



**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**F3**

**Fakulta elektrotechnická  
Katedra mikroelektroniky**

**Bakalářská práce**

# **Mobilní stanice kontroly kvality ovzduší v domácnosti**

**Josef Holman**

**Srpen 2022**

**Studijní program: Elektronika a komunikace**

**Vedoucí práce: Ing. Vladimír Janíček, Ph.D.**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Holman** Jméno: **Josef** Osobní číslo: **495577**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**  
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Mobilní stanice kontroly kvality ovzduší v domácnosti**

Název bakalářské práce anglicky:

**Mobile Station for Air Quality Control for Home**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Prostudujte problematiku monitoringu kvality ovzduší v domácích podmínkách.
- 2) Navrhněte koncept zařízení pro monitoring kvality ovzduší. Zaměřte se na typické sledované veličiny.
- 3) Realizujte koncept ve formě prototypu založeném na jednočipovém mikrokontroléru a sadě senzorů. Napájení předpokládejte bateriové s nabíjením přes USB. Změřená data zobrazujte na displeji.
- 4) Navrhněte ovládací software, zapracujte možnost signalizace stavu na mobilní telefon.
- 5) Zařízení otestujte v provozu a vyhodnoťte dosažené výsledky.

Seznam doporučené literatury:

- 1) Vedat O.O., Developing IoT Projects with ESP32: Automate your home or business with inexpensive Wi-Fi devices, ISBN 978-1838641160
- 2) Schindler, A., Air Quality: Measurement, Analysis and Monitoring Techniques, ISBN 978-1682867310
- 3) ESP32 for IoT: A Complete Guide, <https://www.nabto.com/guide-to-iot-esp-32/>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Vladimír Janíček, Ph.D. katedra mikroelektroniky FEL**

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

Datum zadání bakalářské práce: **01.02.2022** Termín odevzdání bakalářské práce: **15.08.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2023**

Ing. Vladimír Janíček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Pavel Hazdra, CSc.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



## Poděkování / Prohlášení

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Vladimíru Janičkovi, Ph.D. za odborné vedení a věnovaný čas při vypracovávání této práce. Rád bych také poděkoval své rodině a své přítelkyni za podporu při studiu.

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

V Praze dne 15. 7. 2022

.....

## Abstrakt / Abstract

V této práci autor shrnuje problematiku monitorování kvality ovzduší v domácnosti. Na základě jeho průzkumu autor porovnává současná komerční řešení a navrhuje prototyp vlastního senzoru založeném na čipu ESP32 a sadě senzorů SGP30, SHTC1 a G2PY1010. Zařízení je napájeno z akumulátoru nabíjeného pomocí USB. Autor vyvíjí software pro měření, zobrazování dat na E-ink displej, webové rozhraní a posílání notifikací na chytrý telefon a dat na cloud. V závěru práce autor shrnuje data získaná ze zkušebního provozu a navrhuje možná řešení chyb v návrhu.

**Klíčová slova:** Kvalita vnitřního vzduchu,  $CO_2$ , TVOC, Suspendované částice, ESP32, SGP30, SHTC1

In this work, the author summarizes the issue of monitoring household air quality. Based on his research, the author compares current commercial solutions and designs a prototype of his own sensor, based on ESP32 chip and set of SGP30, SHTC1 and G2PY1010 sensors. The device is powered by USB rechargeable battery. The author designs software for measuring, displaying data on E-ink display, a web interface and sending notifications to a smartphone and data to the cloud. At the end of his work, the author summarizes the data obtained from the test operation and suggests possible solutions to the errors in the design.

**Keywords:** Indoor air quality,  $CO_2$ , TVOC, Ultra-fine particles, ESP32, SGP30, SHTC1

**Title translation:** Mobile Station for Air Quality Control for Home

## / Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Struktura práce</b>	<b>2</b>
<b>3 Stanovení priorit</b>	<b>3</b>
3.1 Oxid uhličitý a další plyny . . . . .	3
3.2 Suspendované částice . . . . .	3
3.3 TVOC, teplota a vlhkost . . . . .	4
3.4 Vlastnosti a funkce senzoru . . . . .	4
3.5 Závěr kapitoly . . . . .	5
<b>4 Průzkum existujících řešení</b>	<b>6</b>
4.1 Senzor VINDRIKTNING . . . . .	6
4.2 Senzor kvality vzduchu od Frient a od Aqara . . . . .	7
4.3 Senzor RLW-THC od Unipi technology . . . . .	8
4.4 Souhrn průzkumu . . . . .	8
<b>5 Návrh konceptu</b>	<b>9</b>
5.1 Mikrokontrolér . . . . .	9
5.2 Senzory . . . . .	10
5.2.1 Modul senzorů SVM30 . . . . .	10
5.2.2 Senzor GP2Y1010 . . . . .	11
5.3 Displej . . . . .	13
5.4 Napájení . . . . .	13
5.5 Závěr . . . . .	14
<b>6 Návrh softwaru</b>	<b>15</b>
6.1 Vývojové prostředí . . . . .	15
6.2 Popis programu . . . . .	15
6.3 Měření veličin . . . . .	16
6.4 Wifi rozhraní . . . . .	18
<b>7 Testování zařízení</b>	<b>20</b>
7.1 Změřená data . . . . .	20
7.2 Zkušenosti s používáním senzoru . . . . .	23
<b>8 Závěr</b>	<b>24</b>
<b>Literatura</b>	<b>25</b>
<b>A Zkratky</b>	<b>29</b>
<b>B Uživatelské rozhraní</b>	<b>30</b>
<b>C Podoba prototypu</b>	<b>32</b>

## Tabulky / Obrázky

<b>3.1</b>	Účinky $CO_2$ na člověka .....	3
<b>3.2</b>	Definice TVOC .....	4
<b>4.1</b>	Souhrn zkoumaných senzorů .....	8
<b>6.1</b>	Použité knihovny .....	15
<b>4.1</b>	VINDRIKTNING .....	6
<b>4.2</b>	Frient, Air Quality Sensor .....	7
<b>4.3</b>	Aqara, TVOC Air Quality Sensor .....	7
<b>4.4</b>	Unipi, interiérový senzor kva- lity vzduchu .....	8
<b>5.1</b>	Blokový diagram navrhova- ného zařízení .....	9
<b>5.2</b>	ESP23-Saola-1 .....	10
<b>5.3</b>	SVM30 .....	11
<b>5.4</b>	GP2Y1010 .....	12
<b>5.5</b>	Zapojení GP2Y1010 .....	12
<b>5.6</b>	Zapojení napájení .....	14
<b>5.7</b>	Schéma zapojení prototypu ....	14
<b>6.1</b>	Mobilní notifikace od IFTTT ..	17
<b>7.1</b>	Změřené hodnoty $eCO_2$ .....	20
<b>7.2</b>	Změřené hodnoty TVOC .....	21
<b>7.3</b>	Změřené hodnoty $PM_{2,5}$ .....	21
<b>7.4</b>	Změřené hodnoty relativní vlhkosti a teploty .....	22
<b>B.1</b>	Zobrazení hodnot na displeji ..	30
<b>B.2</b>	Snímek úvodní stránky .....	30
<b>B.3</b>	Snímek informační stránky ....	31
<b>B.4</b>	Snímek stránky nastavení .....	31
<b>C.5</b>	Podoba prototypu .....	32



# Kapitola 1

## Úvod

V dnešní době může být kvalita ovzduší jednou z nejvýznamnějších otázek lidstva. S probíhající změnou klimatu a měnící se návyků lidstva se mění i prostředí, ve kterém se nejvíce pohybujeme. Toto prostředí má nezanedbatelný vliv na zdraví člověka.

Světová zdravotnická organizace v roce 2016 odhadla, že 3 miliony úmrtí ročně je způsobeno znečištěním ovzduší. Z toho 90 % je z chudých nebo středně bohatých zemí [1]. Australská studie se pokusila kvantifikovat znečištění vzduchu uvnitř domácností při různých činnostech. Bylo prokázáno, že může být znečištění ovzduší 3 krát, při určitých aktivitách až 90 krát, větší než v okolním venkovním prostředí [2].

Ve spojitosti s nákazou COVID-19 a se snahou o mezilidskou distanci byli lidé nuceni zůstat až 90 % svého času uvnitř své domácnosti [3]. Vědci z Harwardu dokonce objevili pozitivní korelaci mezi mírou znečištění vzduchu  $PM_{2.5}$  a počtu zemřelých na nákazu COVID-19 [4]. To může být zapříčiněno horším zdravotním stavem z důvodu špatné kvality vzduchu v místě bydliště, nebo i zvýšením pravděpodobnosti nákazy z důvodu špatně udržované kvality vzduchu.

Z tohoto důvodu je důležité měřit kvalitu vzduchu i v domácnosti, a také informovat veřejnost o rizicích spojených se špatnou kvalitou vzduchu. Při navrhování senzoru pro soukromé využití je důležité hledět na cenu takového zařízení. Při použití levných, a často málo přesných senzorů se musí hledět na jejich limity, přesto však mohou být, při správném použití, velkým přínosem pro zlepšení zdraví veřejnosti [5].

## **Kapitola 2**

### **Struktura práce**

V této práci popíši svůj postup při navrhování senzoru kvality vzduchu. Nejprve jsem v kapitole 1 uvedl úvod do problematiky měření kvality vzduchu v domácnosti. V následující kapitole 3 stanovím své priority z mého průzkumu. V kapitole 4 prozkoumám některé již existující, pokud možno nízko nákladové, senzory kvality vzduchu na trhu. Tyto vybrané senzory pak porovnám se stanovenými prioritami.

Kapitola 5 bude obsahovat návrh senzoru. Nejprve si stanovím, jak by se měl senzor chovat a jaké by měl mít periferie. Následně popíši výběr jednotlivých součástí a fyzické zapojení mezi nimi. V kapitole 6 popíši strukturu programu. Po zrealizování návrhu provedu zkušební provoz, na kterém otestuji funkčnost zařízení. Z analýzy dat se pokusím odhalit nedokonalosti mého návrhu a pokusím se přijít na možnosti jejich opravy.

# Kapitola 3

## Stanovení priorit

### 3.1 Oxid uhličitý a další plyny

Podle paragrafu §11 vyhlášky 268/2009 Sbírky zákonů České republiky o technických požadavcích staveb je ukazatelem kvality vnitřního prostředí  $CO_2$ , jehož koncentrace ve vnitřním vzduchu nesmí překročit hodnotu 1500 ppm. Od této hodnoty již někteří jedinci mohou pociťovat negativní účinky, například bolest hlavy, pálení očí a únava. Více informací o účincích  $CO_2$  naleznete na tabulce 3.1. Při dlouhodobém vystavení tomuto plynu hrozí riziko astmatu nebo kardiovaskulárních onemocnění. V moderní domácnosti je největším producentem právě člověk a vnější faktor [6]. Z tohoto důvodu je důležité měřit oxid uhličitý.

Dalšími důležitými znečišťujícími látkami jsou  $CO$  a  $NO_2$ , které vznikají během hoření. Plynové vařiče, pece, krby a ohniště jsou největšími znečišťovateli v domácnostech [6]. Avšak v dnešních moderních domácnostech se s nimi příliš nesetkáme. Většina bohatší populace má již elektrické sporáky a ohniště využívají spíše k rekreačním účelům. Výjimkou jsou chudší státy, které jsou nejvíce ohroženy špatnou kvalitou vzduchu [1]. Nicméně ve svém prostředí se s těmito plyny jen málo kdy setkám. Tedy pokud bych navrhoval senzor pro chudší státy, měl bych s těmito plyny počítat, v této práci však nebudou moji prioritou.

Účinky $CO_2$ na lidský organismus	
cca 350 ppm	úroveň venkovního prostředí
do 1000 ppm	doporučená úroveň $CO_2$ ve vnitřních prostorách
1200 - 1500 ppm	doporučená maximální úroveň $CO_2$ ve vnitřních prostorách
1000 - 2000 ppm	nastávají příznaky únavy a koncentrace
2000 - 5000 ppm	nastávají možné bolesti hlavy
5000 ppm	maximální možná koncentrace bez zdravotních rizik
> 5000 ppm	nevolnost a zvýšený tep
> 15000 ppm	dýchací potíže
> 40000 ppm	možná ztráta vědomí

Tabulka 3.1. Účinky  $CO_2$  na člověka, převzato z [??].

### 3.2 Suspendované částice

Podle [1] a [2] jsou i suspendované částice ( $PM$ ) důležitým ukazatelem kvality vzduchu.  $PM$  obsahuje pevné i tekuté částice, mohou se lišit velikostí, tvarem i chemickým složením. Nejvíce nás zajímají částice menší než  $10\mu m$ , ty mohou být vdechnuty a mohou napadnout naše srdce a plíce a jsou často spojeny s plicními onemocněními jako je astma a bronchitida [7]. Typicky se rozdělují podle velikostí na částice mezi  $10\mu m$  a  $2,5\mu m$  s označením  $PM_{10}$ , částice menší než  $2,5\mu m$  jsou  $PM_{2,5}$  a částice menší

než  $1\mu\text{m}$ ,  $PM_{10}$ . Největším producentem tohoto znečištění je hoření, stejně jako u  $CO$  a  $NO_2$ , a vaření, při kterém se uvolňují malé částice a vodní páry [7]. Vyjma aktivního vytváření suspendovaných částic jsou důležitým faktorem ovlivňující koncentraci  $PM$  i jiné činnosti člověka, jako je třeba chůze [8]. Člověk může rozvířit již usazené částice, které mohly být jakéhokoliv původu, proto považují měření  $PM$  za jednu ze svých priorit. Podle Českého zákona vyhlášky č. 6/2003 Sb., která stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb, jsou limitní koncentrace  $PM$  prachových částic s převládající velikostí částic o průměru  $10\mu\text{m}$  na  $150\mu\text{g m}^{-3}$  a  $PM$  prachových částic s převládající velikostí částic o průměru  $2,5\mu\text{m}$  na  $80\mu\text{g m}^{-3}$ . Světová zdravotnická organizace doporučuje průměrnou 24 h koncentraci  $PM_{2,5}$  na  $25\mu\text{g m}^{-3}$  a průměrnou roční koncentraci na  $10\mu\text{g m}^{-3}$  [7]. Kvůli škodlivějším účinkům upřednostňují měření  $PM_{2,5}$  nad  $PM_{10}$ .

### 3.3 TVOC, teplota a vlhkost

Další znečišťující plyny, se kterými se můžeme v domácnosti setkat, jsou VOC. Kvůli jejich širokému spektru různých, a v mnoha literaturách rozdílně definovaných, látek se často zavádí pojem TVOC, který označuje právě určité spektrum VOC plynů. V mnoha literaturách se i definice TVOC liší, proto využijí definice podle tabulky 3.2. Některé z TVOC jsou pro náš nos lehce detekovatelné formou zápachu. V domácnosti se mohou generovat téměř ze všeho. Mohou se uvolňovat při vaření, z parfémů i nábytku [9]. TVOC látky se obecně považují za nebezpečné pro lidi. Vysoké koncentrace některých látek mohou způsobit podráždění očí a dýchacích cest, nebo vyvolat jiné alergické reakce [10]. Při dlouhodobém vystavení těmto látkám může zapříčinit zhoršení čichu, některé látky z TVOC jsou karcinogenní nebo nesnesitelné i při normálních úrovních [9]. Proto považují měření TVOC za důležité. Obecně můžeme hodnoty TVOC od 1000 ppb nebo  $3\text{mg m}^{-3}$  považovat za problematické.

Zkratka	Typ. teplota varu ( $^{\circ}\text{C}$ )	Typ. počet molekul uhlíku	Příklad
VVOC	<0 do (50-100)	< $C_6$	Formaldehyd
VOC	(50-100) do (240-260)	$C_6$ do $C_{16}$	Benzen
SVOC	(240-260) do (380-400)	> $C_{16}$	Di-isononyl ftalát
TVOC		Soubor všech předchozích	

**Tabulka 3.2.** Definice TVOC, převzato z [9].

Při vyhodnocování kvality vzduchu se často opomíná na teplotu a vlhkost, nicméně tyto veličiny mají velký a nezanedbatelný vliv na vnímání kvality vzduchu. S rostoucí teplotou a vlhkostí klesá vnímaná kvalita vzduchu při konstantním znečištění a s rostoucím znečištěním klesá vliv teploty a vlhkosti na vnímanou kvalitu vzduchu [11]. To má za následek špatné vnímání kvality vzduchu a následného nuceného větrání, přestože vzduch nemusí být znečištěný. Navíc příliš vysoká vlhkost může vést k tvorbě plísní, které při velké koncentraci mohou ovlivnit zdraví člověka. Z toho důvodu je důležité měřit teplotu i vlhkost pro stanovení kvality vzduchu.

### 3.4 Vlastnosti a funkce senzoru

Tématem funkcionality se zabývají J. A. Robinson et al. v [12]. V této sekci shrnu jejich poznatky, které by mi v této práci mohly pomoci. Ve své práci zkoumá uživatelské zkuše-

nosti s prototypem nízko-nákladového mobilního senzoru kvality ovzduší. Pro zkoumání využívá senzor z projektu CITI-sense<sup>1</sup>, jenž byl jedním ze sponzorů tohoto výzkumu. Zkoumali ve Slovinsku na vzorku 19 uživatelů různého věku a různého dosaženého vzdělání. Uživatelé měli používat zařízení během svých normálních denních rutin. Zařízení bylo konstruované pro měření znečištění venkovního ovzduší, proto jim bylo doporučeno ho nosit s sebou pokaždé, když vyjdou z domácnosti. Uživatelé po té odpovídali na strukturované otázky ohledně uživatelských zkušeností, zpětné vazby na senzor, jeho funkcionality, uživatelské potřeby a doporučení.

Uživatelé byli zprvu pozitivní ohledně testování zařízení. Ale následné zkušenosti s tímto senzorem byli spíše špatné. Mnozí z uživatelů si stěžovali na špatný technický stav zařízení a špatnou uživatelskou přívětivost. Technické potíže, malá kapacita baterie a nestabilní připojení snižovalo jejich motivaci nadále používat zařízení. Mnoho uživatelů konstatovalo, že použití takového senzoru je pro ně nepřínosné, když člověk tráví většinu času uvnitř budov.

Co se senzoru týče měli uživatelé výtky ohledně měřených parametrů, rádi by aby senzor pokryl i spektrum znečištění uvnitř budov. Uživatelé kritizovali senzor za dlouhou stabilizaci při změně prostředí a častou necitlivost senzorů během přechodu do znečištěného prostředí. Další problém byla chybějící signalizace o sbírání dat a úrovně nabití baterie zařízení. Kvalita dat nebyla většinou s uživateli diskutována, i když kvůli potížím s kalibrací senzoru zobrazovaná data ukazovala spíše relativní hodnoty znečištění. Autoři práce pokládají téma k budoucí diskuzi ohledně ukazování numerických dat konečnému uživateli i přes jejich nevypovídající hodnotu.

Uživatelé navrhli, aby výrobce zjednodušil zařízení tak, aby nepotřebovalo uživatelský manuál. Dále chtěli vylepšit zobrazování hodnot, které by se více podobalo webovému rozhraní. Někteří chtěli vidět i jednotlivé koncentrace znečišťovatelů s indikací jejich limitních hodnot. Ocenili by i možnost se podívat do historie hodnot. Celé zařízení by se cenově mělo pohybovat do 100 €.

## 3.5 Závěr kapitoly

V této kapitole jsem prozkoumal metodiku určování kvality vzduchu v domácnosti. Nejprve jsem vypsals typicky měřené veličiny a následně jsou posoudil jejich relevantnost. V posledních částech kapitoly jsem shrnul studii zkoumající uživatelské zkušenosti s prototypem senzoru kvality ovzduší. V následujících bodech shrnu parametry, podle kterých budu v následujících kapitolách hodnotit komerční senzory a navrhopvat svůj vlastní. Tyto parametry jsou získané z průzkumu a ze zadání mé práce.

- Bateriové napájení s nabíjením přes USB
- Měření  $CO_2$  kolem hodnoty 1 500 ppm
- Měření TVOC kolem hodnoty 1 000 ppb
- Měření  $PM_{2,5}$  kolem hodnoty  $50 \mu g m^{-3}$
- Měření teploty a relativní vlhkosti
- Jednoduché ovládání
- Webové rozhraní nebo mobilní aplikace
- Možnost ukládat data na úložiště nebo ukládat data na přenosné médium
- Cena do 2 500,- Kč

<sup>1</sup> <https://co.citi-sense.eu/>

## Kapitola 4

### Průzkum existujících řešení

V této kapitole prozkoumám některé produkty nabízené na trhu, které by mohly vyhovovat mým požadavkům z kapitoly 3. Jednotlivé produkty budu posuzovat podle mých preferencí. Na konci této kapitoly shrnu výsledky. Na základě těchto výsledků budu pokračovat s návrhem svého vlastního řešení. Pokud naleznu senzor, který vyhovuje mým požadavkům, pak bych neměl důvod k tvorbě vlastního řešení, nebo bych se alespoň od něj mohl poučit a vytvořit dokonalejší zařízení.

#### 4.1 Senzor VINDRIKTNING

Tento výrobek je nejvhodnější pro nejméně náročné zákazníky. Za cenu 299,-Kč nabízí pouze měření částic  $PM_{2,5}$ . Signalizaci naměřených hodnot provádí pomocí změny barvy signalizačního proužku. Senzor má pouze možnost napájení pomocí USB-C [13]. Výrobek je navržený, aby pracoval v kombinaci s čističkou vzduchu FÖRNUFTIG s manuální obsluhou. Výrobek nemá možnost se připojit k ostatním zařízením.

Největší výhodou je jeho jednoduchost, malé rozměry a cenová dostupnost. Oproti ostatním sensorům zaostává v množství měřených parametrů a schopnosti signalizace aktuální měřené hodnoty. Díky jeho ceně a dostupnosti je vhodný pro uživatele, který se zajímá o problematiku kvality vzduchu v domácnosti, ale nechce do jejího měření příliš investovat.



**Obrázek 4.1.** Senzor VINDRIKTNING, převzato z [13].

## 4.2 Senzor kvality vzduchu od Frient a od Aqara

O něco praktičtější je senzor od Frientu. Tento senzor měří TVOC, teplotu a vlhkost. Napájí se z AA baterií, výrobce deklaruje životnost baterie na 2 roky s posíláním dat každých 5 minut. Má možnost připojení k ostatním zařízením pomocí protokolu Zigbee 3.0 [14]. Výrobce nabízí velkou škálu různých senzorů se svým speciálním zaměřením jako je třeba detektor kouře. Kvůli tomu je nutné dokoupit k senzoru hub, i když uživatel chce měřit pouze jedním senzorem. Výrobek nemůže zobrazit naměřená data jinak než přes bezdrátový přenos. Přibližná cena výrobku je 1100,-Kč, avšak při pořízení nového hubu může cena kompletu vzrůst až na 3000,-Kč. Senzor však spolupracuje s běžně používanými huby jako je třeba Homey, výrobce ale negarantuje fungování všech funkcí u některých hubů. Pro uživatele již používající podporované huby je tento produkt vhodnější než pro uživatele, kteří se začínají zajímat o automatizovanou domácnost, a nebo používají nepodporované huby.

Podobným výrobkem je senzor TVOC od Aqara. Může měřit stejné parametry ovzduší, navíc ale může zobrazit naměřené hodnoty na E-ink displej. Je napájený ze dvou CR2450 baterií. Výrobce uvádí výdrž baterie na 1 rok ve stand-by režimu. Výrobce navíc nabízí možnost zautomatizování domácnosti pomocí jednoduchého If-Then programování při připojení senzoru k hubu a akčnímu členu [15]. Jeho cena se spohybuje kolem 1 000,- Kč.



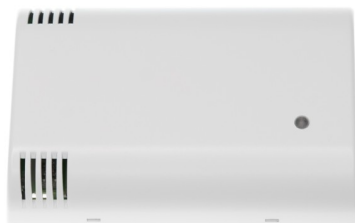
**Obrázek 4.2.** Senzor od Frient [16].



**Obrázek 4.3.** Senzor od AQARA [17]

### 4.3 Senzor RLW-THC od Unipi technology

Tento senzor může oproti předchozím dvěma senzorům měřit i koncentraci  $CO_2$ , barometrický tlak a okolní osvětlení. Podporuje i různé komunikační protokoly (LoRa, WiFi, RS485). Současné hodnoty  $CO_2$  signalizuje pomocí RGB LED. Napájení je řešeno buďto připojením 24 V na svorkovnici a nebo pomocí USB. Senzor má své vlastní webové uživatelské rozhraní a může posílat data do nadřazených MaR systémů. Jeho cena je 6 649,-Kč, je však možné koupit levnější varianty, které mají méně funkcí [18]. Výrobek je navržen jako stacionární měřicí stanice. Kvůli jeho složitosti, ceně a nemožnosti zobrazovat všechna měřená data na displej, je zařízení vhodnější pro řízení klimatizace kancelářských prostor, škol a výrobních hal než pro domácí použití.



Obrázek 4.4. Senzor od Unipi [18].

### 4.4 Souhrn průzkumu

Na trhu je velké množství různých řešení problematiky měření kvalitu ovzduší v domácnosti. Liší se převážně množstvím a typem měřených parametrů, složitostí použití a způsobu zobrazení dat. Z vybraných výrobků uvedených v tabulce 4.1 není ani jeden, který odpovídal stanoveným požadavkům z kapitoly 3. Tedy mohu navrhnout nové řešení, které by vyhovovalo mým požadavkům.

Souhrn důležitých parametrů zkoumaných senzorů				
Výrobce	Měřené veličiny	Napájení	Prezentace dat	Cena
Ikea	$PM_{2,5}$	USB-C	LED	299,-Kč
Frient	TVOC, teplota, RH	2x AA baterie	Zigbee 3.0	1 100,-Kč
Aqara	TVOC, teplota, RH	2x CR2450	Zigbee 3.0, E-ink displej	1000,-Kč
Unipi	$CO_2$ , TVOC, teplota, RH, bar. tlak, osvětlení	24 V nebo USB	LED, WiFi, LoRa, RS485	6 649,-Kč

Tabulka 4.1. Souhrn zkoumaných senzorů

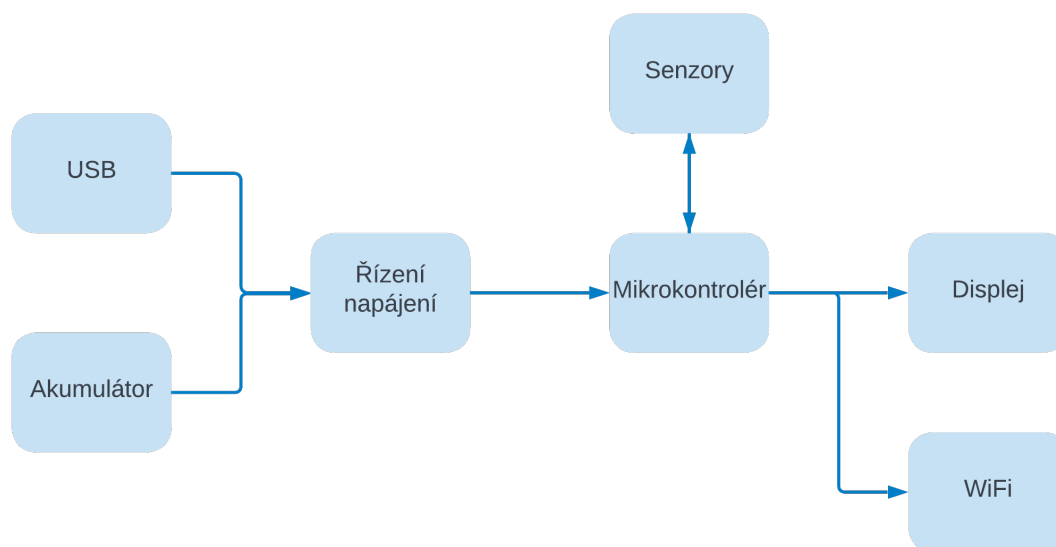


# Kapitola 5

## Návrh konceptu

V této kapitole nejprve navrhu koncept řešení, ve kterém popíši funkci navrhovaného zařízení. Následně rozdělím celé zařízení do dílčích částí, které budu jednotlivě řešit. Vyberu jednotlivé komponenty, ze kterých postavím prototyp na nepájivém poli.

Podle parametrů stanovených zadání této práce a v kapitole 3 by se mělo jednat o zařízení s jednočipovým mikrokontrolérem a sadou senzorů měřící typicky sledované veličiny, tedy  $CO_2$ , TVOC,  $PM_{2,5}$ , teplotu a vlhkost. Interval měření by se měl pohybovat mezi 30 sekundami a 5 minutami. Změřená data by měla být zobrazována na displej. Zařízení by mělo být napájeno z akumulátoru, který bude nabíjen skrze USB. Senzor by měl mít možnost připojit k WiFi, pomocí které by posílal data na vzdálené úložiště, ze kterého by si mohl uživatel zobrazit historický průběh dat. Pomocí této funkce budu moct vyhodnotit fungování senzoru v kapitole 7. Zařízení by mělo být schopno mít své webové rozhraní, které by sloužilo k ovládání zařízení a ke zobrazení aktuálních změřených hodnot pomocí mobilního telefonu nebo počítače. Celkový koncept rozložím do jednotlivých bloků nakreslených v obrázku 5.1.



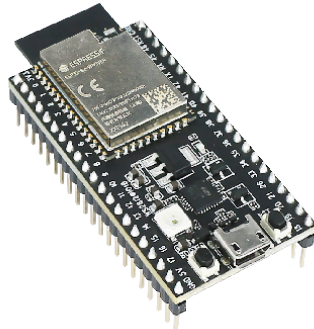
**Obrázek 5.1.** Blokový diagram navrhovaného zařízení, vytvořeno pomocí Lucidchart<sup>1</sup>

### 5.1 Mikrokontrolér

MCU je řídicím prvkem celého zařízení, proto při jeho výběru musí být kladen největší důraz. Měl by zvládnout komunikaci s připojenými zařízeními, tedy by měl mít běžně používané periferie jako jsou SPI,  $I^2C$ , UART a ADC. Mohu si vybrat jeden z nejpoužívanějších mikrokontrolerů rodiny AVR, STM32 a ESP32. Mým požadavkům nejvíce

<sup>1</sup> <https://www.lucidchart.com/>

vyhovuje právě ESP32, díky jeho schopnosti komunikovat přes 2,4 GHz WiFi, nemusím tedy řešit oddělený WiFi modul. Konkrétně si vybírám čip ESP32-S2. Pro vytvoření prototypu používám vývojovou desku Saola-1, viz obrázek 5.2, s modulem WROOM-1.



**Obrázek 5.2.** ESP32-Saola-1, převzato z [19].

Technické parametry ESP32-S2-WROOM-1-Saola-1 [19] [20] a [21]:

- Xtensa® jednojádrový 32-bit LX7 mikroprocesor s kmitočtem do 240 MHz
- ULP koprocessor
- WiFi podle standardu IEEE 802.11
- konektor k externí anténě
- 128 kB ROM
- 320 KB SRAM
- 4 MB externí SPI flash
- dva třinácti-bitové ADC
- dva osmi-bitové DAC
- 4x SPI
- 2x  $I^2C$
- 2x UART
- 36 programovatelných GPIO, 3,3 V
- USB-UART převodník
- SGM2212 napěťový regulátor na 3,3 V
- napájení 3,3 V nebo 5 V pomocí regulátoru
- Cena cca 250,- Kč

## 5.2 Senzory

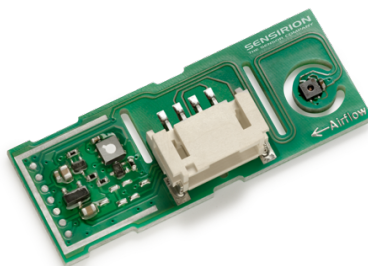
### 5.2.1 Modul senzorů SVM30

Dalšími důležitými komponenty jsou senzory, které budou měřit důležité veličiny stanovené v kapitole 3. Pro měření  $CO_2$  jsou nejvhodnější senzory NDIR, které fungují na principu absorpce infračerveného záření určité vlnové délky zkoumanými molekuly [22]. Bohužel je však tento typ senzorů poměrně drahý, lehce by mohl pokrýt polovinu mého rozpočtu stanoveného v kapitole 3. Z tohoto důvodu jsem se pokusil najít alternativní cestu. Ve svém hledání jsem našel senzor SGP30<sup>2</sup> od výrobce Sensirion, který využívá ke snímání plynů technologii MOx. Ta funguje na principu změny vodivosti materiálu při jeho interakci s materiálem, kde vlastnosti tohoto materiálu

<sup>2</sup> <https://sensirion.com/products/catalog/SGP30/>

ovlivňují snímaný plyn [22]. Tento senzor však neměří přímo  $CO_2$ , ale měří koncentraci  $H_2$  a ethanolu. Z těchto plynů následně odhadne ekvivalentní hodnotu oxidu uhličitého. V tomto textu ji budu označovat jako  $eCO_2$  [23]. Otázkou věrohodnosti  $eCO_2$  snímaných nejenom senzorem SGP30 se zabývá studie z institutu Kurta Shwaba [24]. V této práci autoři porovnávali přesné NDIR senzory s levnějšími senzory měřící právě  $eCO_2$ . Změřené hodnoty senzorem SGP30 sice nebyly stejné, nicméně koncentrací kolem 1 000 ppm se od referenčních hodnot příliš nelišili. Tyto hodnoty jsou právě pro můj senzor nejdůležitější, zhruba v těchto koncentracích se právě nachází hranice pro vyhodnocení nevyhovujícího vzduchu viz tabulka 3.1. S přibývajícím počtem lidí v místnosti relevantnost dat od testovaných senzorů  $eCO_2$  zvyšuje. Tato studie dokazuje relevantnost dat pro použití signalizace nevyhovujících vnitřních podmínek s prahem v pásmu kolem 1 000 ppm.

Pro svůj senzor  $eCO_2$  si tedy vybírám právě SGP30, tento senzor navíc dokáže i odhadnout hodnotu TVOC. Ve své práci ho používám v součásti modulu SVM30, který navíc zvládne měřit teplotu a relativní vlhkost vzduchu pomocí čipu SHTC1<sup>3</sup>. Pro správnou komunikaci mezi MCU a SVM30 potřebuji převodník logických úrovní. Opět využívám již hotový modul s tranzistorem BSS138<sup>4</sup>.



**Obrázek 5.3.** SVM30, převzato z [25].

Technické parametry SVM30 [25]:

- senzor  $H_2$ , ethanolu, RH a teploty
- odhad  $eCO_2$  a TVOC
- automatická a vlhkostní kompenzace MOx senzorů
- napájení 5 V
- $I^2C$
- konektor JST-PH 2mm, 4 piny
- Cena cca 600,- Kč

### ■ 5.2.2 Senzor GP2Y1010

Jako senzor pro měření  $PM_{2,5}$  si vybírám senzor GP2Y1010AU0F kvůli jeho nízké pořizovací ceně. Senzor funguje na principu odražení infračerveného světla vycházejícího z LED do fotodiody/fototranzistoru. Výstupní napětí senzoru není nulové i při nulové koncentraci  $PM_{2,5}$ , kvůli zbloudilému světlu, které se odrazilo od vnitřku senzoru. Navíc

<sup>3</sup> <https://sensirion.com/products/catalog/SHTC1/>

<sup>4</sup> <https://www.laskakit.cz/4-kanaly-obousmerny-prevodnik-logicky-urovni-5v-a-3-3v>

toto napětí není konstantní, kvůli měnícímu se nánosu prachu na čočkách. Budu s tím muset tedy v kapitole 6 počítat [26].

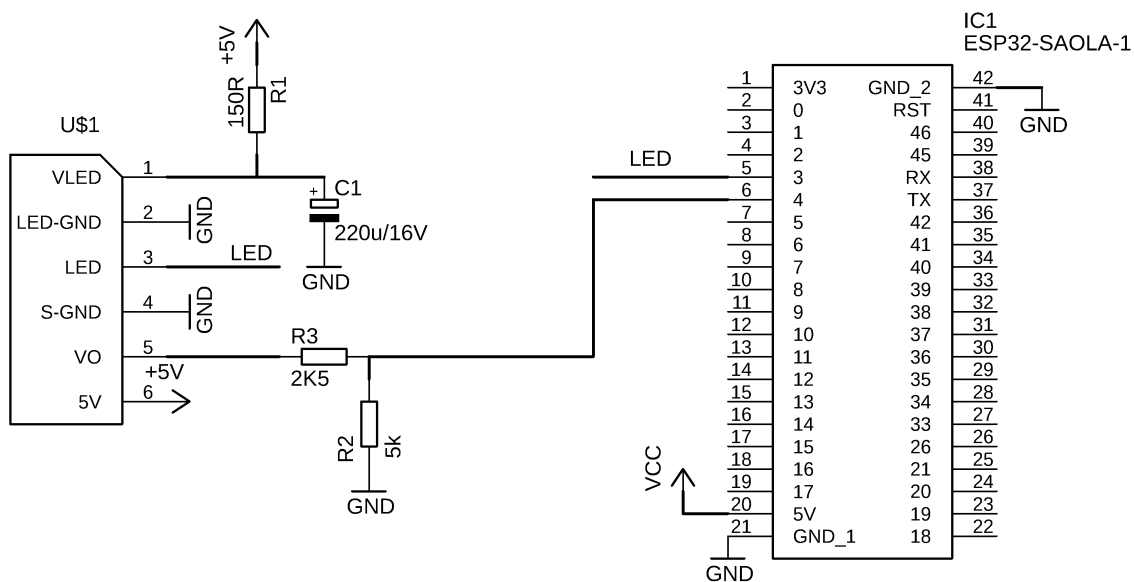


**Obrázek 5.4.** GP2Y1010, převzato z [27].

Technické parametry GP2Y1010 [28]:

- Senzor  $PM_{2,5}$
- Typická citlivost  $0,5 V/100\mu g m^{-3}$
- Přesnost 30 %
- Napájecí napětí 5 V
- Cena cca 200,- Kč

Výstupní napětí musím měřit pomocí ADC na mikrokontroléru. Čtený signál může dosahovat teoreticky až napájecího napětí GP2Y1010, což je problém pro GPIO ESP32. Výstupní signál proto podělím děličem napětí s dělicím poměrem 2/3. Dále senzor potřebuje rezistor s kondenzátorem pro správné časování LED. Hodnoty jsou viz obrázek 5.5.



**Obrázek 5.5.** Principiální zapojení GP2Y1010.

## 5.3 Displej

Při výběru displeje jsem se primárně rozhodoval podle energetické náročnosti. Vhodný mi přišel E-ink displej, kvůli jeho minimální spotřebě když se neaktualizuje. Největší nevýhoda těchto displejů je jejich pomalý přepis, v této aplikaci to však není podstatné. Konkrétně jsem vybral displej 2.9inch E-Paper od Waveshare<sup>5</sup>.

Technické parametry 2.9inch E-Paper [29]:

- Úhlopříčka 2,9 palců
- Rozlišení 296 x 128 pixelů
- 3 barvy (bílá, černá a červená)
- Doba přepisu 15 s
- Typ. spotřeba přepisu 30 mW
- Napájecí napětí 3,3 i 5 V
- SPI
- Cena cca 500,- Kč

## 5.4 Napájení

Z priorit stanovených v kapitole 3 potřebuji navrhnout napájení z akumulátoru, s možností dobíjení přes USB. Navíc potřebuji napětí z této baterie stabilizovat na 5 V a 3,3 V. Za baterii používám GeB Li-ion článek model 18650.

Technické parametry GeB Li-ion článek 18650 [30]:

- Kapacita 3 000 mAh
- Jmenovité napětí 3,7 V
- minimální napětí 2,75 V, maximální 4,2 V
- Maximální nabíjecí proud 1,5 A
- Maximální vybíjecí proud 1,5 A
- Maximální špičkový vybíjecí proud 9 A
- Cena cca 130,- Kč

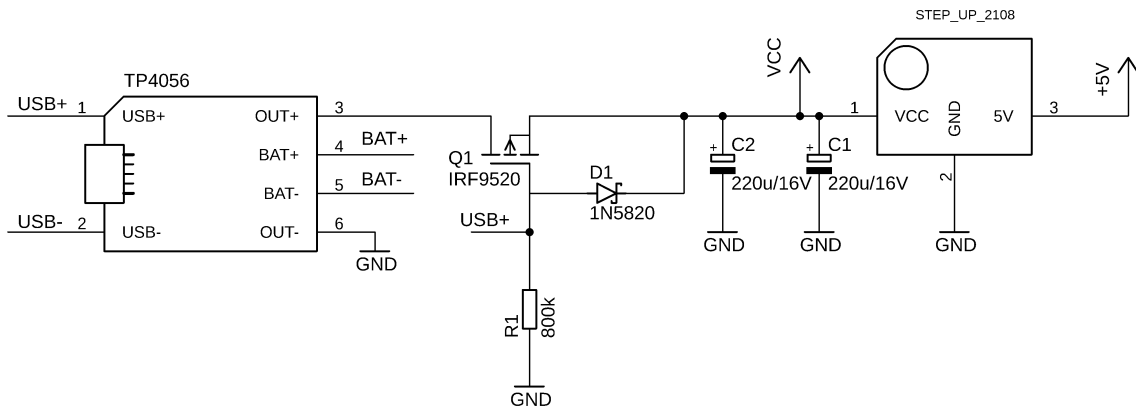
O nabíjení a ochranu tohoto článku se mi stará modul TP4056<sup>6</sup>. Nabíjení na něm řídí čip FS8205A, který přestane nabíjet při desetině naprogramovaného proudu, tedy kolem 100 mA. Jelikož neodpojuje článek od zátěže, může se stát, že zátěž bude odebírat proud právě kolem 100 mA a baterie se nikdy nepřestane nabíjet. Proto jsem přidal spínání s MOSFET IRF9520PBF, který odpojí zátěž od článku při připojení napětí na USB a zátěž přepojí na právě zdroj z USB.

O stabilizování napětí z baterie na 3,3 V se mi postará regulátor SGM2212, který je vestavěný v modulu Saola 1 viz sekce mikrokontrolér. Měl by být schopný vyregulovat vstupní napětí od 2,7 V až do 20 V [31]. Pro regulaci 5 V používám modul se step-up konvertorem ME2108<sup>7</sup>. Kvůli jeho neschopnosti dodat dostatečný proud při nižším napětí baterie, jsem přidal dva elektrolitické kondenzátory na vstup modulu, které by měly vykompenzovat proudové špičky.

<sup>5</sup> <https://www.waveshare.com/>

<sup>6</sup> <https://www.laskakit.cz/nabijacka-li-ion-clanku-tp4056-s-ochranou-microusb/>

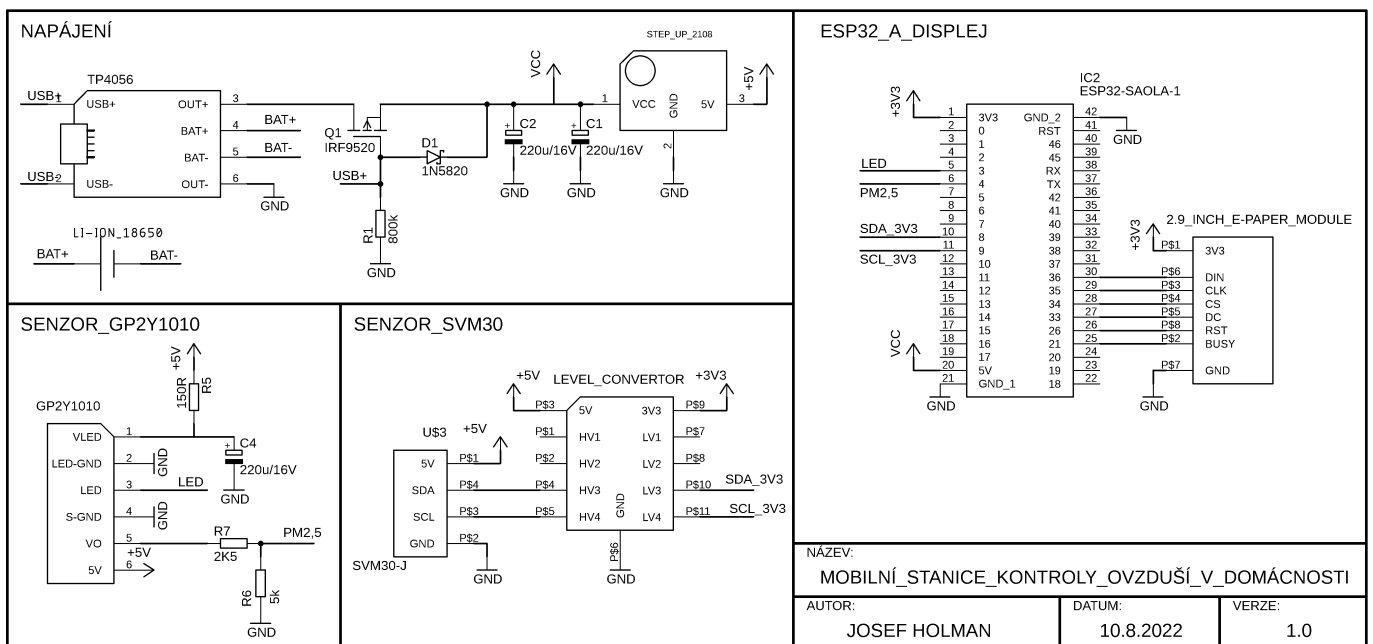
<sup>7</sup> <https://www.laskakit.cz/step-up-boost-menic-s-me2108-5v-480ma/>



Obrázek 5.6. Zapojení napájení.

## 5.5 Závěr

V této kapitole jsem navrhl koncept mého řešení, podle kterého jsem se řídil při výběru součástek. Následně jsem rozdělil celý problém návrhu na dílčí, jednodušší úlohy. V úlohách jsem stručně shrnul problematiku kterou jsem řešil a následně jsem popsal nalezené řešení. Výsledkem spojení jednotlivých řešení reprezentuje schéma na obrázku 5.7 a fotka v příloze C.



Obrázek 5.7. Schéma zapojení prototypu.

# Kapitola 6

## Návrh softwaru

V této kapitole popíši strukturu svého programu. Nejprve však začnu popisem vývojového prostředí, ve kterém jsem program vyvíjel. Po té vystihnu základní myšlenku celého programu. Následně vypíši nejdůležitější části programu, u kterých okomentuji jejich vlastnosti.

### 6.1 Vývojové prostředí

Pro programování MCU jsem si zvolil vývojové Arduino IDE<sup>1</sup>. Jeho největší výhodou jsou komunitou připravené a veřejně dostupné knihovny i s návody, které vývojářům velice zjednoduší práci. V tomto vývojovém prostředí se využívá programovací jazyk Arduino, který je založen na bázi jazyků C a C++. Ve své práci dále ještě využívám programovací jazyky HTML a JavaScript pro webové rozhraní. Jelikož v Arduino IDE je nepraktické při vývoji webových stránek, využíval jsem místo něj vývojové prostředí Visual Studio Code. Následně jsem přesunul funkční kód k zbytku programu v prostředí Arduino IDE.

<i>WiFi.h</i>	připojení k lokální síti
<i>HTTPClient.h</i>	posílání HTTP požadavků
<i>WebServer.h</i>	vytvoření serveru
<i>Preferences.h</i>	využití flash paměti na modulu Saola 1
<i>ArduinoJson.h</i>	formátování dat do JSON
<i>time.h</i>	zpráva času
<i>GxEPD.h</i>	komunikace s displejem
<i>svm30.h</i>	komunikace s SVM30

**Tabulka 6.1.** Použité knihovny

### 6.2 Popis programu

Celý program je rozdělen do dvou částí. První část se zabývá správou WiFi a komunikace s připojeným klientem. Druhá část se zabývá měřením požadovaných parametrů a jejich signalizací na displej. Kvůli nemožnosti komunikace s klientem při aktualizaci displeje jsem musel vytvořit pro obě části oddělený podprogram pomocí FreeRTOS<sup>2</sup>. To mi dovolilo, aby oba programy mohly pracovat souběžně ve skoro stejný čas. Oba podprogramy mají stejnou prioritu, tedy oba mají možnost využívat výpočetní výkon mikroprocesoru stejnou dobu, pokud potřebují.

Nevýhodou takového řešení je, že vývojář musí řídit přístup k proměnné, která je sdílená mezi podprogramy, pomocí takzvaného semaforu, kde ostatní podprogramy musí

<sup>1</sup> <https://www.arduino.cc/en/software>

<sup>2</sup> <https://www.freertos.org>

čekat, až ten podprogram, který má zrovna k proměnné přístup, dokončí její přepis. Nicméně pokud dovolím přepisování proměnné pouze jednomu podprogramu, ostatní podprogramy ji budou moci jenom číst a tedy by neměla nastat chyba, kdy dva podprogramy se budou snažit změnit proměnnou. Ve své práci proto těchto semaforů nevyužívám. Další problém tohoto řešení nastává během časově závislých operací. Proto musím v časově závislých sekcích programu zakázat přerušení od ostatních podprogramů.

### 6.3 Měření veličin

Tato sekce programu se stará o měření a zobrazování změřených veličin na displeji. Pro měření a uložení veličin jsem vytvořil třídu *AQdata*, která se nachází v souboru *AQdata.h*. Pomocí metody *getValues()* sbírám změřená data jednou za 30 sekund, nejprve sbírám data z SVM30 modulu pomocí knihovny *svm30.h*:

```
void AQdata::getValues(){
    //Čtení hodnot z SVM30
    struct svm_values v;
    svm.GetValues(&v);

    //Přenesení hodnot do public proměnných
    co2 = v.CO2eq;
    tvoc = v.TVOC;
    hum = (float) v.humidity/1000;
    temp= (float) v.temperature/1000;
    ...
}
```

Po té měřím  $PM_{2,5}$  částice podle [26]. Tato část je časově důležitá, proto celé měření je chráněno vůči přerušení od druhého podprogramu. Jednou za 5 minut aktualizují zobrazená data na displeji.

```
void AQdata::getValues(){
    ...
    //getting voltage
    digitalWrite(ledPin,LOW);
    delayMicroseconds(measureTime);
    voltageAnalog = analogRead(readPin);
    delayMicroseconds(stabilizationTime);
    digitalWrite(ledPin,HIGH);
    vTaskDelay(10);
    ...
}
```

Největší problém je s neznámou hodnotou napětí (*dustVoltageOffset*) při nulové koncentraci suspendovaných částic. Při řešení tohoto problému jsem se řídil informacemi od výrobce. Očekávám, že měřené hodnoty budou dostatečně variabilní, ukládám proto nejnižší změřenou hodnotu napětí na senzoru do paměti a považuji ji právě za *dustVoltageOffset*. Pokud nějaká hodnota bude nižší, pak se stává novou hodnotou *dustVoltageOffset*. Jednou za 500 změřených vzorků aktualizují *dustVoltageOffset* nejnižší změřenou hodnotou, tak abych předešel zvýšení napětí při nulové koncentraci  $PM_{2,5}$ . Při zapnutí senzoru prvních 50 vzorků aktualizuje častěji.

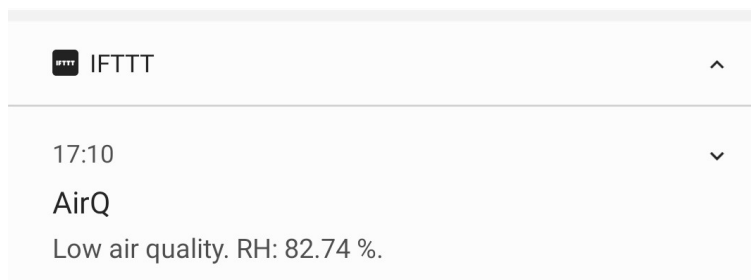


Při výpočtu hodnoty  $PM_{2,5}$  vyházím z typické citlivosti dané výrobcem, viz technické specifikace GP2Y1010, tu však udává s přesností 30 %, proto je nutné počítat s touto nepřesností. Pro přesnější měření by bylo vhodné sensor zkalibrovat vůči přesnějšímu senzoru, nicméně to v této práci nedělám. Počítám s tím, že tento prototyp má sloužit jenom k indikaci špatné kvality ovzduší, ne k přesnému měření všech parametrů, proto si myslím, že tento sensor dokáže i s tak velkou nepřesností upozornit na zhoršení kvality vzduchu.

Pokud je zařízení připojeno k WiFi, pokusí se odeslat data na cloud a zkontroluje naměřené hodnoty, pokud změřené hodnoty přesáhnou meze, pošle informace o kritické veličině aplikaci IFTTT<sup>3</sup>. Ta pomocí mnou vytvořeného appletu pošle upozornění na můj mobil, viz obrázek 6.1. Uživatel si může vytvořit svůj vlastní applet. Identifikační informace o appletu musí následně zadat do nastavení zařízení pomocí webového rozhraní.

```
void sendNotification(String val1,String val2,String val3){
    HTTPClient http;
    String notification =
        "http://maker.ifttt.com/trigger/"+notifiName+"/with/key/"
        +webHooksKey+"?value1="+val1+"&value2="+val2+"&value3="+val3;

    http.begin(notification.c_str());
    ...
}
```



**Obrázek 6.1.** Mobilní notifikace od IFTTT

Podobným způsobem odesílám data i na cloud, který představuje soubor Google tabulek. Přijatý HTTP GET požadavek zpracuje můj skript, ten převzatá data přepíše do požadovaných sloupců. V nastavení zařízení lze zadat cílené ID souboru a ID skriptu. Použitý Google skript cloudu uvádím pouze zde:

```
function doGet(e) {
    var doc = SpreadsheetApp.openById(e.parameter.cloudID);
    var page = doc.getSheetByName(e.parameter.cloudPage);
    var time = Date();
    page.appendRow([e.parameter.timeStamp,time,e.parameter.eCO2,
        e.parameter.TVOC,e.parameter.temp,e.parameter.hum,
        e.parameter.dust]);
}
```

<sup>3</sup> <https://ifttt.com/>

## 6.4 Wifi rozhraní

Tato část kódu se zaměřuje na udržování připojení k WiFi a na komunikaci vytvořeného serveru s uživatelem. Ta funguje na principu předdefinovaných odezev na HTTP požadavky v *setup()* a obsluhy klienta v podprogramu příkazem *server.handleClient()*. Pokud senzor ztratí připojení k WiFi, pokusí se několikrát opět připojit, během připojování jsou pozastavena měření a aktualizace displeje. Pokud se senzor po nějaké době nepodaří připojit k WiFi, přepne se do režimu přístupového bodu. Vizualní podobu webového rozhraní naleznete v příloze B.

```
server.on("/", SendWebsiteMain);
server.on("/PAGE_MAIN", SendWebsiteMain);
server.on("/AirQ_data", sendDataToServer);
server.on("/PAGE_SETTINGS", SendWebsiteSettings);
server.on("/wifi", wifiUpdate);
server.on("/hotspot", hotspotUpdate);
server.on("/default", defaultSet);
server.on("/cloud", CloudSettingUpdate);
server.on("/notifi", notifiUpdate);
server.on("/PAGE_INFO", SendWebsiteInfo);
server.begin();
```

Na požadavek */PAGE\_* zašle server požadovanou html stránku uloženou v souboru *PAGES.h*). Na požadavky */wifi /hotspot /default /cloud* přečte server příchozí JSON soubor a uloží daná data do flash paměti pomocí *preferences.h*. Na dotaz */AirQ\_data* pošle senzor poslední změřená data v JSON formátu uživateli.

Posílání dat obsahující informace o nastavení senzoru je obstaráváno pomocí programovacího jazyka Javascript, viz příklad níže. Po odkliknutí na tlačítko odeslat se přečtou data z formuláře a vytvoří se z nich JSON dokument, který je následně poslán na senzor metodou POST.

```
var WIFI_send = document.getElementsByName("WIFI_send");
var WIFI_FORM = document.querySelector("#WIFI_FORM");

// Čtení z formuláře WIFI
WIFI_send[0].addEventListener("click", (e) =>{
    e.preventDefault();

    const formData = new FormData(WIFI_FORM);
    const data = [...formData.values()];

    const SSID_login = {
        name: data[0],
        password: data[1],
        connect: data[2]
    };

    jsonLogin = JSON.stringify(SSID_login);

    //Posílání dat na esp
    var xhr = new XMLHttpRequest();
```

```
//Čekání na odpověď
xhr.onreadystatechange = function(){
    if(xhr.readyState == 4 && xhr.status ==200){
        console.log(xhr.responseText);
    }
}
xhr.open("POST","wifi",true);
xhr.setRequestHeader("Content-Type","application/wifi");
xhr.send(jsonLogin);
});
```

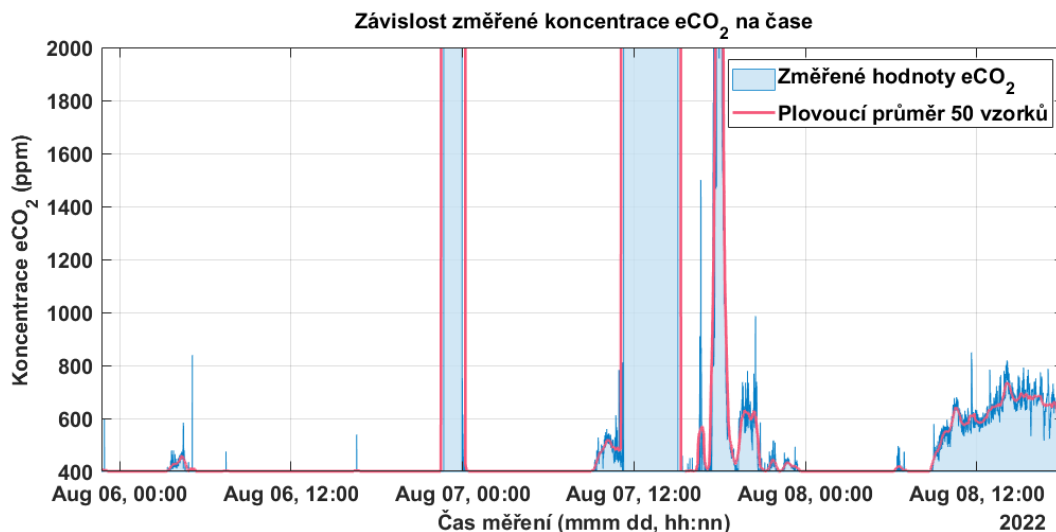
# Kapitola 7

## Testování zařízení

V této kapitole nejprve popíšu podmínky, za kterých testovací provoz byl prováděn. Následně uvedu a okomentuji naměřená data. Na konci uvedu zkušenosti, problémy a možné řešení vyskytujících se problémů získaných z testování a vyvíjení tohoto senzoru. Zhodnotím také svoji úspěšnost při řešení zadaného problému.

### 7.1 Změřená data

Prototyp byl testován v domácnosti 4kk o ploše  $70\text{ m}^2$ , většinu času se nacházel v místnosti o ploše  $24\text{ m}^2$ . Budova, ve které se domácnost nacházela, byla více než 100 let stará. Stropy místnosti byly ve výšce 3 metrů. Zdi budovy byly převážně z kamene. Výhodou tohoto senzoru je jeho mobilita, proto byl přenášen do místností s potenciálním největším výskytem osob (obývací místnost a ložnice). Senzor byl vždy umístěn zhruba ve výšce 1 m nad zemí. V jedné místnosti mohlo být v jednu chvíli maximálně 6 osob a minimálně žádná. U pozorované rodiny bylo zvykem časté větrání. Testovací provoz začal ve 22:43 dne 5. 8. 2022 a skončil v 18:11 dne 8. 8. 2022. Dne 24. 7. 2022 vypukl lesní požár<sup>1</sup> zhruba 130 km od místa testovacího provozu. Během doby, kdy senzor měřil, mohlo být stále ovzduší ovlivněno tímto požárem. Senzor by mohl zaznamenávat zvýšené hodnoty  $PM_{2,5}$ . Změřená data jsou reprezentována obrázky 7.1 až 7.4, ty byly vytvořeny pomocí programu MATLAB<sup>2</sup>.

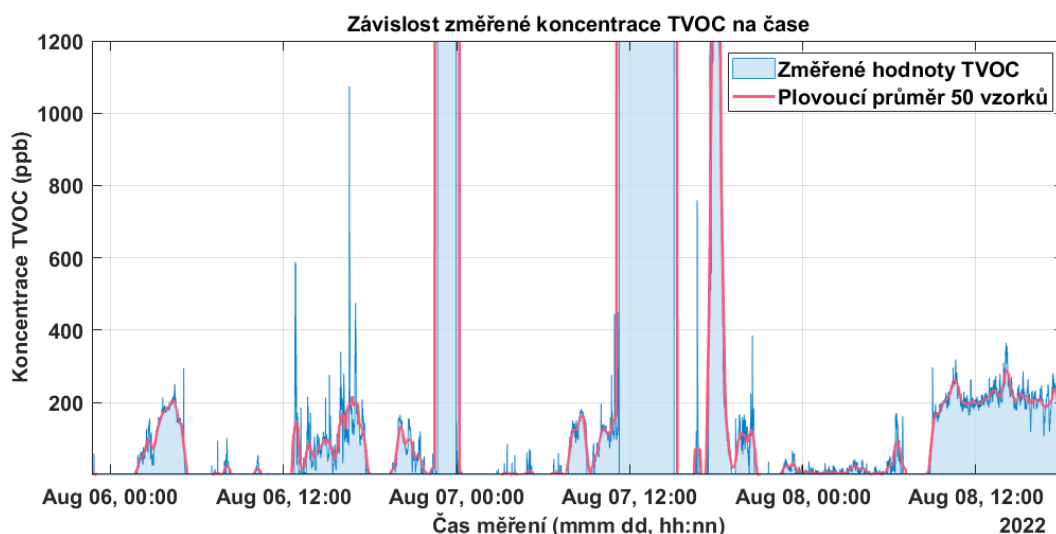


Na prvním obrázku jsou vidět změřená data  $eCO_2$ . Na první pohled si jde všimnout dvou širokých výstupků, které přesahují horní okraj grafu a saturují na hodnotě

<sup>1</sup> <https://cesky.radio.cz/ceske-svycarsko-v-plamenech-znicene-domy-evakuace-zapach-koure-po-cele-zemi-8757021>

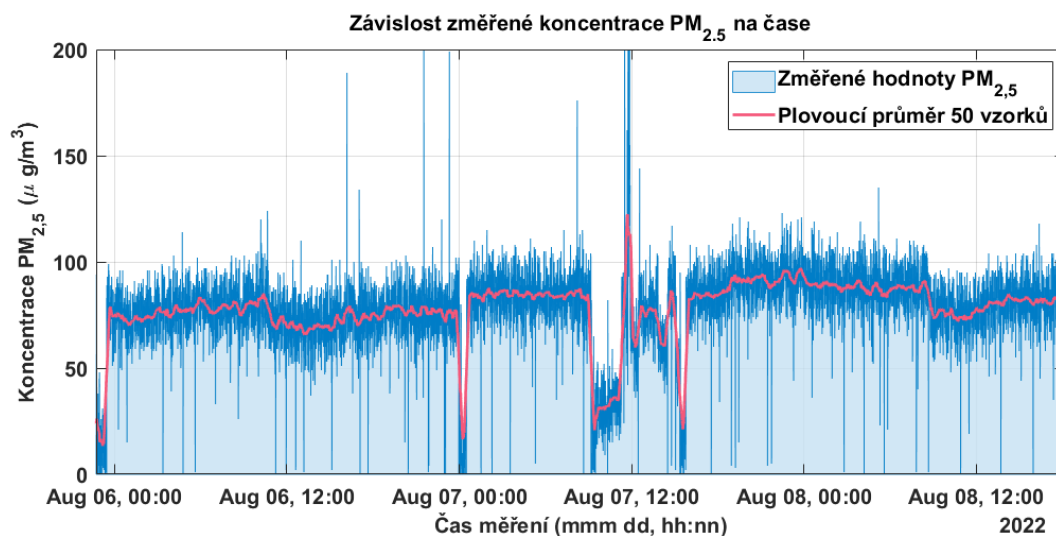
<sup>2</sup> <https://www.mathworks.com/>

57330 ppm. Tyto hodnoty nejsou reálné, byly pravděpodobně zapříčiněny selháním čipu SGP30. Usuzuji tak, protože podobné výstupky ve stejný čas se nacházejí i na obrázku 7.2, který zobrazuje změřené hodnoty TVOC, které tento čip měří také. Při prvním výstupku jsem senzor manuálně restartoval. Během zaregistrování druhého objevení tohoto úkazu jsem se nevměšoval. Po určité časové době přestal celý modul SVM30 komunikovat s MCU, to usuzuji podle nulových hodnot v datech, které měl posílat právě SVM30. Senzor jsem pro to opět restartoval, abych mohl pokračovat v měření. Tento fenomén se během měření již neobjevil, přestože ho jedna špička v obou zmíněných grafech svoji velikostí dosti připomíná. Nejedná se o něj však z důvodu malých a nesaturovaných hodnot. Maximální změřené hodnoty byly  $eCO_2$  7734 ppm a TVOC 4949 ppb, které jsou podstatně menší než u zmíněného fenoménu.



**Obrázek 7.2.** Změřené hodnoty TVOC

Zbylé hodnoty v těchto grafech můžeme označit za normální. Téměř nikdy nepřesahovaly doporučené meze. Z grafů můžeme vypořadovat, že spolu hodnoty TVOC a  $eCO_2$  většinu času korelují, nicméně můžeme vidět i vzrůst jedné měřené hodnoty během toho, co ta druhá zůstává na své minimální hodnotě.

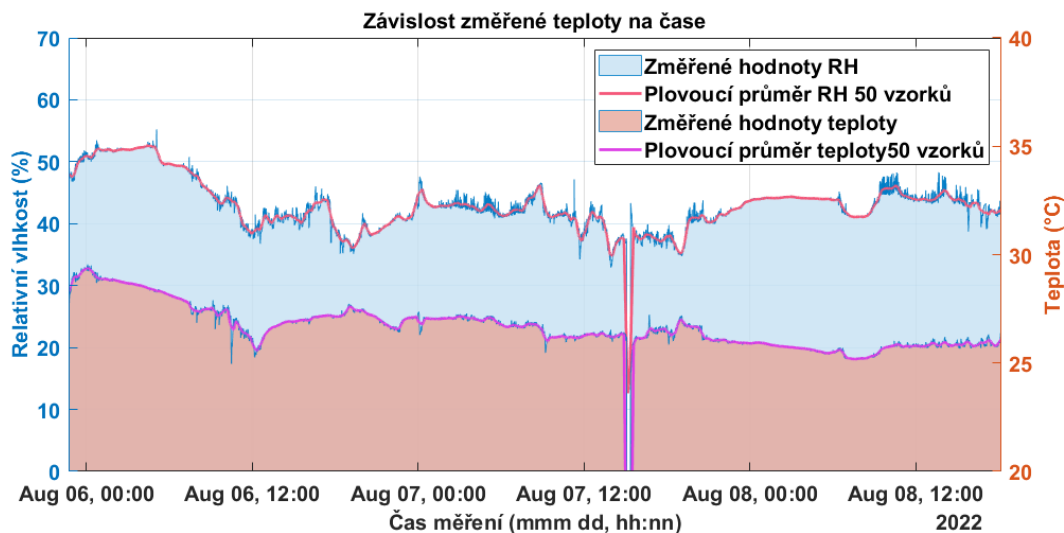


**Obrázek 7.3.** Změřené hodnoty  $PM_{2,5}$

V obrázku 7.3 můžeme vidět graf změřených hodnot  $PM_{2,5}$ . Oproti předchozím grafům je průběh měřené veličiny dosti variabilní. To má za příčinu nízká kvalita senzoru GP2Y1010, přesto se však dá z grafu vyzorovat časový průběh měřené veličiny. Tomu dosti napomáhá křivka plovoucího průměru. Hodnoty na této křivce se většinu času pohybují kolem hodnoty  $80 \mu g m^{-3}$ , což je hraniční hodnota přijatelnosti podle českého zákona, avšak podle světové zdravotnické organizace je to nevyhovující hodnota, viz kapitola 3.

V průběhu také můžeme vidět několik prudkých propadů měřené veličiny, to může být zapříčiněno buďto akcí uživatelů, nebo chybou senzoru. Mohu však vyloučit otevření oken uživateli. Ta byla totiž otevřena po většinu času měření. Naopak by bylo vhodné uvažovat, že okna byla právě v tomto časovém úseku zavřena, tedy by se mohlo jednat o znečištění vnitřního ovzduší vnějším zdrojem.

V následujícím grafu jsou vyobrazeny změřené hodnoty teploty a vlhkosti. Na rozdíl od předchozích grafů jsou tyto hodnoty mnohem pomaleji se měnící. To může být zapříčiněno charakterem budovy a malé variability venkovních podmínek. Nejvýznamnější částí těchto grafů je chvíle, kdy SVM30 přestal komunikovat s MCU a na cloud byly poslány nulové hodnoty.



**Obrázek 7.4.** Změřené hodnoty relativní vlhkosti a teploty

## 7.2 Zkušenosti s používáním senzoru

Během testování nebyl objeven žádný problém vycházející z programu senzoru. Internetové rozhraní i měření veličin fungovalo bez větších komplikací. Důvodem pro to je větší množství mnou investovaného času do odladění programu. Během vývoje jsem musel přestavět několikrát architekturu celého programu. Příkladem může být implementace FreeRTOS do již funkčního programu kvůli zrychlení komunikace klienta s vytvořeným serverem.

Opakem toho byl hardware senzoru, kdy chyba v počátečním návrhu se mohla projevit až při konečném testování senzoru. Jedním z problémů byla malá anténa na modulu Saola1. Zařízení nebylo schopné se v určitých částech domácnosti připojit k lokální síti. To bylo zapříčiněno charakterem budovy, kde bylo testování prováděno. Bylo pro to používáno pouze v částech místností, kde se zvládlo připojit. Avšak největším problémem tohoto návrhu je napájecí část obvodu.

Kvůli vysoké energetické náročnosti WiFi je čas, kdy zařízení může pracovat na baterii, značně zkrácen. Tento problém však může být řešen uvedením MCU do režimu spánku, když jeho výpočetní výkon není potřebný. Bohužel to však není slučitelné s mým řešením signalizace změřených hodnot na mobilní telefon pomocí webového rozhraní a posíláním upozornění kritických hodnot do notifikací pomocí IFTTT. Bylo by však vhodné při dalším vývoji tohoto zařízení přidat pro uživatele možnost uvést toto zařízení do úsporného režimu.

Dalším problémem, který jsem se snažil vyřešit při návrhu, byly odběrové proudové špičky, které vyžaduje MCU při používání WiFi. Pokud zdroj nedokáže dodat dostatečný proud, tedy pokud je napájecí napětí VCC malé nebo nestálé, pak se MCU restartuje. Řešením toho problému bylo přidání oddělovacích kondenzátorů. Nicméně toto řešení není dokonalé. Možnosti pro zlepšení jsou buď nahrazení současných kondenzátorů většími a vhodnějšími kondenzátory, nebo předělání napájecí části obvodu. Místo mého řešení odpojení zátěže od baterky by bylo vhodné použít čip MCP73871<sup>3</sup>, který zvládne obstarat nabíjení i odpojení od zátěže sám. Vhodné by také bylo přidat i napěťový stabilizátor na 3,3 V, který zvládne stabilizovat proudové špičky při WiFi komunikaci, stabilizátor na modulu je pro tuto funkci nevhodný. Díky modulovému konceptu prototypu, by však úprava měla být jednoduchá.

<sup>3</sup> <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP73871-Data-Sheet-20002090E.pdf>

# Kapitola 8

## Závěr

V této práci jsem popsal svůj postup při návrhu mobilního senzoru kvality ovzduší v domácnosti. Nejprve jsem objasnil svoji motivaci řešit tuto problematiku. Poté jsem uvedl několik typických veličin, které slouží pro stanovení kvality vzduchu. U nich jsem zkoumal jejich relevanci pro můj senzor. Mimo měřené veličiny jsem také hledal vhodný koncept senzoru. Na základě stanovených priorit jsem následně hodnotil několik vybraných existujících komerčních řešení. Kvůli tomu, že jsem nenašel řešení, které by vyhovovalo mým požadavkům, jsem měl důvod pro pokračování ve svém návrhu.

V části návrhu senzoru jsem nejprve popsal celý koncept mnou navrhovaného senzoru. Při jeho stanovení jsem vycházel z mých priorit. Následně jsem celý problém návrhu prototypu rozdělil do menších částí, u kterých jsem následně popsal mé hardwarové řešení. Při popisu softwaru jsem nejprve uvedl použité vývojové prostředí a knihovny. Dále popsal nejdůležitější části programu.

Celé zařízení jsem následně otestoval v provozu. V pozorované domácnosti se během tří dnů pohybovalo celkem 6 lidí. Osoby žijící v domácnosti byly zvyklé udržovat v domácnosti vysokou kvalitu vzduchu. Cílem pozorování bylo odhalit nedokonalosti a chyby návrhu. Během pozorování se dvakrát vyskytla chyba spojená s čipem SGP30, příčina této chyby nebyla odhalena. Dále byla pozorována vysoká energetická náročnost používání WiFi a vysoké špičkové proudy, které nezvládla napájecí část obvodu dodat při nízkém napětí baterie. Tento problém byl nedokonale vyřešen před zahájením pozorování přidáním velkých oddělovacích kondenzátorů a častějším nabíjením.

Pro odstranění vysoké spotřeby prototypu by bylo vhodné přidat možnost úsporného energetického režimu, který by uživatel využíval, když by se nepotřeboval připojovat k webovému rozhraní senzoru. Pro odstranění nestability napájení senzoru by bylo vhodné nahradit současný regulátor na 3,3 V vhodnějším regulátorem, který by zvládl pokrýt i proudové špičky při WiFi komunikaci.



## Literatura

- [1] Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. *Clean Air Journal* [online]. World Health Organization, 2016, **26**(2), 6 [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://cleanairjournal.org.za/article/view/7001/8376>
- [2] HE, Congrong et al. Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses. *Atmospheric Environment* [online]. 2004, **38**(21), 3405-3415 [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135223100400250X>
- [3] MUMTAZ, Rafia et al. Internet of Things (IoT) Based Indoor Air Quality Sensing and Predictive Analytic-A COVID-19 Perspective. *Electronics* [online]. 2021, **10**(2) [cit. 2022-08-01]. ISSN 2079-9292. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2079-9292/10/2/184/htm#B2-electronics-10-00184>
- [4] WU, Xiao et al. Air pollution and COVID-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis. *Science advances* [online]. American Association for the Advancement of Science, 2020, **6**(45), eabd4049 [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://www.science.org/doi/full/10.1126/sciadv.abd4049>
- [5] CLEMENTS, Andrea et al. Low-Cost Air Quality Monitoring Tools: From Research to Practice (A Workshop Summary). *Sensors* [online]. 2017, **17**(11) [cit. 2022-08-02]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/11/2478>
- [6] ALBERTS, W. Michael. Indoor air pollution: No, no2, co, and co2. *Journal of allergy and clinical immunology* [online]. Elsevier, 1994, **94**(2), 289–295 [cit. 2022-08-03]. Dostupné z: [https://www.jacionline.org/article/S0091-6749\(54\)00063-2/fulltext](https://www.jacionline.org/article/S0091-6749(54)00063-2/fulltext)
- [7] ZHANG, Ling et al. Indoor Particulate Matter in Urban Households: Sources, Pathways, Characteristics, Health Effects, and Exposure Mitigation. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 2021, **18**(21) [cit. 2022-08-03]. ISSN 1660-4601. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/21/11055>
- [8] YOU, Siming a Man Pun WAN. Experimental investigation and modelling of human-walking-induced particle resuspension. *Indoor and Built Environment* [online]. London: SAGE Publications Sage UK, 2015, **24**(4), 564-576 [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: [https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1420326X14526424?casa\\_token=vtcC65gjEZEAAAAA:Fr75uAxYIndxFASqWiqper1vNwi4VLUYXt\\_RT4RTwFJBG1F4h1G\\_6zGTmOSPUSbJEwGQXk6lWeLfaQ](https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1420326X14526424?casa_token=vtcC65gjEZEAAAAA:Fr75uAxYIndxFASqWiqper1vNwi4VLUYXt_RT4RTwFJBG1F4h1G_6zGTmOSPUSbJEwGQXk6lWeLfaQ)
- [9] MEYER, Christian. Orview of TVOC and indoor air quality. *Catsensors* [online]. Integrated Device Technology, 2018 [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: [https://www.catsensors.com/media/Decentlab/Productos/IAM\\_interior/Overview\\_TVOC\\_and\\_IAQ.pdf](https://www.catsensors.com/media/Decentlab/Productos/IAM_interior/Overview_TVOC_and_IAQ.pdf)

- [10] VOJÁČEK, Antonín. Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech - 10. TVOC. *Automatizace.hw* [online]. 2020 [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-10-tvoc.html>
- [11] FANG, Lei et al. Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality. *Indoor air* [online]. Wiley Online Library, 1998, **8**(2), 80–90 [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1600-0668.1998.t01-2-00003.x>
- [12] ROBINSON, Johanna et al. End-User Feedback on a Low-Cost Portable Air Quality Sensor System-Are We There Yet?. *Sensors* [online]. 2018, **18**(11) [cit. 2022-08-06]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/11/3768>
- [13] VINDRIKTNING: Senzor kvality vzduchu. *IKEA* [online]. Delft: Inter IKEA Systems, c1999-2022 [cit. 2022-08-06]. Dostupné z: <https://www.ikea.com/cz/cs/p/vindriktning-senzor-kvality-vzduchu-80515910/>
- [14] Air Quality Sensor: Zigbee monitor of VOC levels, humidity, and temperature. *Frient* [online]. Aarhus: frient [cit. 2021-11-09]. Dostupné z: <https://frient.com/products/air-quality-sensor/>
- [15] TVOC Air Quality Monitor. *Aqara* [online]. Lumi United Technology, c2022 [cit. 2021-11-09]. Dostupné z: <https://www.aqara.com/eu/product/tvoc-air-quality-monitor>
- [16] Frient Air Quality Sensor. In: *Amazon* [online]. [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://www.amazon.co.uk/20204000-Wireless-Humidity-Temperature-Battery-Powered/dp/B08WXT6166>
- [17] AQARA TVOC Air Quality Monitor. In: *Alza* [online]. [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: [https://www.alza.cz//zigbee-senzor-kvality-ovzdusi-aqara-tvoc-air-quality-monitor-d6519580.htm?kampan=srovname\\_cz\\_smart\\_smart-home\\_detektory-cidla-a-senzory\\_aqraa\\_21023&utm\\_source=srovname\\_cz&utm\\_medium=product&utm\\_campaign=srovname\\_cz\\_smart\\_smart-home\\_detektory-cidla-a-senzory\\_aqraa\\_21023&srovnameczclid=db3918e8-9ee4-11ec-93ad-ac1f6b0076ba](https://www.alza.cz//zigbee-senzor-kvality-ovzdusi-aqara-tvoc-air-quality-monitor-d6519580.htm?kampan=srovname_cz_smart_smart-home_detektory-cidla-a-senzory_aqraa_21023&utm_source=srovname_cz&utm_medium=product&utm_campaign=srovname_cz_smart_smart-home_detektory-cidla-a-senzory_aqraa_21023&srovnameczclid=db3918e8-9ee4-11ec-93ad-ac1f6b0076ba)
- [18] UNIPI TECHNOLOGY. Interiérový senzor kvality vzduchu. *Unipi technology* [online]. Brno: Faster CZ, c2014-2022 [cit. 2021-11-09]. Dostupné z: <https://www.unipi.technology/cs/interierovy-senzor-kvality-vzduchu-p299>
- [19] ESP32-S2-Saola-1. *Espressif* [online]. Šanghaj: ESPRESSIF SYSTEMS, c2016 - 2022 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32s2/hw-reference/esp32s2/user-guide-saola-1-v1.2.html>
- [20] ESP32-S2 Family Datasheet. *Espressif* [online]. Version 1.3. Šanghaj: Espressif Systems, c2021 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s2\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s2_datasheet_en.pdf)
- [21] ESP32-S2-WROOM-1. *Espressif* [online]. Verze 1.3. Šanghaj: ESPRESSIF SYSTEMS, c2022 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s2-wroom\\_esp32-s2-wroom-i\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s2-wroom_esp32-s2-wroom-i_datasheet_en.pdf)
- [22] VOJÁČEK, Antonín. Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech - 2. Jak ji měřit?. *Automatizace.hw* [online]. Praha, 2019 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-2-jak-ji-merit.html>

- [23] *Datasheet SGP30* [online]. sensirion, 2020 [cit. 2022-08-09]. Dostupné z: [https://sensirion.com/media/documents/984E0DD5/61644B8B/Sensirion\\_Gas\\_Sensors\\_Datasheet\\_SGP\\_30.pdf](https://sensirion.com/media/documents/984E0DD5/61644B8B/Sensirion_Gas_Sensors_Datasheet_SGP_30.pdf)
- [24] ZOSEL, Jens a A. VOGEL. *Algorithm evaluation for e(CO<sub>2</sub>)-tracking (AEFFECT)* [online]. In: . Waldheim: Kurt Schwabe Institut, 2019, s. 1-31 [cit. 2022-08-09]. Dostupné z: <https://www.renesas.com/eu/en/document/rep/ksi-report-algorithm-evaluation-eco2-tracking?language=en>
- [25] SVM30: Multi-gas, humidity and temperature module. *Sensirion* [online]. SENSIRION 2019 [cit. 2022-08-09]. Dostupné z: <https://sensirion.com/products/catalog/SVM30/>
- [26] Application note of Sharp dust sensor GP2Y1010AU0F. *Sharp Global* [online]. Sharp [cit. 2022-08-09]. Dostupné z: [https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au\\_appl\\_e.pdf](https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au_appl_e.pdf)
- [27] Optický senzor kvality ovzduší GP2Y1010AU0F. *Drátek* [online]. ECLIPSERA [cit. 2022-08-09]. Dostupné z: [https://dratek.cz/arduino/1126-opticky-senzor-kvality-ovzduši-gp2y1010au0f.html?gclid=CjwKCAjwi8iXBhBeEiwAKbUofaz919suPg07ErhLQnSEYQh161hfA2E75X0Lvw-kg54ZI3f1-tUnwRoC\\_GgQAvD\\_BwE](https://dratek.cz/arduino/1126-opticky-senzor-kvality-ovzduši-gp2y1010au0f.html?gclid=CjwKCAjwi8iXBhBeEiwAKbUofaz919suPg07ErhLQnSEYQh161hfA2E75X0Lvw-kg54ZI3f1-tUnwRoC_GgQAvD_BwE)
- [28] SHARP. GP2Y1010AU0F Datasheet. *Sharp Global* [online]. [cit. 2022-08-09]. Dostupné z: [http://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au\\_e.pdf](http://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au_e.pdf)
- [29] 2.9inch e-Paper Module (B) Manual. *Waveshare* [online]. Waveshare Electronics [cit. 2022-08-09]. Dostupné z: [https://www.waveshare.com/wiki/2.9inch\\_e\\_Paper\\_Module\\_\(B\)\\_Manual](https://www.waveshare.com/wiki/2.9inch_e_Paper_Module_(B)_Manual)
- [30] Li-ion Cylindrical Battery Specification. *Laskakit* [online]. General Electronics Technology, 2018 [cit. 2022-08-10]. Dostupné z: [https://www.laskakit.cz/user/related\\_files/geb\\_18650\\_3\\_7v\\_3000mah\\_-\\_datasheet.pdf](https://www.laskakit.cz/user/related_files/geb_18650_3_7v_3000mah_-_datasheet.pdf)
- [31] SGM2212 Datasheet. *SGMICRO* [online]. SG Micro, 2022 [cit. 2022-08-10]. Dostupné z: <http://www.sg-micro.com/uploads/soft/20220506/1651829970.pdf>



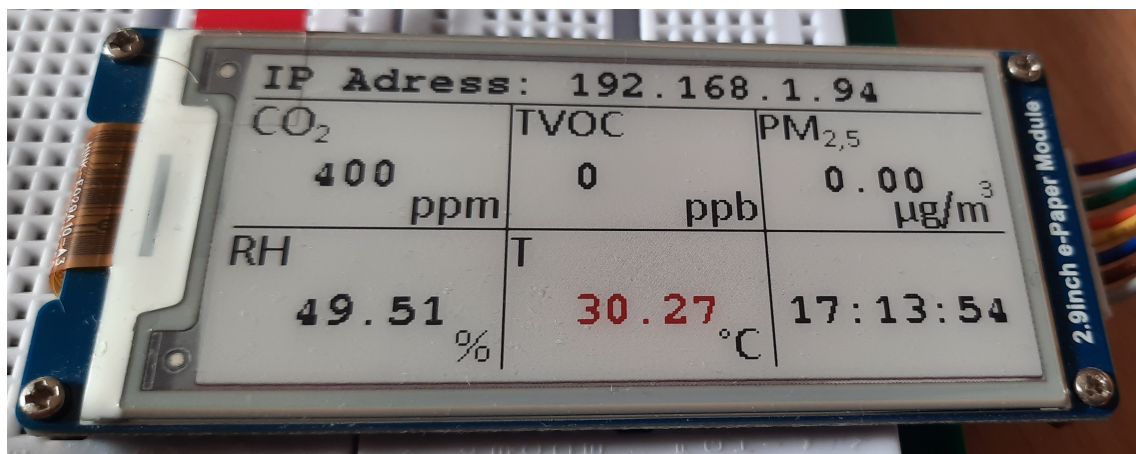
# Příloha A

## Zkratky

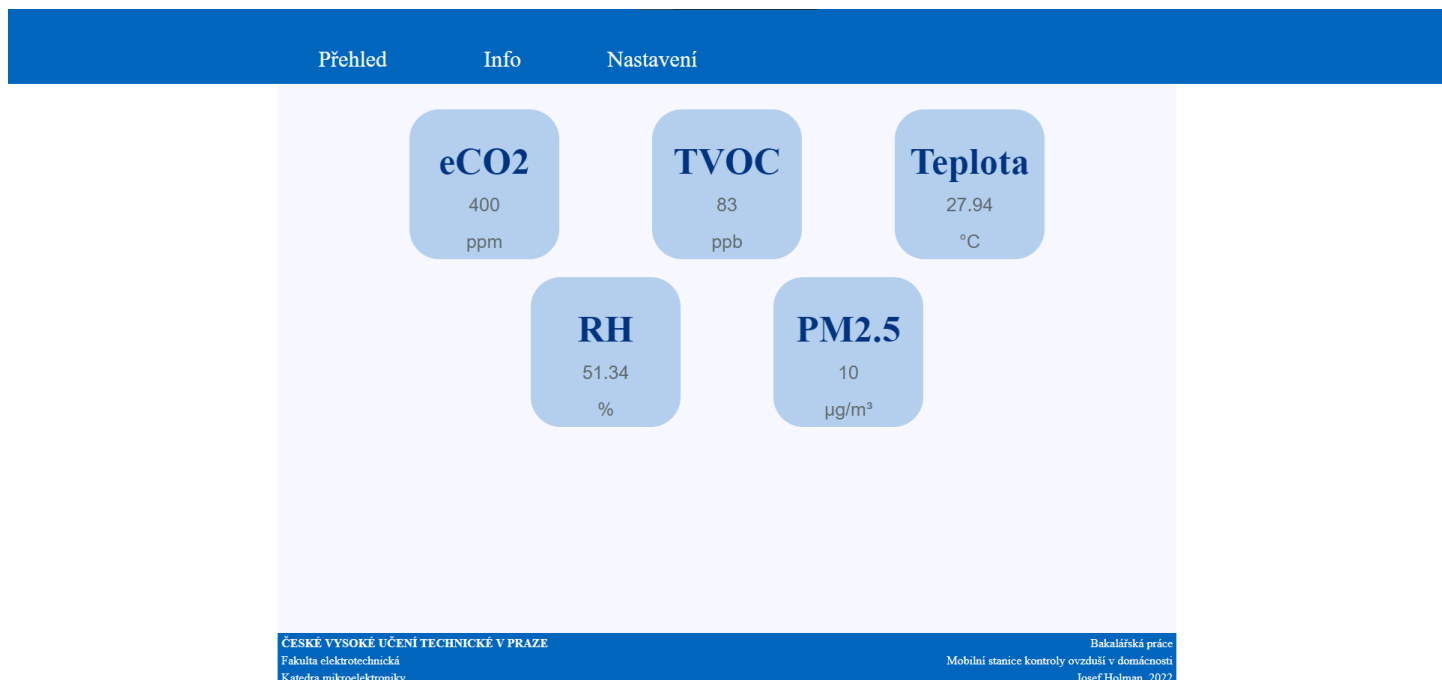
$PM_{2,5}$	■ Suspendované částice menší než 2,5 $\mu m$
$CO_2$	■ Oxid uhličitý
$CO$	■ Oxid uhelnatý
$NO_2$	■ Oxid dusičitý
$PM$	■ Suspendované částice
$PM_{10}$	■ Suspendované částice, které mají velikost mezi 2,5 $\mu m$ a 10 $\mu m$
$PM_1$	■ Suspendované částice menší než 1 $\mu m$
VOC	■ Těkavé organické látky
VVOC	■ Hodně těkavé organické látky
SVOC	■ Částečně těkavé organické látky
TVOC	■ Označuje sumu VOC, SVOC a VVOC
USB	■ Univerzální sériová sběrnice
E-ink	■ Elektronický papír
LoRa	■ Long-Range
WiFi	■ Bezdrátová síť
RS485	■ Sériová linka
LED	■ Light Emitting Diode
MaR	■ Měření a regulace
RH	■ Relativní vlhkost
MCU	■ Mikrokontrolér
SPI	■ Sériové periferní rozhraní
ROM	■ Read Only Memory
SRAM	■ Static Random Access Memory
$I^2C$	■ Inter-integrated circuit
UART	■ Univerzální asynchronní přijímač-vysílač
ADC	■ Analog to Digital Converter
DAC	■ Digital to Analog Converter
GPIO	■ Univerzální vstupní/výstupní pin
NDIR	■ Nedisperzivní infračervený
MOx	■ Metal Oxide
$eCO_2$	■ Ekvivalentní hodnota oxidu uhličitého
$H_2$	■ Vodík
MOSFET	■ Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

# Příloha B

## Uživatelské rozhraní



Obrázek B.1. Zobrazení hodnot na displeji



Obrázek B.2. Snímek úvodní stránky

### Popis zařízení

Tento výrobek slouží k monitorování kvality ovzduší v domácnosti. Byl vytvořen jako součást bakalářské práce zadané Českým vysokým učení v Praze, fakultou elektrotechnickou, katedrou mikroelektroniky. Tento výrobek je pouze prototypem, tedy se u jeho provozu mohou vyskytnout komplikace. Prototyp se napájí pomocí Li-ion akumulátoru, který je jeho součástí. Ten se může nabíjet připojením USB konektoru k nabíjecímu modulu. Během nabíjení je senzor odpojen od baterie. Je tedy bezpečné baterku nabíjet.

### Nastavení WiFi připojení

Senzor má dva režimy funkce. Základní režim je funkce přístupového bodu. Dovolí uživateli se připojit k WiFi síti poskytovanou právě senzorem. Uživatel si zde může zobrazit data nebo nastavit zařízení. Pro to, aby uživatel využíval funkci posílání dat na cloud a posílání notifikací, musí nejprve nastavit připojení k jeho lokální síti. V záložce **Nastavení** zadá uživatel jméno a heslo k připojení k síti do prvního formuláře. Následně zaškrtně políčko **Připojit se k WiFi** a stiskne tlačítko **Odeslat nastavení WiFi**. Heslo k lokální síti musí být alespoň 8 znaků dlouhé. V případě nevyplnění hesla senzor očekává, že lokální síť je bez hesla.

Uživateli se doporučuje využívat připojení k lokální síti. Je ale důležité si po připojení k WiFi nastavit heslo a název přístupového bodu, pro případ ztráty signálu k lokální síti. To uživatel nastaví v záložce **Nastavení** vyplněním formuláře **Nastavení hotspotu**. Zde uživatel nemusí již zaškrtnout políčko pro zapnutí, či nezapínání hotspotu. Očekává se, že uživatel nebude potřebovat zapnout režim přístupového bodu pokud má přístup k webovému rozhraní pomocí lokální sítě.

### Nastavení posílání cloudu

Pro nastavení cloudu musí mít uživatel založený soubor tabulky na svém google účtu. Údaje o tomto souboru vyplní uživatel do formuláře **Nastavení cloudu** v záložce **Nastavení**. Do kolony **Jméno listu** zadá uživatel název konkrétního listu ve vytvořeném souboru tabulek. Do kolony **ID google tabulek** zadá uživatel identifikační text založeného souboru. Ten se dá vyčíst z internetové adresy tohoto souboru viz vzor níže. Pro využívání zápisu si musí uživatel vytvořit google skript, který by zapisoval přijatá data, nebo může využít skriptu vytvořeného autorem tohoto zařízení. Do kolony by potom zadal ID viz text níže.

ID skriptu: AKfycbwB8YvYnRRojITXC\_P99d4dhX7orKK23aJ-mA4wPPKLZfK9YBzn7In7qh6dvY84GXYTA

Vzor ID tabulek: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Jn2yoMafhzlLPdg9i7ACLzfOQyS4CVwxAwgL8w0Gpg/edit#gid=0>

### Nastavení notifikace

Pro zprovoznění notifikací na mobilní telefon si uživatel musí vytvořit applet v aplikaci [IFTTT](#). Jako podmínku IF si uživatel vybere aplikaci Webhooks. Z ní si vybere možnost přijetí HTTP požadavku. Pak zadá jím zvolené jméno eventu a klikne na tlačítko vytvoření triggeru, to zadá i do formuláře ve webovém rozhraní senzoru v záložce **Nastavení** do políčka **Jméno notifikace**. Dále při vytváření appletu si zvolí akci Then that aplikaci notifikace. Tu si uživatel může navrhnout podle sebe. Senzor posílá tři hodnoty. Value1 je název měřené veličiny, Value2 je její změněná hodnota a Value3 je její jednotka. Pro zprovoznění této funkce už zbývá jen zadat klíč aplikace Webhooks. Ten uživatel najde na [této stránce](#) v záložce dokumentace. Ten uživatel zadá ve formuláři senzoru do kolony Webhooks klíč.

**Obrázek B.3.** Snímek informační stránky

#### Nastavení WiFi

Jméno lokální sítě:   
 Heslo k připojení k lokální síti:   
 Připojit se k wifi:

#### Nastavení hotspotu

Jméno hotspotu:   
 Heslo hotspotu:

#### Nastavení cloudu

ID google tabulek:   
 Jméno listu:   
 ID apps skriptu:

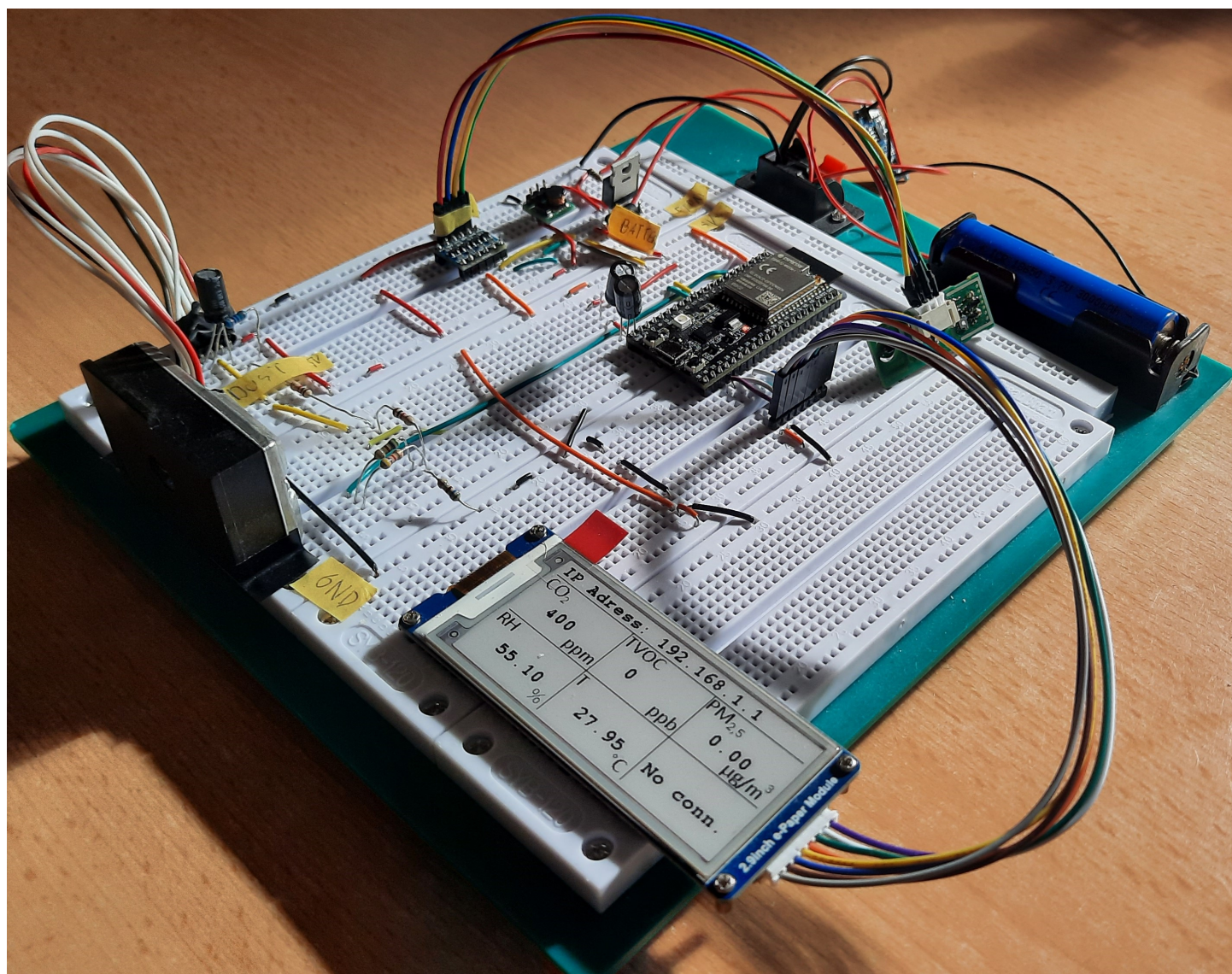
#### Nastavení notifikace

Jméno notifikace:   
 Webhooks klíč:

**Obrázek B.4.** Snímek stránky nastavení

## Příloha C

### Podoba prototypu



Obrázek C.5. Podoba prototypu