obrázek 6.4. SMS modul SIM7000E [33]

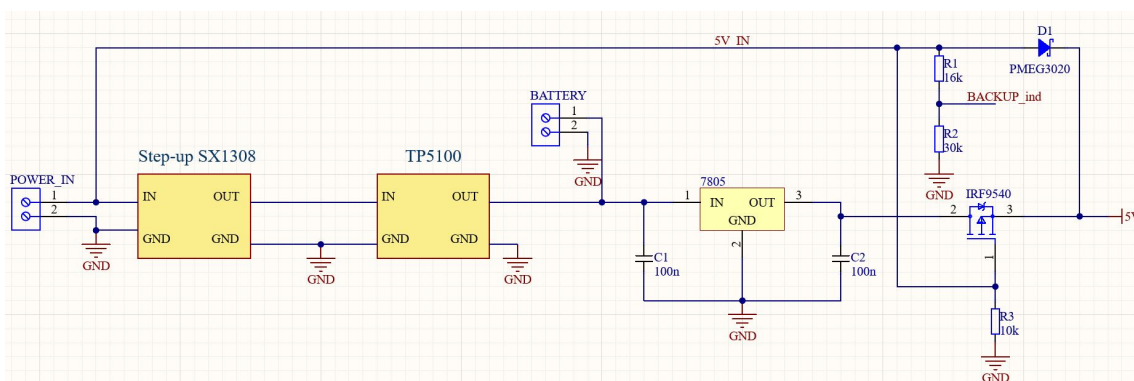
6.4 Napájení zařízení

Zařízení je navrženo pro trvalé napájení 5 V/2 A, přičemž je přidáné záložní bateriové napájení pro případ výpadku sítě. Důležité je zvážit délku doby, po kterou bude zařízení schopno pracovat na záložním napájení. Pro realizované zařízení je rozumné, aby v laboratoři informovalo klíčovou osobu o výpadku a poté opět při obnovení napájení ze sítě. Tato rychlost reakce umožní přijetí nezbytných opatření v případě výpadku. Záložní zdroj nemá za úkol dlouhodobě nabíjet jednotku a měřit tak detailně stav parametrů vnitřního prostředí během specifického období (výpadku proudu). Zcela dostačující je odeslání informace (SMS) o výpadku sítě.

6.4.1 Záložní napájení

Záložní napájení může být realizováno komerčně dostupným modulem s odpovídajícím výstupním napětím. Pro navrhované zařízení může být vhodný například dostupný *Držák pro 18650 akumulátor s nabíječkou a boostem 5 V*. [34] Dalším řešením záložního zdroje napájení je spojení jednoho článku baterie se s step-up modulem na 5 V nebo dvou bateriových článků se stabilizátorem na 5 V. Toto zapojení poskytuje stabilní a spolehlivé napájení a je oproti komerčně dostupným blokům je levnější. Pro realizovaného zařízení je zvoleno záložní napájení z dvou bateriových článků se stabilizátorem na 5 V, tato konfigurace umožní dostatečný odběr pro SMS modulu při odesílání SMS.

Obrázek 6.5 zobrazuje navržené schéma pro záložní napájení zařízení. Skládá se z LiPol Baterie 2s s napětím 7,4 V a kapacitou 1000 mAh (označené BATTERY) a jeho nabíječkou TP5100 pro články Li-ion.



Obrázek 6.5. Schéma záložního napájení zařízení

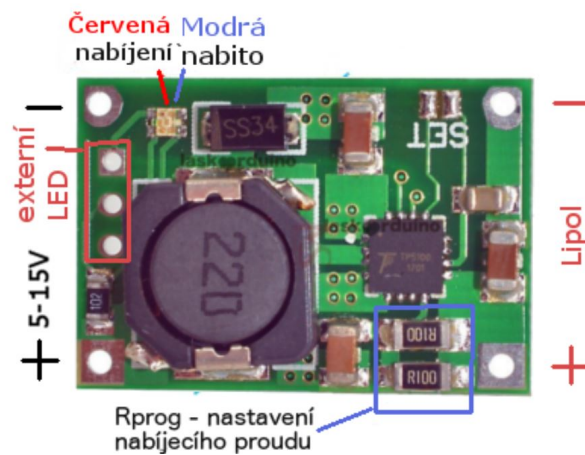
LiPol baterie, zkráceně označované jako Lithium Polymer baterie, jsou typem lithium-iontových baterií, které jsou známé svou vysokou hustotou energie a schopností poskytnout vysoký výkon při relativně malé hmotnosti. Díky jejich flexibilní konstrukci lze LiPol baterie vyrábět v různých tvarech a velikostech, což je činí ideálními pro použití v kompaktních a přenosných zařízeních, jako jsou mobilní telefony, tablety, drony a další elektronika. Navíc mají nízké samovybíjení a dlouhou životnost, což z nich činí spolehlivý zdroj energie pro různé aplikace.

LiPol Baterie 2s je zobrazena na obrázku 6.6. Respektive se jedná o 2 články v sérii s celkovým napětím 7,4 V a kapacitou 1000 mAh. [35] V dodávaném stavu má baterie výstup na konektoru, který neobsahuje zámek proti nesprávnému zapojení. Pro zajištění dodatečné bezpečnosti byl tento konektor nahrazen konektorem vybaveným zámkem, čímž je zcela zabráněno nesprávnému zapojení baterie. Tato úprava minimalizuje riziko chyb v instalaci a zajišťuje bezpečné a spolehlivé použití baterie.



Obrázek 6.6. LiPol Baterie 2s [35]

Na obrázku 6.7 je popsána použitá nabíječka TP5100 pro články Li-ion. Pro správnou funkci v tomto projektu je potřeba spojení pájecího jumperu SET. Dále bylo potřeba snížit nabíjecí proud výměnou osazených rezistorů na $1\ \Omega$. Takto je zajištěn nižší nabíjecí proud (100mA). Nabíječka je osazena dvěma diodami – červenou a modrou. Při nabíjení svítí červená dioda a když je baterie zcela nabitá, svítí modře. [36]



Obrázek 6.7. Nabíječka TP5100 pro články Li-ion [36]

Před nabíječkou článků je nutný step-up modul z 5 V na přibližně 10 V, který vytvoří dostatečně vysoké napětí pro nabíjení článků. Komerčně dostupný Step-up boost měnič s SX1308 pro vstupní napětí 2 až 24 V umožňuje vhodným nastavením trimru vytvořit požadované napětí. Implementovaný step-up je zobrazen na obrázku 6.8. Tento modul je nezbytný pro zajištění správného nabíjecího napětí a stabilního provozu celé nabíjecí soustavy. Použitím tohoto měniče je zaručeno, že baterie budou nabíjeny efektivně a bezpečně, což je klíčové pro dlouhou životnost a spolehlivost zařízení. [37]



Obrázek 6.8. Step-up boost měnič s SX1308 [37]

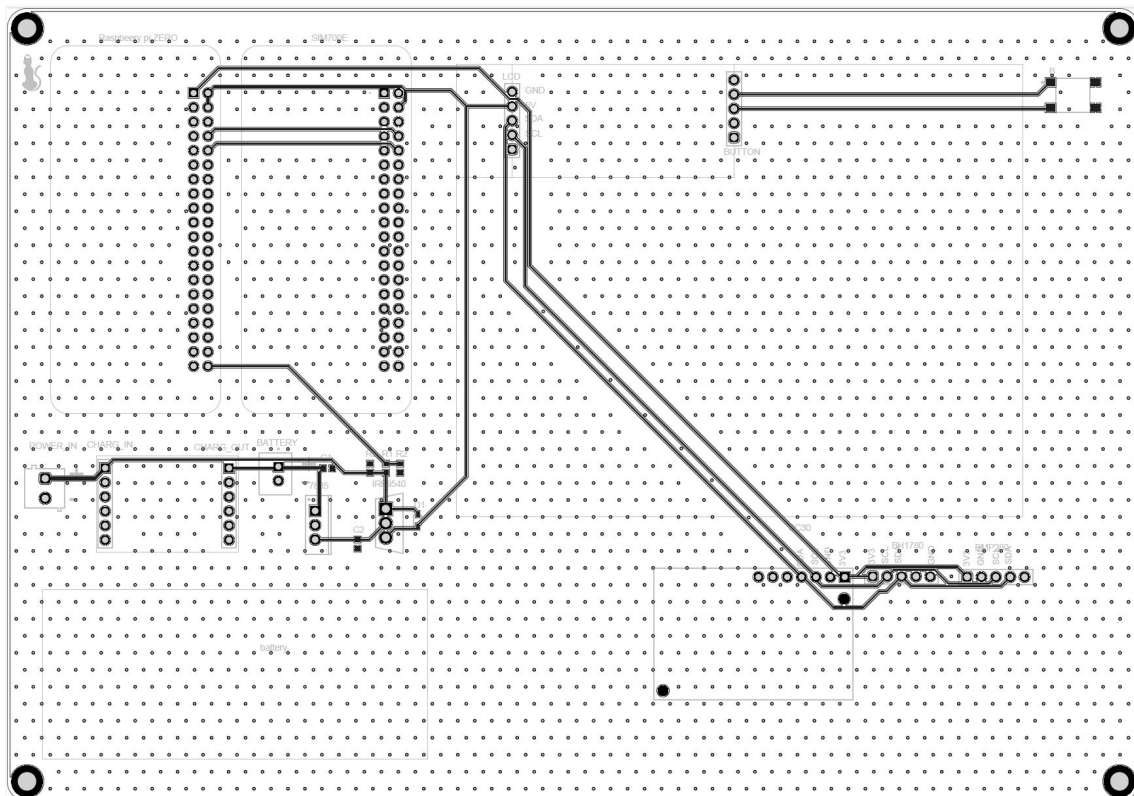
Na výstup baterie navazuje stabilizátor 7805. Integrovaný obvodový regulátor pevného napětí 5 V může dodat až 1,5 A výstupního proudu. Jeho interní funkce omezení proudu a ochrany proti přehřátí ho činí odolným proti přetížení. [38] Výstup stabilizátoru, který má očekávané napětí 5 V, je připojen na *drain* P-kanálového MOSFETu (konkrétně IRL9540 [39]). Na jeho *gate* je přivedeno napětí 5 V získané ze sítě. Pokud dojde k výpadku sítě, napětí na *gate* klesne pod úroveň napětí na *drain*. Tím se otevře MOSFET a napětí na výstupu (opět 5 V) je dodáváno z baterie. V situaci normálního napájení je MOSFET uzavřen a napětí je sledováno pinem mikrokontroléru. Cesta je doplněna Schottkyho diodou pro zabránění zpětné indikace napájení ze zařízení.

6.5 Návrh PCB

Pro navržení desky plošných spojů (PCB) bylo využito prostředí Altium Designer. Nejprve bylo nutné vytvořit schéma zapojení, které obsahuje všechny potřebné komponenty a propojení mezi nimi. Schéma zapojení slouží jako základ pro následný návrh PCB a umožňuje přehledné uspořádání komponent.

Po dokončení schématu byl proveden přechod k návrhu desky plošných spojů. V prostředí Altium Designer byla vytvořena nová dvojvrstvá deska plošných spojů s co nejmenšími rozměry odpovídajícími požadavkům projektu. Komponenty byly umístěny na desce tak, aby byly splněny požadavky na rozmístění a propojení. Obrázek 6.9 zobrazuje finální návrh desky.

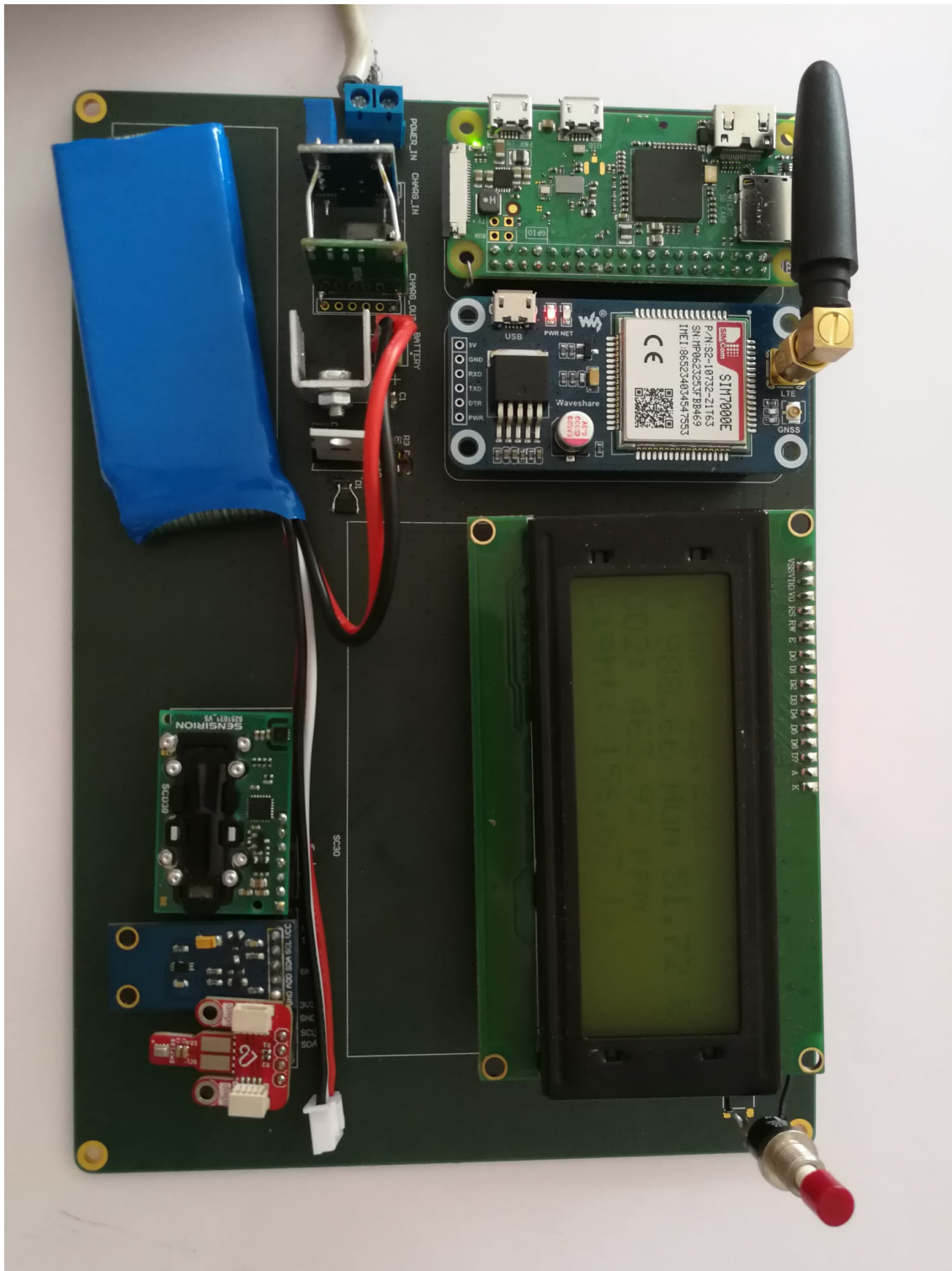
Po dokončení návrhu desky byl vytvořen výstupní soubor pro výrobu, který obsahoval informace o rozmístění komponent, propojení, vrstvách plošného spoje a dalších potřebných parametrech pro výrobu PCB. Tento soubor byl odeslán pro výrobu, konkrétně firmě Pragoboard, která se specializuje na výrobu desek plošných spojů.



Obrázek 6.9. Návrh PCB

6.6 Realizace HW

Po obdržení desky plošných spojů byla deska osazena a otestována. Výsledný funkční osazený plošný spoj je zobrazen na obrázku 6.10.

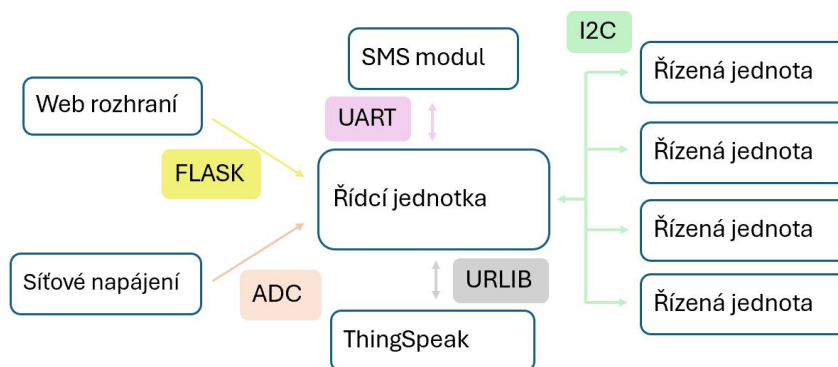


Obrázek 6.10. Osazené PCB

Kapitola 7

Implementace firmware

V rámci této kapitoly je představen navržený a implementovaný firmware, který zajišťuje dlouhodobý kontinuální záznam naměřených hodnot z daných senzorů a odesílá je na vybranou platformu ThingSpeak. Případné odesílání notifikací v okamžiku překročení nastavených prahů je realizované přes SMS. Nastavování prahů je přes webové rozhraní, kde uživatel zadá i telefonní číslo pro případnou notifikaci. Blokové schéma 7.1 představuje dané komunikace pro jednotlivé komponenty zařízení.



Obrázek 7.1. Blokové schéma používaných komunikací zařízení

7.1 Programování řídicí jednotky

V tomto zařízení je řídicí jednotkou Raspberry Pi Zero. Pro správný provoz této jednotky je nezbytné vložit do ní SD kartu, která slouží jako paměťové médium, s nainstalovaným operačním systémem. Optimální systém pro běh na jednodeskových počítačích z rodiny Raspberry Pi je Raspbian, založený na Linuxu. Existují dva hlavní způsoby, jak přistupovat k Raspberry Pi Zero pro programování a konfiguraci: Prvním způsobem je vzdálený přístup pomocí protokolu SSH (Secure Shell), což umožňuje přístup k Raspberry Pi Zero z jiného zařízení v síti. Alternativně lze k Raspberry Pi Zero připojit monitor, klávesnici a myš přímo, což umožňuje práci s ním přímo na místě, podobně jako s běžným počítačem. Programovací jazyk Python je součástí distribuce Raspbian a nabízí široké možnosti pro vývoj aplikací, které lze snadno integrovat s různými periferními zařízeními připojenými k Raspberry Pi Zero.

7.2 Automatické spuštění

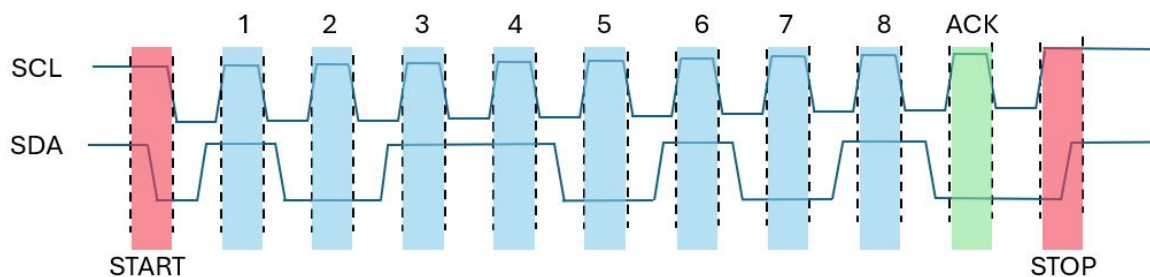
Pro automatizaci spuštění a správy zařízení Raspberry Pi Zero je nezbytné zajistit, aby se potřebné procesy spustily při startu systému. Pro definování spouštěcích procesů a jejich nastavení je vytvořen skript `start.sh`. Tento skript určuje, jakým způsobem a jaké procesy mají být spuštěny po startu zařízení. V tomto realizovaném zařízení je spuštěn v jazyce Python hlavní kód a webový server.

Skript `start_ser.service`, který je uložen ve složce `etc/systemd/system`, nastavuje systém. Respektive umožňuje spustit skript při splnění podmínek. V realizovaném zařízení je spuštění `start.sh` při bootování. Tak je splněna jedna z podmínek kontinuálního záznamu.

7.3 I²C komunikace

I²C (Inter-Integrated Circuit) je sériová sběrnice používaná pro komunikaci mezi integrovanými obvody v elektronických zařízeních. V navrhovaném zařízení je I²C využívána pro komunikaci se senzory a displejem. I²C komunikace funguje na základě dvou signálů SDA a SCL. SDA (Serial Data Line) přenáší data mezi masterem/řídící jednotkou (v tomto případě Raspberry Pi Zero) a slave/řízenými zařízeními (senzory a displejem). SCL (Serial Clock Line) synchronizuje přenos dat na SDA lince, určuje kdy mají být data posílána a kdy čtena. Každý signál má v klidovém stavu úroveň logické 1, kterou zajišťují pull-up rezistory ke kladnému napětí.

Každý přenos/čtení začíná vysláním specifické podmínky od řídící jednotky **START**, kdy SDA je změněna z logické 1 na nízkou hodnotu zatímco SCL zůstává vysoká. Přenos je ukončen podmínkou **STOP**, opět kdy SCL má logickou jedničku a SDA je změněna z nízké úrovně na vysokou. Přenos informace neboli jednotlivých datových bitů je (oproti začínající a ukončující podmínce) možný pouze pokud logická hodnota SDA je stabilní (neměnná) během pulzu na lince SCL. Odeslání 8 bitů (1 byte) je následováno jedním bitem ACK (potvrzení neboli Acknowledgement) přijímače. Tento bit umožňuje řízené jednotce komunikovat s řídící jednotkou o přijetí/nepřijetí bytu a následné případné komunikaci. Pro čtení odeslaného ACK bitu musí řídící jednotka uvolnit SDA linku tedy je zde logická 1 a řízená jednotka při správném přijetí zprávy stáhne a drží nízkou hodnotu SDA po dobu pulzu SCL. Když linka SDA zůstává vysoká během ACK/NACK souvisejícího hodinového období, je to interpretováno jako NACK (nepotvrzení neboli Not Acknowledgement). Přenos dat v čase je ukázán na obrázku 7.2. Daný záznam reprezentuje úspěšné poslání ukázkového bytu 10110101. [40]



Obrázek 7.2. Časový diagram I²C komunikace upraven z [40]

Pro ukládání informací, jako jsou konfigurační data nebo data naměřená senzory se využívá **registr**. Registr je paměťová oblast v zařízení, která se používá k zápisu a čtení dat mezi řídicí a řízenou jednotkou. Řídicí jednotka může zapsat data do registrů řízené jednotky, aby ji instruoval k provedení určité úlohy, nebo může číst data z jejich registrů. Tato komunikace má 4 základní kroky. Prvním krokem je zahájení komunikace s řízenou jednotkou. Řídicí jednotka pošle zprávu se startovací podmínkou na sběrnici s adresou zapsané v 7 bitech dané řízené jednotky. 8. bit je vždy snížen na logickou nulu pro jednoznačnost vysílání adresy. Následně dochází k odeslání adresy registru, do kterého mají být zapsána samotná data. Po potvrzení adresy registru zapsání, dojde k opětovnému poslání START podmínky s adresou řízené jednotky, tentokrát s ponechanou logickou 1 v 8 bitu, to znamená čtení. Posledním krokem řídicí jednotka posílá pouze časové pulsy a uvolní SDA linku a řízená jednotka začíná vysílat data. Opět po každém úspěšné přijatém Bytu řídicí jednotka potvrdí sníženým na logickou 0 v době pulzu ACK. Jakmile řídicí jednotka obdrží očekávaný počet bytů, odešle NACK, tedy zastaví komunikaci a řízená jednotka uvolní SDA sběrnici. Řídicí jednotka ukončí proces STOP podmínkou.

7.3.1 Sběr dat ze senzorů

Pro získání informací teploty a tlaku vzduchu je využit senzor BMP280. Pro komunikaci s tímto senzorem je použita knihovna `bmp280`. Data o teplotě a tlaku vzduchu jsou získávána pomocí metod `get_temperature()` a `get_pressure()`. Pro měření koncentrace CO₂ a vlhkosti vzduchu se využívá senzor SCD30. Měřené veličiny jsou čteny pomocí metody `read_measurement()`, díky importované knihovně `scd30_i2c`. Pro měření intenzity osvětlení využíváme senzor TSL2561. Data z něj jsou čtena pomocí metody `read_light()`, které je součástí knihovny `smbus`. Na začátku je důležité správně inicializovat senzory. Pro správnou inicializaci senzoru `scd30` je zde přidáno zpoždění 20 s.

7.3.2 Zobrazení na LCD display

Pro komunikaci s LCD displejem je využívána knihovna `RPi_I2C_driver`, která umožňuje snadnou práci s I²C rozhraním. Po jeho inicializaci jsou využity příkazy `lcd_display_string` a `lcd_clear()`.

7.4 Komunikace ThingSpeak

Pro odesílání naměřených dat na platformu ThingSpeak je využita knihovna `urlib.request`, která umožňuje vytvoření HTTP požadavku pro API ThingSpeak.

Nejprve jsou reprezentativní hodnoty zaznamenány do souboru `backup-data.txt` pro případ ztráty internetového připojení nebo nedostupnosti služby ThingSpeak. To zabezpečuje kompletnost dat a zajišťuje, že všechny reprezentativní hodnoty jsou přesně zaznamenány a archivovány i přes případné přerušení odesílání dat. Tímto způsobem je dosaženo maximální spolehlivosti a ochrany dat v každé fázi měření prostředí.

Poté je zkontrolována dostupnost datových položek v tomto souboru. Pokud jsou data k dispozici, první řádka souboru je načtena a zpracována do formátu vhodného pro API ThingSpeak. Každá z hodnot je přidělena ke konkrétnímu kanálu v ThingSpeak, který je identifikován pomocí API klíče. Poté je vytvořen HTTP požadavek pomocí metody `urlib.request.urlopen()`. Požadavek na server ThingSpeak obsahuje naměřená data ve formě parametrů s časovou značkou, které jsou přečteny a zpracovány serverem. Data jsou uložena v určeném kanálu a jsou k dispozici pro další zpracování, analýzu a vizualizaci.

Pokud není dostupné internetové připojení nebo je služba ThingSpeak nedostupná, data zůstanou v souboru pro pozdější odeslání. Pokud dojde k úspěšnému odeslání dat, první řádka souboru je smazána, aby se zabránilo duplikaci dat. Tento proces je volán v hlavním cyklu pro pravidelné odesílání dat na platformu ThingSpeak.

Před použitím implementovaného kódu pro sériovou výrobu je nezbytné nejprve vytvořit projekt na platformě ThingSpeak a správně nakonfigurovat kanály pro ukládání naměřených dat. Každý senzor a měřená veličina by měla mít přidělený jedinečný kanál `field`. Po vytvoření projektu a přidání kanálů je důležité zkopírovat API klíč z ThingSpeak a vložit ho do kódu v proměnné `THINGSPEAK_API_KEY`. Tímto způsobem je zajištěno, že naměřená data budou odesílána na správné místo a mohou být následně správně zpracována a vizualizována na platformě ThingSpeak.

7.5 Web rozhraní

Kromě vytvořeného firmware pro vyčítání a odesílání dat ze senzoru je implementováno i funkční webové rozhraní pro zadávání a ukládání prahových hodnot a telefonního čísla pro upozornění.

V souboru `_init_.py` je inicializována webová aplikace pomocí frameworku Flask. Flask je webový framework pro Python, který umožňuje vytváření webových aplikací pomocí jednoduché a elegantní syntaxe. Flask byl zvolen právě pro jeho jednoduchost a systém šablon (template). Tento systém umožňuje snadné vytváření a správu HTML šablon s vložením proměnných, podmínek a cyklů. Vytvoření správného frameworku je důležitým krokem pro definici základní konfigurace a propojení souborů a funkcí v projektu.

Cesty (routes) jsou definovány ve souboru `route.py`. Jedná se o navigační prvky, které určují, co se má stát při určité adrese URL. Například, když uživatel navštíví kořenovou adresu, zobrazí se hlavní stránka aplikace.

Vytvoření HTML šablony v souboru `index.html` je základním krokem pro vytvoření uživatelského rozhraní. Tato šablona obsahuje formulář pro zadávání prahových hodnot a telefonního čísla pro upozornění. Uživatelské zobrazení je ukázáno v kapitole 8.2.

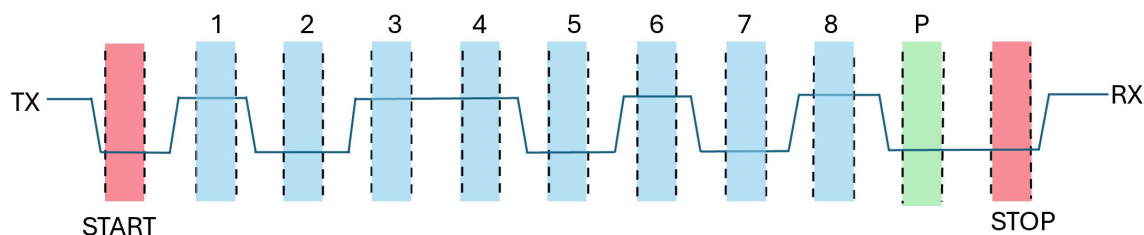
Po odeslání formuláře se zadanými daty uživatelem se data zpracovávají ve funkci `receive_data()` v souboru `route.py`. Zde jsou hodnoty z formuláře získány a uloženy do souboru, z kterého jsou hlavním kódem vyčítány.

7.6 UART komunikace

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) je sériová komunikační technologie používaná k přenosu dat mezi zařízeními. Jedná se o jeden z nejběžnějších způsobů komunikace v elektronice, a to jak mezi různými čipy na jedné desce, tak i mezi různými zařízeními připojenými k sobě přes kabel.

Komunikace pomocí UART probíhá asynchronně, tedy není vyžadován žádný společný hodinový signál pro synchronizaci vysílání a příjmu dat. Namísto toho jsou data odesílána v bytech nebo v bitech s přidáním startovními a stopovými bity pro oddělení jednotlivých bytů. Komunikace UART vyžaduje minimálně dvě signálové linky – jednu pro přenos dat (TX-Transmit) a druhou pro příjem dat (RX-Receive).

Postup komunikace pomocí UART začíná nastavením parametrů komunikace. Než začne komunikace, musí být obě zařízení nakonfigurována souběžně s určitými parametry, jako jsou rychlost přenosu (baud rate = počet symbolů (bitů) přenášených za sekundu), počet datových bitů, parita a počet stopových bitů. Po nastavení parametrů začne první zařízení vysílat data na linku TX, kde jsou přijímána druhým zařízením na lince RX. Na obrázku 7.3 je ukázaná komunikace přes UART. Data jsou odesílána po bitech nebo po bytech, s každým bytem obsahujícím startovní a stopové bity pro synchronizaci. Případně je zde přidán bit **parity**, což je technika používaná v sériové komunikaci k detekci chyb v přenášených datech. Spočívá v přidání jednoho nebo více bitů ke každému znaku dat, které mají určitý vzor, aby se zaručila jejich správnost. Existují tři základní typy parity – sudá parita, přidává bit tak, aby součet všech bitů vzniklého znaku (včetně paritního bitu) byl sudý. Pokud je počet jedniček v přenášeném znaku lichý, paritní bit je nastaven na 1, aby byl součet sudý, a naopak, pokud je počet jedniček sudý, paritní bit je nastaven na 0. Lichá parita – přidává bit tak, aby součet všech bitů vzniklého znaku byl lichý. Funkcionalita je podobná jako u sudé parity. Třetím typem je **žádná parita** (No Parity). V této konfiguraci není přidáván žádný paritní bit. Data jsou přenášena pouze se svými vlastními bity a nejsou provázena žádnými dalšími paritními bity pro kontrolu. Paritní bity jsou používány přijímačem k ověření, zda byla data správně přenesena. Pokud přijímač zjistí nesrovnalost mezi paritními bity a přenášenými daty, může signalizovat chybu a přijatá data označit jako poškozená. Dále přenos dat pokračuje přijetím dat druhým zařízením z linky RX a jejich zpracováním podle potřeby. Druhé zařízení může odpovědět na přijatá data nebo začít vysílat vlastní data zpět na první zařízení, čímž vzniká dvousměrná komunikace. [41]



Obrázek 7.3. Asynchronní čtení komunikace UART upraveno podle [41]

7.6.1 Komunikace s SMS modulem

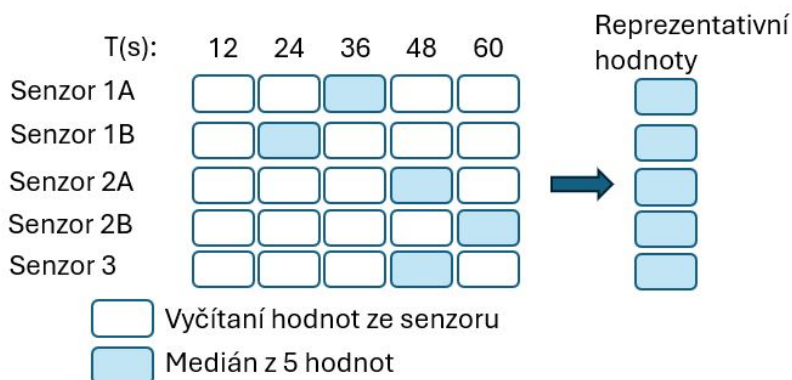
V hlavním kódu je implementována funkce pro odesílání SMS zpráv pomocí modulu SIM7000E přes sériovou komunikaci UART. Po importování knihovny serial je definována funkce `send_sms`, která přijímá telefonní číslo příjemce (`phone_number`) a textovou zprávu k odeslání (`message`).

Nejprve jsou nastaveny parametry pro sériovou komunikaci. Otevření sériového portu `/dev/ttyS0` s rychlostí přenosu 115200 bodů za sekundu a nastavením času pro čekání na odezvu na 1 sekundu. Poté se inicializuje modul SIM7000E odesláním AT příkazu. Po kladné odpovědi se odešle AT příkaz pro nastavení textového režimu SMS (`AT + CMGF = 1`). Nyní modul na zadané telefonní číslo (`phone_number`) odešle zprávu (`message`) pomocí AT příkazu `AT+CMGS`. Před odesláním je zpráva převedena na bajtový řetězec pomocí metody `encode` (`utf-8`).

Tento kód umožňuje automatizované odesílání SMS zpráv pomocí Pythonu, což je užitečné pro upozornění na události nebo odesílání zpráv ze zařízení.

7.7 Logika pro kontinuální záznam hodnot

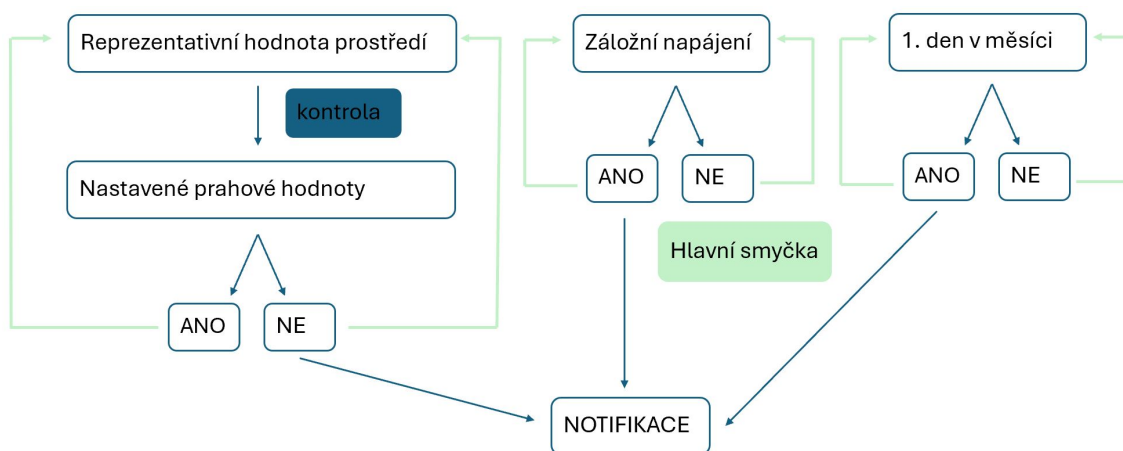
Část kódu je zodpovědná za periodické sbírání dat ze senzorů a jejich ukládání pro následnou analýzu. Teplota, vlhkost, tlak, koncentrace CO_2 a úroveň osvětlení jsou sbírány s periodou každých 12 sekund. Pro zajištění spolehlivosti a přesnosti měření je využívána metoda mediánu z 5 hodnot. Takto jsou vyčteny reprezentativní hodnoty daného prostředí, zobrazeno na obrázku 7.4. Tento přístup pomáhá eliminovat možné chyby způsobené odlehlými hodnotami (`outliers`) a zajišťuje stabilní a přesná data.



Obrázek 7.4. Ukázka výběru reprezentativní hodnoty prostředí

7.8 Implementace notifikačního systému

Implementace notifikačního systému je klíčovým prvkem projektu, který zajišťuje průběžné informování uživatele o důležitých událostech a stavu zařízení. Tento systém je navržen tak, aby poskytoval spolehlivé a včasné notifikace v případě překročení stanovených prahových hodnot, výpadku napájení ze sítě nebo obnovení napájení. Logika odesílání notifikace je zobrazena na obrázku 7.5. Notifikací je odeslání SMS s informacemi o stavu prostředí.



Obrázek 7.5. Schéma logiky notifikace

Implementace začíná kontrolou naměřených hodnot z různých senzorů vůči stanoveným prahovým hodnotám pro teplotu, vlhkost, tlak, osvětlení a koncentraci CO₂. Pokud některá z naměřených hodnot překročí stanovenou mez, systém vygeneruje odpovídající zprávu o překročení a připraví ji k odeslání. Každá zpráva obsahuje specifické informace o typu překročené hodnoty a její aktuální hodnotě.

Kontrola prahových hodnot a odesílání zpráv probíhá pravidelně v rámci hlavní smyčky programu. Interval pro tyto kontroly je nastaven pomocí příslušných proměnných, což umožňuje flexibilní nastavení intervalů podle potřeb uživatele.

Během každé iterace hlavní smyčky programu jsou aktuální hodnoty senzorů porovnány s jejich předchozími hodnotami. Pokud předchozí hodnoty byly v dovoleném rozsahu a nyní reprezentativní hodnota prostředí překračuje dovolené pásmo, je odeslána SMS. Pokud však již byla SMS o daném překročení hodnot dané proměnné odeslána, další SMS se nepošle. Naopak, pokud dojde k navrácení hodnoty do dovoleného pásma, je uživatel opět informován pomocí SMS. Tento princip je implementován pomocí dvou boolovských hodnot reprezentujících stav překročení hodnoty mimo rozsah v minulé iteraci a současné iteraci.

■ 7.8.1 Notifikace napájení

Součástí notificačního systému je také monitorování stavu napájení. Pokud dojde k výpadku napájení ze sítě, na daném pinu GPIO 21 se logická 1 změní na 0 a systém okamžitě informuje uživatele o této události a přepne se na záložní napájení. Jakmile je napájení obnoveno opět je zaznamenaná logická 1, systém opět informuje uživatele o návratu do normálního provozu.

Tímto způsobem notificační systém poskytuje uživateli kompletní přehled o stavu měřených hodnot a provozních podmínkách zařízení a umožňuje mu rychle reagovat na případné neobvyklé situace.

■ 7.8.2 Notifikace funkce jednotky

Kromě notifikace o nepřírozených stavů je implementována i funkce pro upozornění na správnou funkčnost zařízení. Jednou za měsíc respektive 1. den v měsíci uživatel obdrží SMS, že zařízení funguje správně, protože všechny parametry jsou v pořádku.

Kapitola 8

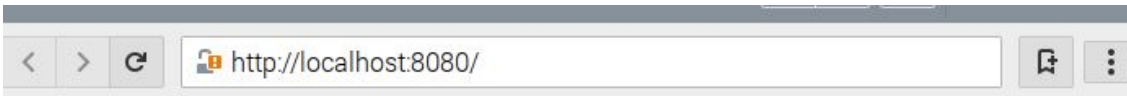
Uživatelské rozhraní

8.1 LCD display

Aktuální reprezentativní hodnoty ze senzorů jsou vždy prezentovány na displeji, což umožňuje uživateli rychlý a přehledný pohled na aktuální stav prostředí. Tento způsob poskytuje okamžitou vizualizaci klíčových parametrů a umožňuje uživatelům monitorovat prostředí v reálném čase. Pro rozsvícení podsvícení displeje je zde tlačítko.

8.2 Webové rozhraní

Pro nastavení prahových hodnot je vytvořeno pro uživatele jednoduché webové rozhraní dostupné na <http://localhost:8080/> při připojení na stejnou Wi-Fi jako je připojené zařízení. Uživateli se zobrazí stránka 8.1, kde pohodlně zadá požadované prahové hodnoty a telefonní číslo, na které má být případně překročení poslána notifikace. Po odeslání parametru se uživateli zobrazí opět hlavní stránka s možností opětovného nastavení prahových hodnot. Tedy uživatel může kdykoliv zadat dovolené meze hodnot veličin při připojení na stejnou Wi-Fi.



Nastavení prahových hodnot pro laboratoř a kontaktní osoby.

Níže vyplňte prahové hodnoty jednotlivých měření. Při jejich překročení budete upozorněni prostřednictvím SMS zprávy na zadané telefonní číslo.

Nejnižší prahová hodnota teploty: Nejvyšší prahová hodnota teploty:

Nejnižší prahová hodnota vlhkosti: Nejvyšší prahová hodnota vlhkosti:

Nejnižší prahová hodnota tlaku: Nejvyšší prahová hodnota tlaku:

Nejnižší prahová hodnota osvětlení: Nejvyšší prahová hodnota osvětlení:

Nejnižší prahová hodnota CO2: Nejvyšší prahová hodnota CO2:

Zadejte telefonní číslo pro upozornění (ve formátu +420123456789):

Obrázek 8.1. Webové rozhraní pro zadání parametrů

8.3 ThingSpeak

Kontinuální záznam naměřených hodnot je uložen na platformě ThingSpeak popsané v kapitole 5.2. Po přihlášení a výběru správného **channelu** má uživatel přímý přístup k grafům, které zobrazují přijaté hodnoty. Grafy zobrazují teplotu, vlhkost, osvětlení, koncentraci CO₂ a tlak, což umožňuje uživatelům sledovat změny v těchto veličinách v čase. Díky přehlednému grafickému rozhraní mohou uživatelé snadno analyzovat naměřená data přímo v aplikaci. Například mohou porovnat hodnoty v rámci tří dnů nebo provádět jednoduché analýzy. Kromě toho mají uživatelé možnost stáhnout data ve formátu Excelu pro další zpracování nebo archivaci. Tato funkce poskytuje uživatelům flexibilitu a snadnost v práci s naměřenými daty.

8.4 SMS

Při překročení stanovené mezihodnoty měřenou hodnotu, uživatel okamžitě obdrží SMS upozornění. Tato zpráva informuje uživatele o stavu jednotlivých měřených hodnot a označuje, které hodnoty jsou v normálním rozsahu a které jsou mimo stanovené meze. Pokud se stav některé z měřených hodnot změní a hodnota se vrátí do stanovených mezí nebo další vychýlí, uživatel obdrží další SMS zprávu s aktualizovaným stavem všech měřených hodnot. Tento proces se opakuje i pro každou změnu stavu měřených hodnot, což umožňuje uživateli pružně monitorovat stav a případně reagovat na změny.

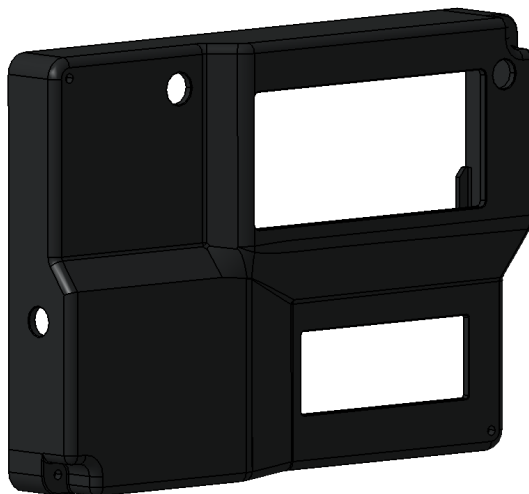
Uživatel obdrží SMS i v případě, kdy dojde k výpadku proudu a zařízení přejde na záložní napájení. Tato SMS slouží jako upozornění na tuto událost a informuje uživatele o změně stavu napájení. Dále je SMS zasílána pravidelně jednou za měsíc s účelem ověření správné funkce zařízení. Tímto způsobem uživatel pravidelně dostává kontrolní zprávy, které mu poskytují jistotu, že zařízení funguje správně

Kapitola 9

Mechanická zástavba zařízení

Mechanická zástavba zařízení je jedním z důležitých kroků realizace reálného zařízení. Při jejím návrhu je nezbytné zohlednit funkcionalitu zařízení, aby byly senzory volně přístupné pro nepřetržitého měření prostředí. Při návrhu mechanické zástavby je důležité zohlednit nejenom samotnou zástavbu PCB, ale i místo, kde bude zařízení umístěno. Jako optimální technologie pro výrobu této specifické mechanické zástavky byl zvolen 3D tisk, který umožňuje přesné a flexibilní vytvoření komplexních geometrických tvarů dle požadavků a specifikací zařízení. Mechanická zástavba byla vymodelována v programu Catia.

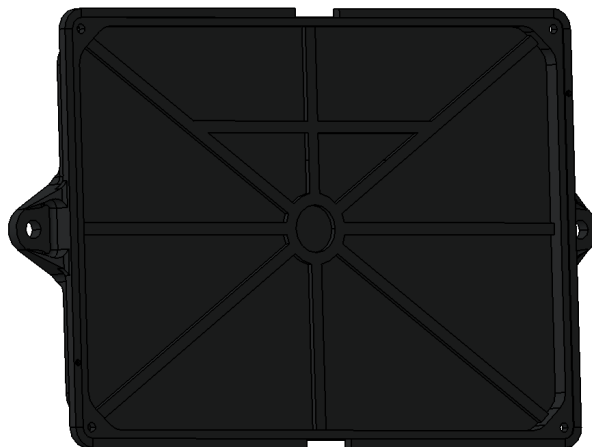
Celý návrh zástavby se skládá ze 3 kusů. Vrchní část krabičky na obrázku 9.1 kopíruje rozložení komponent na PCB a jsou v ní vytvořené otvory pro snímání senzorů. Kromě toho je třeba vyčlenit místo pro anténu SMS modulu, displeje a tlačítka pro jeho podsvícení a pro napájecí otvor. Důležitou součástí návrhu vrchní a spodní části krabičky jsou i vytvořené otvory pro přichycení šroubů (respektive 4x M3x30mm) a maticek k desce.



Obrázek 9.1. Vrchní část navržené mechanické zástavby

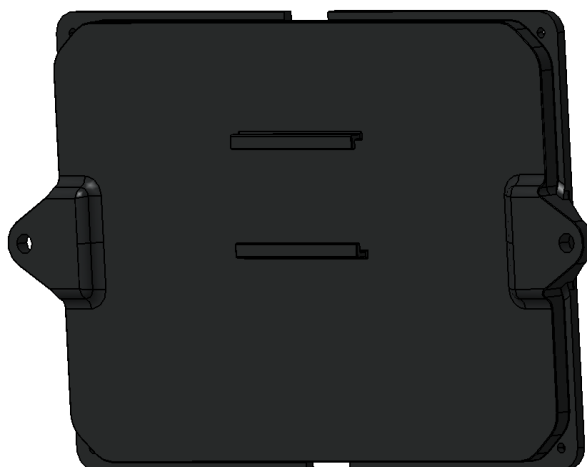
Při návrhu mechanické zástavby je důležité zohlednit nejenom samotnou zástavbu PCB, ale i místo, kde bude zařízení umístěno. Navrhovaná mechanická zástavba nabízí 2 možnosti jak uložit zařízení. První možností je upevnění ke zdi na dvou místech, což poskytuje stabilní a pevnou podporu. Tato možnost je vytvořena na spodním dílu krabičky zobrazeno na obrázku 9.2 přidáním plošek pro přivrtání do zdi. Tato volba

je vhodná pro prostředí, kde je potřeba zařízení umístit trvale na zeď nebo jiný rovný povrch, jako je například laboratoř nebo průmyslový prostor. Do spodní části krabičky je přidáno žebrování pro zpevnění její nosné části.



Obrázek 9.2. Spodní část navržené mechanické zástavby

Druhou možností je umístění zařízení na stole s podpěrkou. Tato varianta je flexibilnější a umožňuje snadnější přesun zařízení podle potřeby. Je vhodná pro prostředí, kde není možné nebo žádoucí upevnění k zdi a kde je žádoucí mít větší flexibilitu v umístění zařízení. Podpěra je navržena tak aby jednoduše se dala zasunout do dolní strany spodní části krabičky. Vymodelovaná podpěra s drážkami pro zasunutí na spodním dílu je zobrazena na obrázku 9.3.





Obrázek 9.3. Spodní část navržené mechanické zástavby

Kapitola 10

Ověření funkčnosti realizovaného zařízení

Ověření funkčnosti realizovaného zařízení je klíčovým krokem při nasazení nového systému do provozu. Tento proces zahrnuje systematické testování různých funkcí a vlastností zařízení s cílem zajistit jeho správnou funkčnost a spolehlivost v reálném provozu. Nejprve byly vytvořeny uměle vytvořené situace, které simulovaly různé podmínky a scénáře, ve kterých zařízení má fungovat – detailněji popsané níže 10.1. Poté bylo zařízení spuštěno do provozu, během které byla monitorována jeho funkčnost v reálném provozním prostředí.

10.1 Umělé vytvoření situací

Umělým vytvořením situací je možné prověřit chování zařízení a reakce v různých situacích a ověřit, zda je schopno správně reagovat na různé podněty a provádět požadované úkoly. Níže popsané úkoly byly řádně otestovány.

■ Automatický start:

Po připojení napájení, ať už ze sítě nebo z záložního zdroje, zařízení automaticky spustí svůj provozní režim. Tento proces byl opakovaně testován zapojením a odpojením zařízení z napájení ze sítě při odpojení záložním napájením a poté i při odpojení ze sítě a čekání na bootování ze záložního napájení. Respektive v 5 z 5 pokusů při zapojení zařízení do elektrické sítě do 3 min bylo realizované zařízení v plném provozu.

■ Výpadek Wi-Fi:

Pokud dojde k výpadku Wi-Fi spojení, data budou dočasně ukládána do paměti SD karty a při opětovném připojení zpětně odeslána na Thingspeak, přičemž stav připojení bude zobrazen na displeji. Výpadek Wi-Fi byl testován jejím manuálním vypínáním a zapínáním. Konkrétně Wi-Fi byla vypnuta na 5, 15, 30 a 60 min a poté bylo sledováno zda všechny hodnoty se zdárně uložily a byly odeslány zpětně na Thingspeak. Ve všech testovaných případech došlo k úspěšnému uložení a odeslání dat.

■ Překročení prahových hodnot měřených veličin:

V případě překročení stanovené prahové hodnoty, například teploty, bude uživatel okamžitě informován SMS zprávou. Tato situace byla ověřena zahřátím horkovzdušnou pistolí senzoru měřící teplotu na hodnotu vyšší než stanovený limit (měřena kontrolním teploměrem). Dále například nastavení nižším prahem intenzity osvětlení a následné umístěním zařízení na slunečný povrch. Tento scénář byl opakován jak pro jeden senzor, tak pro více senzorů současně, a bylo sledováno, zda od změny nad

prahovou hodnotu veličiny a jejím zaznamenáním (1 minuta) dojde k odeslání SMS do 3 minut. Ve všech případech se tato funkčnost potvrdila.

■ **Návrat měřené veličiny do stanovených mezí:**

Po návratu hodnoty měřené veličiny do požadovaných mezí bude uživatel informován prostřednictvím SMS zprávy. Tento proces byl ověřen společně s předchozím bodem **Překročení prahových hodnot měřených veličin** ponecháním systému dostatečnou dobu mimo požadovaný rozsah (po zahřátí senzoru) a následným zaznamenáním teploty po jejím návratu do stanoveného rozsahu. Obdobně pro měření intenzity světla bylo ověřeno zastíněním senzoru po jistou dobu. Po návratu hodnot zpět do požadovaných mezí byly odeslány SMS, tzn. byla potvrzena funkčnost přijetím SMS.

■ **Výpadek napájení ze sítě**

Při výpadku napájení zařízení ze sítě bude o této události díky záložnímu zdroji uživatel informován pomocí SMS zprávy. Respektive v 5 z 5 pokusů při odpojení zařízení z elektrické sítě do 3 min byl uživatel o situaci informován. Navíc byla v testovaných případech i nadále data ze senzorů odesílána na Thingspeak, avšak to není primárním účelem záložního napájení.

10.2 Testování v reálném prostředí

Tato fáze umožnila získat praktické zkušenosti s provozem zařízení a identifikovat potenciální problémy nebo nedostatky, které by mohly ovlivnit jeho výkon a spolehlivost v praxi. Tyto kroky jsou klíčové pro zajištění robustního a spolehlivého provozu zařízení v reálných podmínkách a pro poskytnutí důvěry uživatelům v jeho funkčnost.

Zařízení bylo zapojeno po dobu 5 dnů v obyvatelné místnosti jak je zobrazeno na obrázku 10.1 a jeho funkce byla monitorována. Více obrázků realizovaného zařízení je uvedeno v příloze B.



Obrázek 10.1. Finální navržené a realizované zařízení pro kontinuální měření parametrů vnitřního prostředí

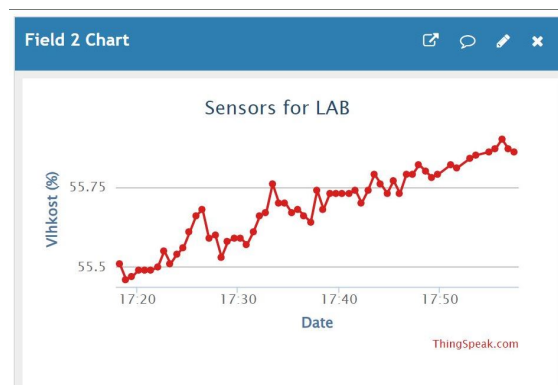
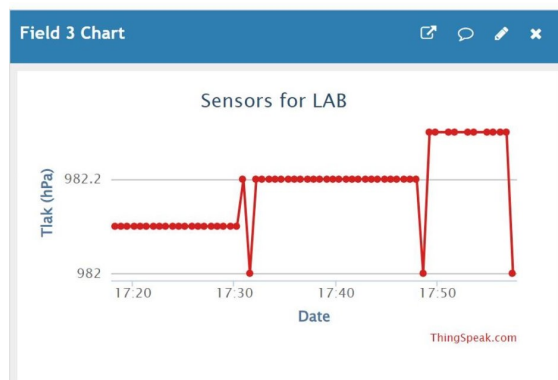
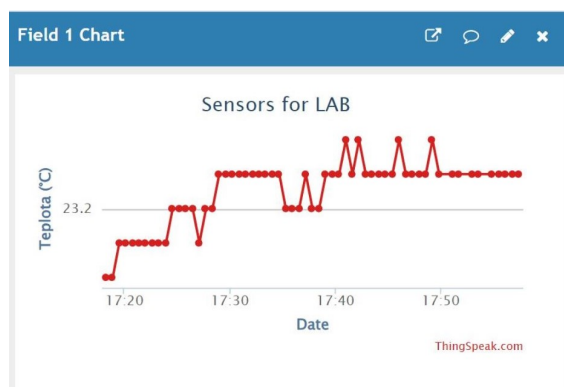
Na začátku měření uživatel zadal prahové hodnoty, které jsou uvedeny v tabulce 10.1, a během testování nebyl důvod je měnit, takže zůstaly stejné po celou dobu měření.

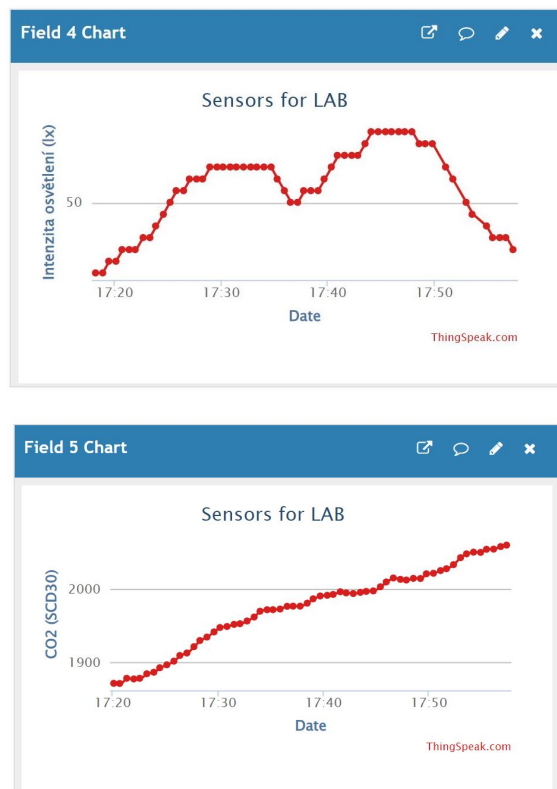
parametry	dolní práh	horní práh
teplota [°C]	20	28
vlhkost [%]	40	60
tlak [hPa]	800	1200
intenzita osvětlení [lx]	0	1500
koncentrace CO ₂ [ppm]	500	1500

Tabulka 10.1. Prahové hodnoty pro reálné testování

10.2.1 Výsledky kontinuálního měření

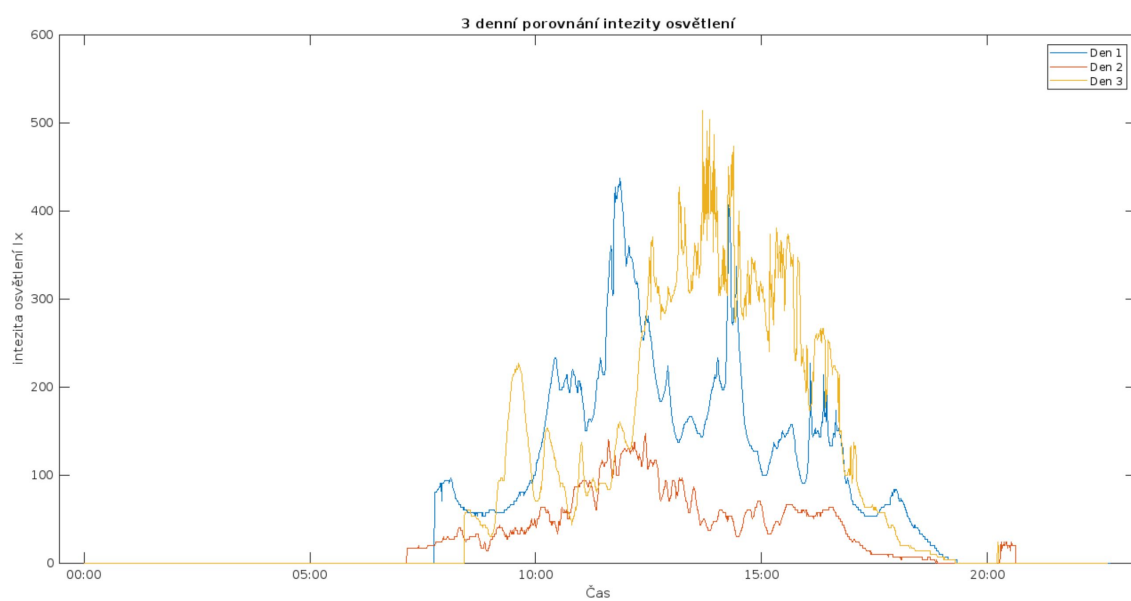
Během průběhu měření nenastaly situace, které nebyly zohledněny v návrhu. Nicméně, v průběhu testování došlo k opakovaným výpadkům Wi-Fi spojení. Díky algoritmu zálohování na SD kartu se však Raspberry Pi po obnovení připojení opět spojilo se sítí a automaticky přeneslo naměřené hodnoty na platformu ThingSpeak, čímž byl zajištěn kompletní záznam naměřených parametrů. Obrázek 10.2 ukazuje výběr graf, který se ukáže uživateli při přihlášení na Thingspeak k správnému channel.





Obrázek 10.2. Hodnoty veličin při testování

Na platformě Thingspeak je možné i jednoduché vyhodnocení dat - porovnání hodnot dané veličiny v rámci například 3 dní. Toto porovnání je ukázáno na intenzitě osvětlení na obrázku 10.3.



Obrázek 10.3. 3 denní porovnání intezity osvětlení

Data uložená na platformě ThingSpeak byla stažena po několika dnech trvalého měření ve formátu Excel. Tato data byla pak podrobena kontrole pomocí algoritmu v prostředí Matlab. Během kontroly bylo potvrzeno, že nedošlo k výpadku sběru dat a naměřené hodnoty po celou dobu nepřekročily prahové hodnoty, tak nebyl důvod k odeslání notifikace.

Kapitola 11

Diskuze

V této části práce jsou diskutovány dosažené výsledky, možnosti průmyslové výroby a technické aspekty hardwaru a softwaru.

Zařízení bylo úspěšně implementováno s cílem dlouhodobého sledování několika parametrů prostředí. Parametry prostředí jsou ukládány pro případnou další analýzu. Uživatel má možnost definovat prahové hodnoty pro sledované parametry, a v případě jejich překročení je informován o této události.

Při návrhu desky plošných spojů se bohužel nepodařilo vyvarovat několika chyb. Komunikaci I²C chybělo propojení k mustru, toto je upraveno připájením drátkům ze spodu desky.

Dále, byl použit nesprávný footprint pro step-up konvertor. Přesto se podařilo funkčně připojit step-up do desky, ale pro případný další návrh by bylo vhodné tento aspekt zvážit a provést příslušné změny.

Podařilo se vytvořit stabilní kód pro řízení mikrokontroléru, který zaznamenává kontinuální hodnoty prostředí. V implementaci větších laboratoří nebo rušnějších prostředí by bylo vhodné zvážit přidání zabezpečení webového serveru, které by umožňovalo změnu prahových hodnot pouze oprávněným osobám (registrovaným uživatelům).

3D tisk se ukázal jako vhodná metoda pro výrobu mechanické zástavby pro zařízení. Po dobu manipulace a měření se neobjevily žádné problémy se zástavbou. Tiskem 3D krabičky byla dosažena dostatečná pevnost pro zavěšení a opření zařízení. Také byla dosažena dostatečná odolnost potřebná pro ochranu komponent během manipulace a provozu. Tento přístup umožnil také snadnou úpravu designu krabičky podle specifických požadavků zařízení. Celkově je tedy použití 3D tisku pro výrobu krabičky pro toto zařízení úspěšné a přináší řadu výhod v oblasti mechanické stability a flexibility designu.

Navržený systém se zaměřuje na vytvoření možnosti výroby několika jednotek s kusovou výrobou, pro což jsou vhodné moduly, které lze případně nahradit nebo vyměnit.

Na komerčním trhu není momentálně běžně dostupné podobné zařízení pro komplexní měření parametrů vnitřního prostředí. Pokud by se navrhované zařízení mělo začít vyrábět ve velkém měřítku, je nutné zvážit alternativní možnosti pro integraci senzorů a komunikačních modulů. Místo použití dostupných modulů senzorů integrovat senzory přímo na hlavní desku plošných spojů. Obdobně zvolit vhodný mikroprocesor od STM32 pro jeho velikost a cenu. Těmito změnami by se dosáhlo zjednodušení výrobního procesu a možné redukce nákladů na výrobu.

Kapitola 12

Závěr

V rámci této práce byla provedena rešerše týkající se měření parametrů vnitřního prostředí a neelektrických fyzikálních veličin. Tato práce se zabývá se studiem existujících metod a technologií v oblasti monitorování teploty, vlhkosti vzduchu, koncentrace CO₂ a tlaku.

Dále bylo navrženo a realizováno hardware zařízení na Raspberry Pi Zero pro komplexní měření těchto parametrů. Tento hardware zahrnoval senzory a snímače pro jednotlivé veličiny a je navržen s ohledem na potřeby dlouhodobého monitorování v různých prostředích. Součástí práce bylo také navrhnout a implementovat firmware, který umožňuje kontinuální záznam naměřených hodnot a odesílání notifikací v případě překročení stanovených limitů.

Odesílání notifikací pomocí SMS bylo realizováno prostřednictvím integrovaného modulu pro GSM komunikaci, který byl integrován do systému a je schopen automaticky odesílat SMS zprávy na předem definovaná telefonní čísla v případě detekce překročení nastavených limitů. Pro snadnou a intuitivní správu těchto nastavení byl vytvořen webový server, který je volně dostupný při připojení na stejnou Wi-Fi síť jako je zařízení. Uživatel má možnost pomocí webového rozhraní měnit parametry monitorovaných veličin a zadávat číslo pro příjem notifikačních SMS zpráv. Tento systém umožňuje flexibilní a pohodlné nastavení monitorovacího zařízení dle individuálních potřeb uživatele.

Nedílnou součástí realizace zařízení bylo navržení mechanické zástavby, která byla následně vyrobena pomocí 3D tisku. Tato krabička s podpěrou byla navržena s ohledem na ochranu interních komponentů na tištěném spoji před vnějšími vlivy a zajištění optimální stability a funkčnosti celého systému. Díky použití 3D tisku bylo dosaženo přesného a robustního provedení, které je specifické pro dané zařízení. Tímto způsobem byla zajištěna nejen estetická, ale i praktická stránka celého systému pro měření parametrů vnitřního prostředí.

Závěrem byla funkčnost realizovaného systému otestována. Tyto testy zahrnovaly jak laboratorní měření, tak i testování v reálných podmínkách. Výsledky těchto testů potvrdily správnou funkci a spolehlivost realizovaného zařízení pro měření parametrů vnitřního prostředí.

Celkově lze konstatovat, že navržený systém splňuje požadavky na komplexní monitorování a záznam parametrů vnitřního prostředí s možností dlouhodobého sledování a odesílání notifikací v případě potřeby. Realizované zařízení představuje užitečný nástroj pro monitorování kvality vnitřního prostředí a může být úspěšně využito v široké škále aplikací.

Literatura

- [1] I. Mujan, A. Anđelković, V. Munćan, M. Kljajić a D. R. Serbia. *Influence of Indoor Environmental Quality on Human Health and Productivity - A Review*. 2019.
- [2] F. Lange a S. Dewitte. Measuring Pro-environmental Behavior: Review and Recommendations. *Journal of Environmental Psychology*. 2019. DOI 10.1016/j.jenvp.2019.04.009.
- [3] Český normalizační institut. *Energetická náročnost budov - Větrání budov - Část 1: Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky - Modul M1-6*. CSN EN 16798-1 (127027). 2020. Katalogový kód: 510657, Třídící znak: 127027, Platnost: Norma je platná, Vydání: 08/2020, Účinnost: 09/2020 - doposud, Jazyk: Norma je v češtině..
- [4] ASHRAE. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Standard 55. 2023.
<https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/ansi-ashrae-standard-55-2023>.
- [5] World Health Organization. *Housing and Health Guidelines*. Geneva: World Health Organization, 2018. ISBN 978-92-4-155037-6.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo>. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- [6] Peder Wolkoff. Indoor air humidity, air quality, and health – An overview. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2018, 221 376–390.
- [7] A V Arundel, E M Sterling, J H Biggin a T D Sterling. Indirect health effects of relative humidity in indoor environments. *Environmental Health Perspectives*. 1986, 65 351–361. DOI 10.1289/ehp.8665351.
- [8] ASHRAE Board of Directors. *ASHRAE Position Document on Indoor Carbon Dioxide*. Approved by ASHRAE Board of Directors. 2022. Expires February 2, 2025.
- [9] Wei Wei, Olivier Ramalho a Corinne Mandin. Indoor air quality requirements in green building certifications. *Building and Environment*. 2015.
- [10] Jean-Loup Rault, Katie Clark, Peter J. Groves a Greg M. Cronin. Light intensity of 5 or 20 lux on broiler behavior, welfare and productivity. *Animal Well-Being and Behavior*. 2017. DOI 10.3382/ps/pew423.
- [11] William H II Walker, James C Walton, A Courtney DeVries a Randy J Nelson. Circadian rhythm disruption and mental health. *Translational Psychiatry*. 2020, 10 28. DOI 10.1038/s41398-020-0694-0.
- [12] *Thermocouples*.
<https://www.iqsdirectory.com/articles/thermocouple.html>. Online; přístupný 18.3.2024.

- [13] *PTF -FAMILY*.
https://cz.mouser.com/ProductDetail/Measurement-Specialties/NB-PTCO-168?qs=oFx6pF86PmCBR%252BhYTrhzsQ%3D%3D&mgh=1&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwzN-vBhAkEiwAYi07oIRfLIQXjU1J0IL1B1jtV8sywFh8P6n0qPQ4h1sWEuHd2MthMM1ohoCJFoQA vD_BwE. Online; přístupný 18.3.2024.
- [14] *What is a Thermistor?*
<https://www.wattco.com/2023/08/what-is-a-thermistor/>. Online; accessed 18.3.2024.
- [15] *Teplotní senzor digitální Dallas DS18B20*.
<https://dratek.cz/arduino/1187-teplotni-senzor-digitalni-dallas-ds18b20.html>. Online; přístupný 18.3.2024.
- [16] IST AG. *P14 Rapid Datasheet with AuCu Wire*.
https://www.ist-ag.com/sites/default/files/downloads/p14_rapid_aucu.pdf. PDF document; přístupný 29.03.2024.
- [17] Mouser Electronics. *DHT11 Technical Data Sheet*.
<https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>. PDF document; přístupný 29.03.2024.
- [18] Ohmic Instruments. *ABS-300 Datasheet*.
https://static1.squarespace.com/static/5989afe4db29d6b9e128065d/t/5995b7209f7456fe1ec260fb/1502983970115/ABS-300_revA.pdf. PDF document; přístupný 19.3.2024.
- [19] SemiconductorForU. *Types of Pressure Sensor*.
<https://www.semiconductorforu.com/types-of-pressure-sensor/>. Online; přístupný 29.3.2024 .
- [20] Bosch Sensortec. *Bosch BMP280 Pressure Sensor*.
<https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/pressure-sensors/bmp280/>. Online; přístupný 29.3.2024 .
- [21] D. Popa a F. Udrea. Towards Integrated Mid-Infrared Gas Sensors. *Sensors*. 2019, 19 (9), 2076. DOI 10.3390/s19092076.
- [22] Sensirion. *Datasheet Sensirion SCD30 Sensor Module*. 2020.
https://sensirion.com/media/documents/4EAF6AF8/61652C3C/Sensirion_C02_Sensors_SCD30_Datasheet.pdf.
- [23] Sandbox Electronics. *MG811 Carbon Dioxide Sensor Datasheet*.
<https://sandboxelectronics.com/files/SEN-000007/MG811.pdf>. Online; přístupný 29.3.2024 .
- [24] Laskakit.cz. *Arduino Fotorezistor 5mm GL5528*.
https://www.laskakit.cz/arduino-fotorezistor-5mm-gl5528/?gad_source=1&gclid=Cj0KQCjw8J6wBhDXARIsAPo7QA_mHCmC9hERvHBjsIAYD-KFuNdJ7v7m7Xq9ZmKD_kJufn6kBFP9qAkaAliPEALw_wcB. Online; přístupný 30.3.2024 .
- [25] A. Venkatanarayanan a E. Spain. *Review of Recent Developments in Sensing Materials*. Elsevier, 2012.
- [26] ROHM Semiconductor. *BH1750FVI-E Datasheet*. 2022.
<https://www.mouser.com/datasheet/2/348/bh1750fvi-e-186247.pdf>.
- [27] TME.eu. *Sensirion SCD30 - Čidlo vlhkosti a teploty*.
<https://www.tme.eu/cz/details/scd30/cidla-vlhkosti/sensirion/1-101625-10/?brutto=1¤cy=CZK>. Online; přístupný 4.4.2024 .

- [28] *ThingsBoard*.
<https://thingsboard.io/>. Online; přístupný 2.3.2024 .
- [29] *ThingSpeak*.
<https://thingspeak.com/>. Online; přístupný 2.3.2024 .
- [30] *Node-RED*.
<https://nodered.org/>. Online; přístupný 2.3.2024 .
- [31] *Raspberry Pi Zero*.
<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-zero/>. Online; přístupný 12.04.2024 .
- [32] LaskaKit.cz. *Specification For LCD Module 2004A*.
https://www.laskakit.cz/user/related_files/rk-10290_410_datasheet.pdf.
Online; přístupný 31.3.2024 .
- [33] RPiShop.cz. *WaveShare SIM700E NB-IoT/EMTC/EDGE/GPRS/GNSS HAT pro Raspberry Pi*.
<https://rpishop.cz/iot-karty/2040-waveshare-sim700e-nb-iot-emtc-edge-gprs-gnss-hat-pro-raspberry-pi.html>. Online; přístupný 31.3.2024 .
- [34] *Držák pro 18650 akumulátor s nabíječkou a boostem 5V*.
https://www.laskakit.cz/drzak-pro-18650-akumulator-s-nabijeckou-a-boostem-5v/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwzN-vBhAkEiwAYi07oKkfiUV9EYj19XdwyZtjp2C7Q829bG9N71Gb49kEVU0U6PSndbVq0BoCoVUQAvD_BwE. Online; přístupný 18.3.2024 .
- [35] *LiPo baterie 2S 1000mAh 7,4V 20C JST BEC*.
<https://www.laskakit.cz/rc-lipol-baterie-2s-1000mah-7-4v-20c-jst-bec/>.
Online; přístupný 12.04.2024 .
- [36] *Nabíječka Li-ion článků TP5100 (2A, 1-2S)*.
<https://www.laskakit.cz/nabijecka-li-ion-clanku-tp5100--2a-1-2s/>. Online;
přístupný 12.04.2024 .
- [37] *Step-Up Boost měnič s SX1308 2A*.
<https://www.laskakit.cz/step-up-boost-menic-s-sx1308-2a/>. Online; přístupný
12.04.2024 .
- [38] *LM7805 Datasheet*.
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>. Online; přístupný
12.04.2024 .
- [39] Vishay Siliconix. *IRF9540 Datasheet*.
<https://www.vishay.com/docs/91078/91078.pdf>. Online; přístupný 12.04.2024 .
- [40] Jonathan Valdez a Jared Becker. *Understanding the I2C Bus*. . Texas Instruments.
- [41] Rohde & Schwarz. *Understanding UART*.
https://www.rohde-schwarz.com/us/products/test-and-measurement/essentials-test-equipment/digital-oscilloscopes/understanding-uart_254524.html.
Online; přístupný 22.04.2024 .

Příloha A

Zkratky

IAQ	(Indoor Air Quality) - kvalita vnitřního vzduchu
IEQ	(Indoor Environmental Quality) - kvalita vnitřního prostředí
ISO	(International Organization for Standardization) - Mezinárodní organizace pro normalizaci
ASHRAE	(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) - Americká společnost pro vytápění, chlazení a klimatizaci
OSHA	(Occupational Safety and Health Administration) - Úřad pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci
SI	(International System of Units) - Mezinárodní soustava jednotek
WHO	(World Health Organization) - Světová zdravotnická organizace
RTD	(Resistance Temperature Detector) - odporový teplotní detektor
NTC	(Negative Temperature Coefficient) - negativní teplotní koeficient
PTC	(Positive Temperature Coefficient) - pozitivní teplotní koeficient
NDIR	(Non-Dispersive InfraRed) - nedisperzní infračervené- měření koncentrace plynu v prostředí pomocí infračerveného záření. Princip spočívá v absorpci specifických vlnových délek infračerveného záření plyny
LDIR	(Light-Dependent Resistor) - světelně závislé odpory
IoT	(Internet of Things) - Internet věcí, označuje síť propojených zařízení, která komunikují a vyměňují data přes internet
PCB/DSP	(Printed Circuit board) - Deska plošného spoje
GPIO	(General Purpose Input/Output) - obecný vstupně/výstupní port, který umožňuje komunikaci mikrokontroléru nebo mikroprocesoru s externími zařízeními
SPI	(Serial Peripheral Interface) -synchronní sériová sběrnice používaná k přenosu dat mezi mikrokontroléry, periferními zařízeními a dalšími integrovanými obvody
I ² C	(Inter-Integrated Circuit) - sériová sběrnice pro komunikaci mezi integrovanými obvody (IC), která umožňuje přenos dat mezi různými zařízeními pomocí minimálního počtu vodičů
UART	(Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) - sériovou asynchronní komunikaci mezi různými zařízeními
LCD	(Liquid Crystal Display) - displej s kapalnými krystaly
SDA	(Serial Data Line)- přenáší data mezi masterem/řídící jednotkou
SCL	(Serial Clock Line) - synchronizuje přenos dat na SDA lince, určuje kdy mají být data posílána a kdy čtena.

Příloha B

Realizované zařízení

Níže je zobrazeno realizované zařízení pro měření parametrů vnitřního prostředí a ukázka výpisu notifikace v SMS při překročení nastaveného prahu veličin.





Hodnota Temp [27.94](#) je nad zadanou
horni hranici 27.

Hodnota Light [3419.17](#) je nad zadanou
horni hranici [3000](#).

13:57