



**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**F3**

**Fakulta elektrotechnická  
Katedra počítačů**

**Bakalářská práce**

# **Senzor kvality ovzduší v domácnosti**

**Leoš Řeháček**

**Leden 2021**

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

**Studijní program: Softwarové inženýrství a technologie**







# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Řeháček** Jméno: **Leoš** Osobní číslo: **466869**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra počítačů**  
Studijní program: **Softwarové inženýrství a technologie**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Senzor kvality ovzduší v domácnosti**

Název bakalářské práce anglicky:

**Household air quality sensor**

Pokyny pro vypracování:

- Prozkoumejte možná existující řešení senzorů kvality ovzduší pro domácnost.
- Navrhněte a sestrojte centrální systém pro sběr dat z podružných monitorovacích jednotek, který bude zajišťovat statistické zpracování a zobrazení dat na webovém serveru.
- Naprogramujte webové stránky pro zobrazení naměřených dat a analýz.
- Navrhněte a sestrojte monitorovací jednotku pro sběr dat ze senzorů (např. teplota, vlhkost, CO<sub>2</sub>, eventuálně další). Tato jednotka bude zobrazovat aktuální data na displeji a bude odesílat data do centrálního systému.
- Porovnejte dosažené parametry navrženého systému s alespoň dvěma komerčními produkty z bodu a) Porovnejte přesnost měření, rozsahy měření, počet sledovaných veličin, subjektivní dojem z formy zobrazení a interpretace dat měření.

Seznam doporučené literatury:

- 1) A. Martinez, The Ultimate IFTTT Guide: Use The Web's Most Powerful Tool Like A Pro, ASIN: B00FK1X1YQ
- 2) O. Kvas, How To Smart Home: A Step by Step Guide for Smart Homes & Building Automation, ASIN: B071QWTVB1
- 3) [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)
- 4) [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_hardware\\_design\\_guidelines\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_hardware_design_guidelines_en.pdf)

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: **14.02.2020** Termín odevzdání bakalářské práce: **05.01.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

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

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 tímto poděkoval Ing. Vladimíru Janíčkovi, Ph.D. za odborné vedení, čas a vytrvalou pomoc, kterou mi v průběhu zpracovávání bakalářské práce věnoval.

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 5. 1. 2021

.....

## Abstrakt / Abstract

Cílem této práce bylo navrhnout a sestavit zařízení monitorující kvalitu ovzduší v domácnosti za využití senzorů a ESP32. Toto zařízení je tvořeno dvěma jednotkami, které spolu komunikují prostřednictvím Wi-Fi. Naměřená data jsou dostupná přes webový server pomocí webové aplikace psané v Angularu.

**Klíčová slova:** chytrá domácnost, ovzduší, CO<sub>2</sub>, teplota, vlhkost, tlak, ESP32, Angular, Arduino

Goal of this work was to develop and construct household air quality sensor using sensors and ESP32. This device consists of two units that communicate with each other via Wi-Fi. The measured data are available via a web server using a web application written in Angular.

**Keywords:** smart home, air, CO<sub>2</sub>, temperature, humidity, pressure, ESP32, Angular, Arduino

**Title translation:** Household air quality sensor



# Obsah /

<b>1 Úvod</b> .....	1
1.1 Předmluva .....	1
1.2 Motivace a cíl .....	1
1.3 Struktura práce .....	2
<b>2 Požadavky zařízení</b> .....	3
<b>3 Existující řešení - průzkum trhu</b> ....	4
3.1 Netatmo healthy home coach ...	4
3.2 Kaiterra laser egg 2 .....	5
3.3 Eve room .....	5
3.4 Wöhler CDL 210 .....	6
3.5 Xiaomi mijia air detector lite ...	7
3.6 Souhrn .....	7
<b>4 Návrh</b> .....	8
4.1 Popis .....	8
4.1.1 Omezení řešení .....	8
4.2 Blokové schéma .....	8
4.2.1 Hub .....	8
4.2.2 Monitorovací jednotka .....	9
4.3 Jednotlivé bloky .....	9
<b>5 Výběr komponent</b> .....	11
5.1 Mikrokontrolér .....	11
5.1.1 Arduino uno .....	11
5.1.2 ESP32 .....	12
5.1.3 Raspberry Pi .....	12
5.2 Senzor CO <sub>2</sub> .....	13
5.2.1 Způsoby měření CO <sub>2</sub> ....	13
5.2.2 CCS811 .....	15
5.2.3 MH-Z14a .....	15
5.3 Kombinovaný senzor .....	16
5.3.1 BME280 .....	16
5.3.2 MS8607 .....	16
5.4 Displej .....	17
5.4.1 OLED displej .....	17
5.4.2 E-ink displej .....	17
5.4.3 Heltec 2,13“ e-ink displej .....	18
5.4.4 Heltec 2,4“ OLED displej .....	18
5.5 Uložiště .....	19
5.6 Akumulátor .....	19
5.6.1 Li-Ion akumulátor .....	19
5.6.2 Li-Pol akumulátor .....	19
5.7 Finální výběr komponent .....	19
5.7.1 Vývojové desky .....	19
5.7.2 Wemos Lolin32 a Wemos Lolin D32 .....	19
<b>6 Zapojení komponent</b> .....	21
6.1 Schéma zapojení .....	21
6.1.1 Schéma zapojení ■ hub ..	21
6.1.2 Schéma zapojení ■ monitorovací jednotka .....	22
6.2 Plošný spoj .....	22
<b>7 Implementace řešení</b> .....	24
7.1 Obecné informace .....	24
7.1.1 Architektura .....	24
7.1.2 Doménový model dat ....	25
7.2 Mikrokontroléry .....	25
7.2.1 Arduino .....	25
7.2.2 Problém s napájením monitorovací jednotky ...	26
7.2.3 Zobrazení dat na displeji .....	26
7.2.4 Připojení zařízení k Wi-Fi síti .....	27
7.2.5 Komunikace monitorovací jednotky s hubem ...	28
7.2.6 Použité knihovny - hub ..	28
7.2.7 Použité knihovny - monitorovací jednotka .....	28
7.3 Klientská část .....	29
7.3.1 Angular .....	29
7.3.2 Uživatelské rozhraní ....	29
7.3.3 Použité balíčky .....	30
<b>8 Cena nového řešení</b> .....	31
<b>9 Porovnání řešení</b> .....	32
9.1 Rozsahy měření a počet sledovaných veličin .....	32
9.2 Přesnost měření .....	32
9.3 Zobrazení naměřených dat ....	33
<b>10 Závěr</b> .....	34
<b>Literatura</b> .....	36
<b>A Snímky uživatelského rozhraní</b> ..	39
<b>B Seznam použitých zkratk</b> .....	42

## Tabulky / Obrázky

<b>8.1.</b> Cena vlastního řešení .....	31
<b>9.1.</b> Rozsahy měření a počet sledovaných veličin .....	32
<b>9.2.</b> Přesnost měření .....	33
<b>9.3.</b> Uživatelská přívětivost .....	33
<b>3.1.</b> Vzhled Netatmo healthy home coach .....	4
<b>3.2.</b> Vzhled Kaiterra laser egg 2 .....	5
<b>3.3.</b> Vzhled Eve room .....	6
<b>3.4.</b> Vzhled Wöhler CDL 210 .....	6
<b>3.5.</b> Vzhled Xiaomi mijia air detector lite .....	7
<b>4.1.</b> Blokové schéma hubu .....	9
<b>4.2.</b> Blokové schéma monitorovací jednotky .....	9
<b>5.1.</b> Blokové schéma procesoru ATmega328P .....	11
<b>5.2.</b> Blokové schéma ESP32 .....	12
<b>5.3.</b> Vzhled Raspberry Pi 4 .....	13
<b>5.4.</b> Funkce a princip MOX senzoru .....	14
<b>5.5.</b> Princip NDIR senzoru .....	14
<b>5.6.</b> Blokový diagram CCS811 .....	15
<b>5.7.</b> Vzhled MH-Z14a .....	15
<b>5.8.</b> Blokový diagram BME280 .....	16
<b>5.9.</b> MS8607 na plošném spoji .....	17
<b>5.10.</b> Vzhled Heltec 2,13 e-ink displeje .....	18
<b>5.11.</b> Vzhled Heltec 2,4 OLED displeje .....	18
<b>6.1.</b> Schéma zapojení hubu .....	21
<b>6.2.</b> Schéma zapojení monitorovací jednotky .....	22
<b>6.3.</b> Plošný spoj hubu .....	23
<b>6.4.</b> Plošný spoj monitorovací jednotky .....	23
<b>7.1.</b> Diagram nasazení vlastního řešení .....	24
<b>7.2.</b> Doménový model vlastního řešení .....	25
<b>7.3.</b> Rozvržení veličin na displeji .....	26
<b>7.4.</b> Ukázka WifiManagera .....	27
<b>A.1.</b> Hlavní stránka webové aplikace .....	39
<b>A.2.</b> Stránka historie webové aplikace .....	39
<b>A.3.</b> Stránka nastavení webové aplikace .....	40
<b>A.4.</b> Stránka data webové aplikace .....	40
<b>A.5.</b> Stránka informace webové aplikace .....	41

# Kapitola 1

## Úvod

### 1.1 Předmluva

V posledních několika desítkách let se velmi rozvinula výroba součástek, jako jsou senzory, procesory, paměti a další, a s tím pokročila i výroba počítačů. Součástky a počítače se stále zmenšovaly, zlevňovaly a docházelo k vývoji nových technologií. Díky tomuto pokroku se začala vyrábět nová zařízení určená i pro běžné domácnosti a uživatele, což dříve vůbec nebylo možné. Jako důsledek bylo možné nově a snadno měřit veličiny, u kterých to doposud nebylo reálné.[1]

Díky výzkumům bylo zjištěno, že některé vlastnosti prostředí mohou negativně ovlivnit zdraví lidí. Sledováním těchto vlastností a jejich veličin a podniknutím kroků vedoucích k jejich úpravě pro docílení jejich ideální hodnoty, je tak možné některé zdravotní problémy výrazně minimalizovat, nebo se jich dokonce zcela vyvarovat. Vzhledem k této skutečnosti byl a neustále je právě po monitorech takovýchto veličin zájem uživatelů navyšován a tato zařízení se stávají běžnou součástí našich životů.[2]

Za účelem získávání informací o prostředí, ve kterém žijeme, vznikly různé druhy zařízení. Některé se zaměřují na monitorování stavu uživatele, jako je například teplota těla, množství kyslíku v krvi nebo srdeční tep. Jiná zařízení se zaměřují na stav okolí uživatele. Příkladem může být výše koncentrace CO<sub>2</sub> nebo pevných látek ve vzduchu, nebo také teplota a vlhkost vzduchu.

### 1.2 Motivace a cíl

Zdravotní stav je pro nás všechny velmi důležitý. Zdraví ovlivňuje náš každodenní život. Každý se o své zdraví zajímá a stará se o něj po svém. Někomu stačí chodit na pravidelné zdravotní prohlídky k lékaři, jiní chtějí mít o svém zdravotním stavu nepřetržitý přehled.

Jedním z důležitých faktorů, které mají na naše zdraví vliv, je prostředí, ve kterém se pohybujeme, a ve kterém žijeme. Pomocí monitorování tohoto prostředí (vody, vzduchu, půdy atd.) je možné odhalit nepříznivé vlivy, které na naše tělo působí, a předcházet tím různým onemocněním.

V současné době je k dispozici nespočet možných typů zařízení monitorujících různé veličiny prostředí. Avšak vhodnější a efektivnější variantou, než sledování stavu na několika různých zařízeních, je vlastnit jedno centrální řešení, které sleduje všechny požadované veličiny na jednom místě.

Prostředí, ve kterém žijeme, ovlivňuje to, jak se cítíme. Příkladem může být například koncentrace CO<sub>2</sub> ve vzduchu. Je dokázáno, že při vysoké koncentraci CO<sub>2</sub> se lidé začínají cítit unaveně, trpí bolestmi hlavy a snižuje se jejich soustředění, jelikož tělo nemá dostatek kyslíku. Jako další příklad lze uvést tvorbu plísní při vysoké vlhkosti vzduchu a s tím spojený vznik respiračních onemocnění.[3][4]

A právě tato skutečnost je motivací pro určení cíle této práce, kterým je sestavení zařízení umožňujícího monitorování stavu ovzduší v domácnosti uživatele. Součástí práce

je také porovnání nového řešení s řešeními již existujícími na trhu. Cílovou skupinou pro zařízení jsou uživatelé, kteří chtějí mít přehled o stavu prostředí, ve kterém žijí.

## 1.3 Struktura práce

První kapitola byla zaměřena na uvedení čtenáře do problematiky, kterou se tato práce zabývá. Byly zde popsány důvody, které vedly ke stanovení cílů této práce.

Druhá kapitola se zabývá již samotnou problematikou vedoucí k naplnění cílů práce. Věnuje se specifikaci požadavků na zařízení, které bude sestrojeno, a které umožní monitorovat kvalitu ovzduší v domácnosti.

Třetí kapitola práce se zabývá zkoumáním na trhu již existujících řešení, která mají za úkol sledovat stav ovzduší v domácnosti.

Čtvrtá kapitola se věnuje návrhu nového řešení. Jsou zde uvedeny a obecně popsány hlavní komponenty, ze kterých se bude nové zařízení skládat.

V páté kapitole jsou uvedeny a popsány principy a konkrétní zástupci jednotlivých hlavních komponent ze čtvrté kapitoly, včetně jejich technických specifikací. V závěru páté kapitoly jsou z výše uvedených zástupců jednotlivých komponent vybrány ty nejvhodnější. Zároveň jsou zde popsány oba typy vývojových desek mikrokontroléru, které jsou při tvorbě zařízení použity.

Kapitola šestá se zabývá propojením konkrétních součástí a návrhem plošného spoje.

V sedmé kapitole je probrána konkrétní realizace řešení. Jde jak o implementaci webové aplikace, tak i o implementaci programu pro jednotlivé mikrokontroléry.

Osmá kapitola je věnována kalkulaci ceny nového řešení.

Poslední, devátá kapitola se zabývá porovnáním nového řešení s již existujícími řešeními. Jsou zde hodnoceny typy sledovaných veličin, jejich rozsahy a přesnost měření, ale také je zde uvedeno subjektivní hodnocení autora práce na zobrazení naměřených dat.

## Kapitola 2

### Požadavky zařízení

Před vlastní tvorbou jakéhokoli zařízení je nejprve nutné si určit, co od tohoto zařízení očekáváme, tedy jaké jsou naše požadavky. Proto je nezbytné si tyto požadavky specifikovat ihned na začátku procesu. Kdyby žádné řešení splňující námi určené požadavky neexistovalo, tak by právě tyto požadavky sloužily jako základní stavební kameny. Zde je výčet základních požadavků a vlastností, které by mělo nové zařízení umožňující monitorování stavu ovzduší domácnosti uživatele splňovat:

- Kompaktní rozměry a jednoduchý design.
- Napájení přes USB port, nebo akumulátor s výdrží běhu zařízení minimálně po dobu pěti dnů.
- Měření teploty vzduchu: 0 – 50 °C
- Měření vlhkosti vzduchu: 0 – 100 %
- Měření koncentrace CO<sub>2</sub> ve vzduchu: 400 – 5 000 ppm
- Použití pro vnitřní prostory.
- Možnost připojení na Wi-Fi síť.
- Zobrazení aktuálních hodnot na displeji.
- Zobrazení aktuálních hodnot a jejich historie včetně statistického zpracování na mobilních zařízeních (PC, mobilní telefon, tablet).
- Pořizovací cena: 1 000 – 2 500 Kč

Výše uvedené požadavky byly stanoveny na základě průzkumu na trhu již dostupných zařízení, jejich recenzí a připomínek jejich uživatelů, a také na základě subjektivních potřeb autora práce.

Veličiny, které má zařízení monitorovat, byly zařazeny vzhledem k jejich vlivu na zdravotní stav osob. Tyto veličiny jsou běžně sledovány u většiny kombinovaných senzorů dostupných na trhu.

Je však možné, že může dojít k situaci, kdy nebude při tvorbě nového řešení možné všechny stanovené požadavky splnit (z finančních, distribučních aj. důvodů), či v následném porovnání s již existujícími řešeními nebudou některá tato zařízení všechny vybrané požadavky splňovat. Nicméně cílem je, co možná nejvíce pokrýt všechny výše zmíněné vlastnosti a požadavky.

## Kapitola 3

### Existující řešení - průzkum trhu

S přibývajícím popularitou monitorování našeho okolí již existuje na trhu pár zařízení, která se touto problematikou zabývají. V této kapitole jsou uvedena a popsána zařízení, která co nejvíce splňují požadavky specifikované v kap. 2. U každého zařízení je uvedena jejich hlavní funkce a dále výčet kladů a záporů v závislosti na specifikovaných vlastnostech. Navíc je uvedena jejich doporučená cena a stránky výrobce. V závěru této kapitoly je shrnuto, zda některé z uvedených zařízení splňuje všechny specifikované požadavky, nebo zda-li je potřeba navrhnout řešení nové.

#### 3.1 Netatmo healthy home coach

Netatmo healthy home coach je zařízení od firmy Netatmo, která se specializuje na výrobu chytrých zařízení do domácnosti, jako jsou například senzory dveří, termostatické hlavice nebo meteo stanice. Vzhled toho zařízení je zobrazen na obrázku 3.1. Hlavní funkcí tohoto zařízení je poskytovat informace ohledně kvality ovzduší v domácnosti a v případě překročení nastavených hodnot upozornit uživatele, nebo spustit různé automatizace v domácnosti.[5]



**Obrázek 3.1.** Vzhled Netatmo healthy home coach. Zdroj: [5].

- Nepřítomnost displeje.
- Nemožnost zobrazit data na jiném zařízení než na mobilním telefonu.
- Nemožnost napájení z akumulátoru.
  
- + Připojení k Wi-Fi síti.
- + Měření hladiny hluku.
- + Připojení k mobilnímu telefonu.

Doporučená cena: 2 600 Kč

Stránky výrobce zařízení<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> <https://www.netatmo.com/cs-cz/aircare/homecoach>

## 3.2 Kaiterra laser egg 2

Kaiterra laser egg 2 je chytrý monitor ovzduší v domácnosti. Hlavní funkcí je monitorovat kvalitu vzduchu a při zapojení dalších chytrých zařízení v domácnosti tato zařízení ovládat, jako například zapínat čističku vzduchu. Na obrázku 3.2 je znázorněn vzhled zařízení.[6]



**Obrázek 3.2.** Vzhled Kaiterra laser egg 2. Zdroj: [6].

– Nemožnost zobrazit data na jiném zařízení než na mobilním telefonu.

- + Měření výskytu těkavých plynů.
- + Měření PM2.5 částic.
- + Možnost napájení z akumulátoru.
- + Připojení k Wi-Fi síti.
- + Zobrazení aktuálních dat na displeji.
- + Připojení k mobilnímu telefonu.
- + Zobrazení předpovědi počasí po propojení s mobilním telefonem.

Doporučená cena: 3 300 Kč

Stránky výrobce zařízení<sup>1</sup>.

## 3.3 Eve room

Eve room, zobrazený na obrázku 3.3, je monitor umožňující měřit kvalitu vzduchu v domácnosti, či detekovat různé události, jako např. otevření okna, výskyt osob v místnosti a další.[7]

<sup>1</sup> [https://www.kaiterra.com/en/laser-egg-CO\\_2/](https://www.kaiterra.com/en/laser-egg-CO_2/)



**Obrázek 3.3.** Vzhled Eve room. Zdroj: [7].

- Nelze připojit k Wi-Fi síti.
- Nelze připojit k počítači.
- + Možnost napájení z akumulátoru.
- + Připojení k mobilnímu telefonu.
- + Zobrazení aktuálních dat na displeji.

Doporučená cena: 2 700 Kč  
Stránky výrobce zařízení<sup>1</sup>.

### 3.4 Wöhler CDL 210

Wöhler CDL 210 je měřič kvality vzduchu, který zobrazuje aktuální koncentraci CO<sub>2</sub> v ovzduší na displeji spolu s dalšími monitorovanými veličinami. Jeho vzhled je zobrazen na obrázku 3.4.[8]



**Obrázek 3.4.** Vzhled Wöhler CDL 210. Zdroj: [8].

- Nelze připojit k Wi-Fi síti.
- Nelze připojit k mobilnímu telefonu.
- Nemá zabudovaný akumulátor.
- + Připojení k počítači.
- + Akustické upozornění po překročení nastavené hodnoty CO<sub>2</sub>.

<sup>1</sup> <https://www.evehome.com/en/eve-room>



- + Zobrazení aktuálních dat na displeji.

Doporučená cena: 5 900 Kč

Stránky výrobce zařízení<sup>1</sup>.

### 3.5 Xiaomi mijia air detector lite

Mijia air detector lite je zařízení od čínské značky Xioami. Jedná se o přenosné zařízení měřící kvalitu vzduchu v domácnosti a zobrazující aktuální hodnoty na displeji. Jeho vzhled je znázorněn na obrázku 3.5. Historii měření je možné zobrazit po připojení k mobilnímu telefonu pomocí technologie Bluetooth.[9]



**Obrázek 3.5.** Vzhled Xiaomi mijia air detector lite. Zdroj: [9].

- Data nelze zobrazit na počítači.
- + Připojení k Wi-Fi síti.
- + Možnost napájení z akumulátoru.
- + Připojení k mobilnímu telefonu.
- + Zobrazení dat na displeji.

Doporučená cena: 1 800 Kč

Stránky výrobce zařízení<sup>2</sup>.

### 3.6 Souhrn

Většinu výše uvedených zařízení lze sice připojit k Wi-Fi síti, ale jsou závislá na určité platformě. Některá zařízení se dají připojit k počítači pomocí kabelu a data zobrazit v určené aplikaci. Jiná zařízení se dají připojit pomocí Bluetooth či Wi-Fi k mobilnímu telefonu a poté lze jejich data zobrazit v mobilní aplikaci specifické pro dané zařízení. Bohužel žádné zařízení neumožňuje zobrazit si data jak na počítači, tak na mobilním zařízení zároveň.

Z přehledu existujících zařízení lze vyvodit, že žádné zařízení nesplňuje všechny specifikované požadavky. Tudíž bude nutné navrhnout a sestavit úplně nové zařízení, které toto splňuje.

<sup>1</sup> <https://www.woehler.cz/cs/detekce-plynu/115-mereni-teploty-vlhkosti-CO2-oxidu-uhliciteho.html>

<sup>2</sup> <https://xiaomi-mi.co.uk/mi-smart-home/mi-home-mijia-air-detector-lite/>

# Kapitola 4

## Návrh

Tato kapitola se zabývá konceptem nového zařízení pro monitorování ovzduší v domácnosti. Jsou zde popsány funkční celky spolu s jejich základními bloky, ze kterých by se měly celky skládat spolu s jejich základními činnostmi.

### 4.1 Popis

Cílem práce je navrhnout a sestavit zařízení, která monitoruje kvalitu ovzduší v domácnosti. Toto zařízení se skládá ze dvou samostatně funkčních celků.

Prvním funkčním celkem je centrální systém pro sběr dat neboli hub. Hlavní funkcí tohoto zařízení je sběr dat z podružných monitorovacích jednotek. Tato data jsou pak dále pomocí hubu ukládána a zobrazována na webovém serveru.

Druhým funkčním celkem je podružná monitorovací jednotka. Pro potřeby této práce je použita pouze jedna monitorovací jednotka. Systém však umožňuje zapojení většího množství těchto jednotek. Funkcí této jednotky je sběr dat z jednotlivých senzorů, jako je např. senzor teploty, vlhkosti a CO<sub>2</sub>. Tato nasbíraná data jsou pak prostřednictvím podružné monitorovací jednotky odesílána do hubu. Kromě přenosu nasbíraných dat je další funkcí podružné monitorovací jednotky i zobrazení aktuálních dat ze senzorů na displeji. Pro interpretaci dat na webovém serveru je nutné vyvinout webovou aplikaci.

#### 4.1.1 Omezení řešení

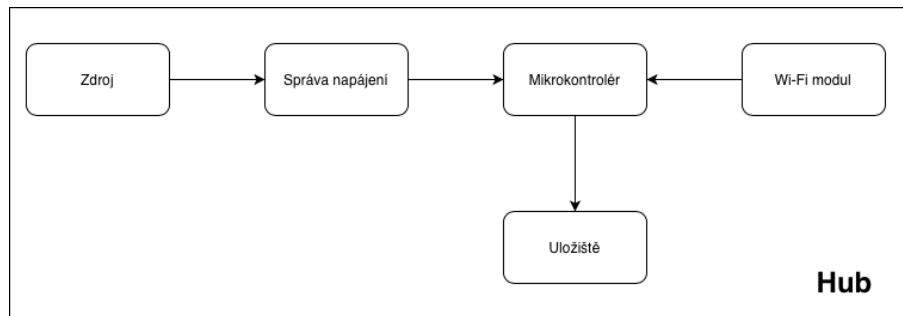
Jelikož spolu hub a monitorovací jednotky musí komunikovat a navíc webový server musí být dostupný v lokální síti, musejí být zařízení připojena k lokální síti pomocí Wi-Fi. V případě nepřítomnosti lokální sítě nebude webový server dostupný a zařízení mezi sebou nebudou navzájem komunikovat. To by znamenalo, že monitorovací jednotka sice bude sbírat data ze senzorů a jejich hodnoty budou zobrazovány na displeji, ale uživatel přijde o možnost zobrazit si např. historii měření, či její statistické zpracování ve webové aplikaci.

### 4.2 Blokové schéma

Blokové schéma slouží k jednoduchému popisu zařízení. Zobrazuje jednotlivé dílčí celky a jejich vzájemné propojení.

#### 4.2.1 Hub

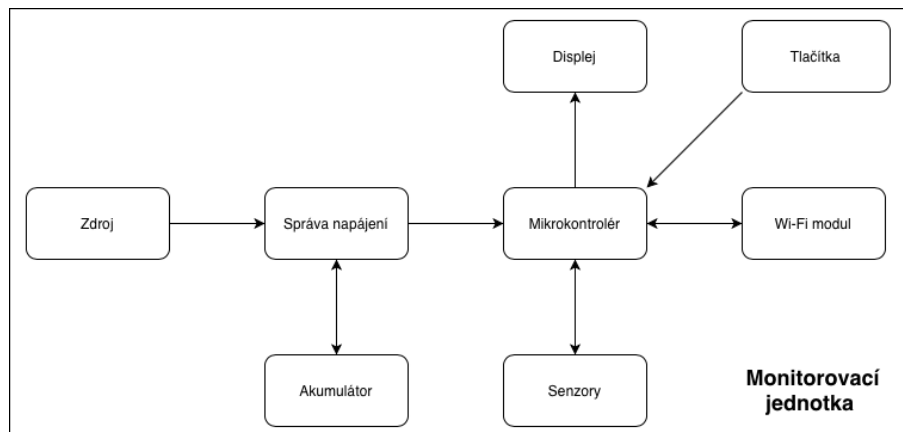
Blockové schéma hubu je zobrazeno na obrázku 4.1. Hub slouží k hostování web serveru, k ukládání naměřených dat a komunikaci s monitorovacími jednotkami. Jelikož chceme, aby byl web server nepřetržitě dostupný, odpadá možnost napájet hub z akumulátoru. Hub proto proto musí být neustále připojen ke zdroji elektrické energie.



Obrázek 4.1. Blokové schéma hubu

### 4.2.2 Monitorovací jednotka

Blokové schéma monitorovací jednotky je zobrazeno na obrázku 4.2. Monitorovací jednotka bude obsahovat senzory, které zajistí měření veličin a dále bude obsahovat displej. Díky displeji bude možné zobrazovat aktuální data bez nahlížení do webové aplikace na webovém serveru. Jelikož chceme, aby bylo možné monitorovací jednotku přenášet, musí umožňovat akumulátorové napájení.



Obrázek 4.2. Blokové schéma monitorovací jednotky

## 4.3 Jednotlivé bloky

V této kapitole jsou uvedeny základní bloky (komponenty) funkčních celků znázorněných na blokových schématech a jsou zde vysvětleny jejich hlavní funkce.

- **Mikrokontrolér** – neboli MCU je hlavní řídicí blok. Jedná se o mozek celého zařízení. Ovládá všechny důležité periferie, zajišťuje čtení dat ze senzorů, obsluhuje zobrazování dat na displeji, zajišťuje Wi-Fi komunikaci a řídí ukládání dat na datové uložení.
- **Senzory** – zařízení umožňující měření veličin např. teplotu, vlhkost, tlak a koncentraci CO<sub>2</sub> ve vzduchu. Získané hodnoty předávají MCU.
- **Displej** – zobrazuje specifická data ze senzorů, aktuální stav zařízení, jako např. procenta nabití akumulátoru nebo připojení k Wi-Fi síti.
- **Wi-Fi modul** – zajišťuje komunikaci s lokální Wi-Fi sítí a službu webovému serveru.
- **Uložiště** – prostor pro ukládání dat, nastavení zařízení. Typicky se jedná o SD kartu, interní uložení mikrokontroléru FLASH nebo cloud uložení na internetu.
- **Tlačítka** – slouží k ovládání zařízení, jako např. zapnutí zařízení nebo resetování Wi-Fi připojení.

- **Správa napájení** – zajišťuje napájení jednotlivých komponent a nabíjení akumulátoru.
- **Akumulátor** – slouží jako primární zdroj energie pro senzory.
- **Zdroj (USB)** – u hubu tvoří hlavní zdroj napájení, u senzoru slouží také k nabíjení zabudovaného akumulátoru.

# Kapitola 5

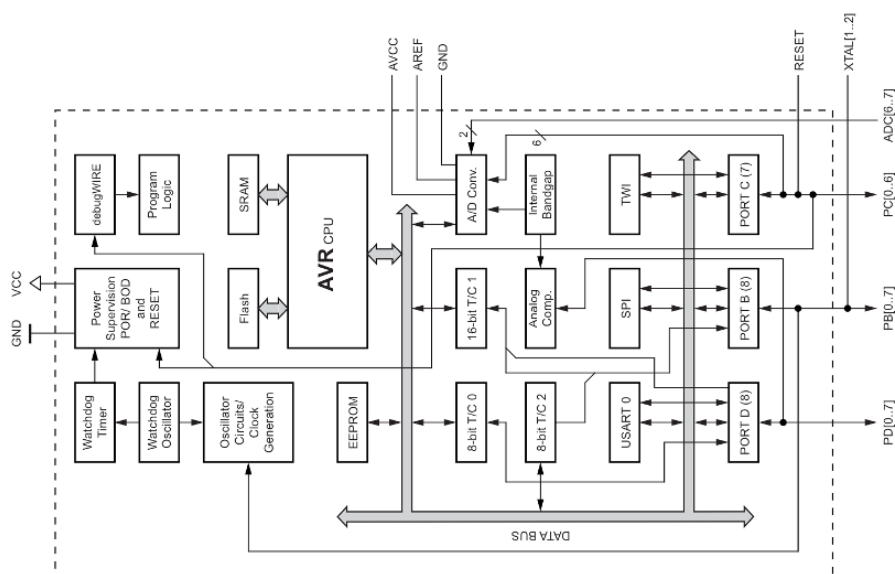
## Výběr komponent

V následující kapitole jsou nejprve popsány jednotlivé varianty komponent, které byly finálně vybrány pro tvorbu zařízení pro monitorování ovzduší v domácnosti v kap. 4.3. Výběr komponent, která jsou nejčastěji používána pro tento typ zařízení, proběhl na základě studie bastlířských návrhů a zkušeností uživatelů již existujících zařízení. V závěru této kapitoly je pak pro každou z uvedených variant konkrétní komponenty vybráno její nejlepší řešení.

### 5.1 Mikrokontrolér

#### 5.1.1 Arduino uno

Arduino uno je vývojová deska vyráběná firmou Arduino. Deska je založená na MCU ATmega328P, který vyrábí firma Atmel. Blokové schéma MCU ATmega328P je popsáno na obrázku 5.1. Jedná se o nejznámější vývojovou desku od této firmy. V současné době již existuje třetí verze. Arduino uno byla první deska s USB konektivitou a stala se referenčním modelem pro celou Arduino platformu.[10]



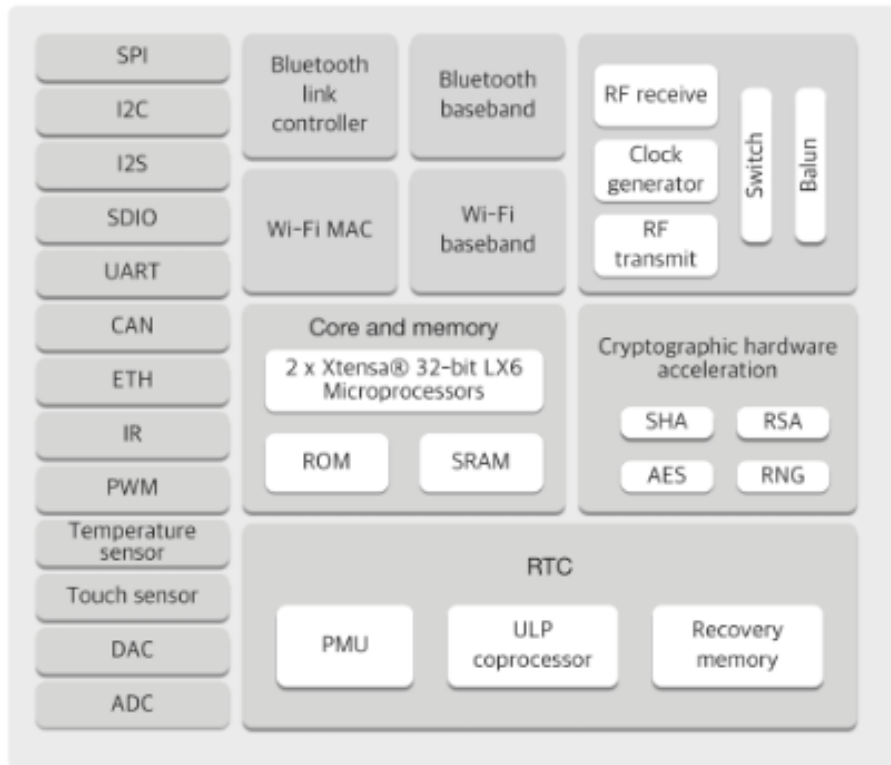
**Obrázek 5.1.** Blokové schéma procesoru ATmega328P. Zdroj:[11].

#### Technické specifikace: [10]

- 8bitový ATmega328P procesor
- 32KB ROM
- 2KB SRAM
- 14x digitální I/O piny
- 6x analogový vstup

### 5.1.2 ESP32

ESP32 je MCU navrhnutý a vyráběný firmou Espressif Systems. Blokové schéma MCU je popsán o na obrázku 5.2. Jedná se o nástupce velmi populárního MCU ESP8266. Oproti svému předchůdci, ESP32 přichází s mnoha vylepšeními oproti modelu ESP8266. Jedná se například o rychlejší Wi-Fi připojení, zjednodušené API, či větší paměť RAM.[12]



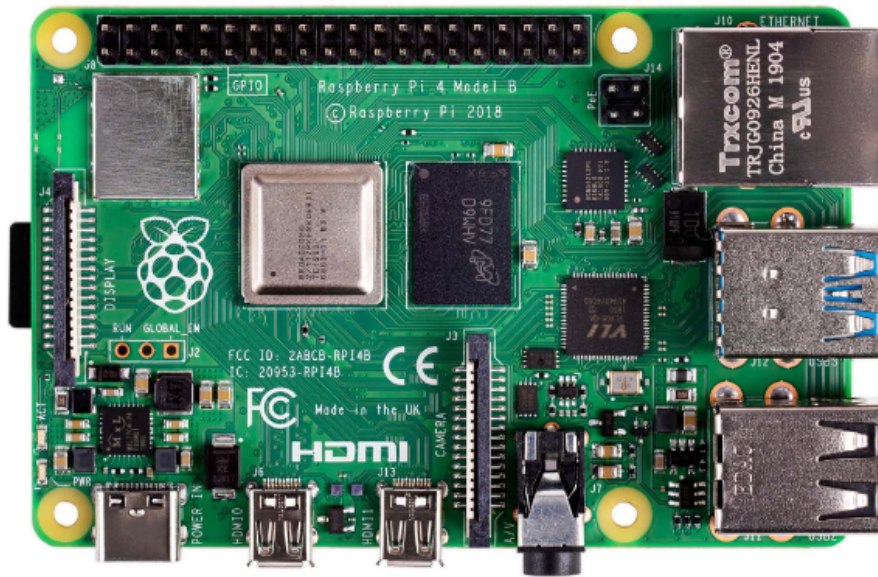
**Obrázek 5.2.** Blokové schéma ESP32. Zdroj:[13].

#### Technické specifikace: [13]

- Podpora Wi-Fi standardu 802.11 b/g/n na frekvenci 2,4 GHz
- Bluetooth 4.2 i Bluetooth low energy(BLE)
- 2jádrový 32bitový Xtensa procesor
- 448 KB ROM
- 520 KB SRAM
- 34x programovací GPIO
- 4x SPI sběrnice
- 2x I<sup>2</sup>C sběrnice
- 3x UART

### 5.1.3 Raspberry Pi

Raspberry Pi je jednočipový počítač, který byl vyvinut pro výuku informatiky na školách. Díky své všestrannosti se stal i velmi populární v bastlářské komunitě, kde je využívám pro různé projekty jako řídicí jednotka. Na obrázku 5.3 je zobrazen vzhled počítače Raspberry Pi 4. generace.[14]



**Obrázek 5.3.** Raspberry Pi 4. Zdroj:[15].

**Technické specifikace:** [15]

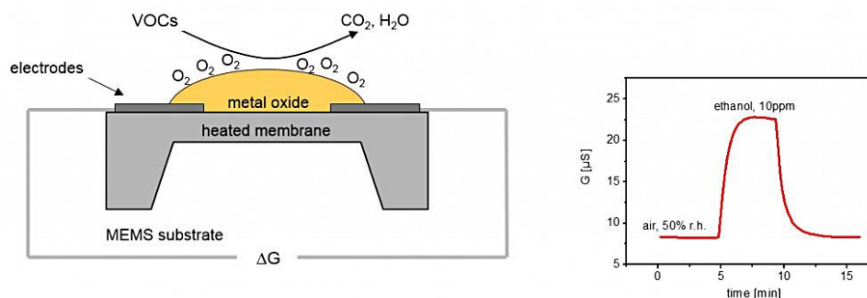
- 4jádrový 64bitový Cortex-A72 (ARM v8) procesor
- Bluetooth 5.0 i Bluetooth low energy(BLE)
- Podpora Wi-Fi standardu 802.11 b/g/n/ac na frekvenci 2,4 GHz a 5,0 GHz
- 1 – 8 GB LPDDR4 SDRAM podle modelu
- 1 GB ethernet port
- 40x GPIO
- 2x USB 3.0 a 2x USB 2.0 porty
- 2x microHDMI porty
- Slot na MicroSD karetu

## 5.2 Senzor CO<sub>2</sub>

Senzor CO<sub>2</sub> je zařízení, které měří koncentraci CO<sub>2</sub> v ovzduší. Ideální koncentrace CO<sub>2</sub> ve vnitřních prostorách se pohybuje v rozmezích 800 – 1 200 ppm.[4].

### 5.2.1 Způsoby měření CO<sub>2</sub>

- **MOX senzor**[16] – neboli metal-oxide senzor plynů je založen na principu interakce molekul plynu s vodivým materiálem. Přítomností molekul plynu mění vodivý materiál svojí elektrickou vodivost. Tyto změny vodivosti jsou pak dále elektronicky vyhodnocovány. Schéma a princip MOX senzoru je znázorněn na obrázku 5.4.

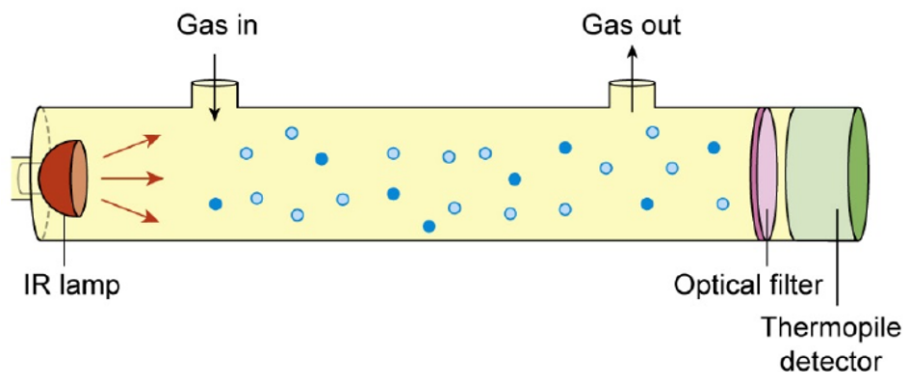


**Obrázek 5.4.** Schéma a princip MOX senzoru. Zdroj:[16].

Senzor obsahuje snímací element vyrobený z oxidu kovu (nejčastěji  $\text{SnO}_2$ ), snímacích elektrod a ohřívací membrány. Snímací element se pomocí ohřívací membrány zahřívá na optimální teplotu pro detekci cílového plynu. Nejčastěji se jedná o teploty v rozsahu 200 – 400 °C.

MOX senzory jsou uživatelsky a cenově nenáročné. Bohužel nedokáží měřit všechny druhy plynů a nejsou vhodné na venkovní a průmyslové použití. Jsou méně přesné a mají nižší rozsah, než-li jiné principy měření plynů v ovzduší.

- **NDIR senzor**[16] – neboli Non Dispersive Infra-Red senzor funguje na principu absorpce záření určité vlnové délky molekulami měřeného plynu (např.  $\text{CO}_2$ ). Rozdíl mezi množstvím emitovaného a detekovaného záření dané vlnové délky určuje míru koncentrace měřeného plynu. Molekuly  $\text{CO}_2$  dokáží pohltit záření o vlnové délce 4,2  $\mu\text{m}$ . Tento princip je zobrazen na obrázku 5.5.



**Obrázek 5.5.** Princip NDIR senzoru. Zdroj:[16].

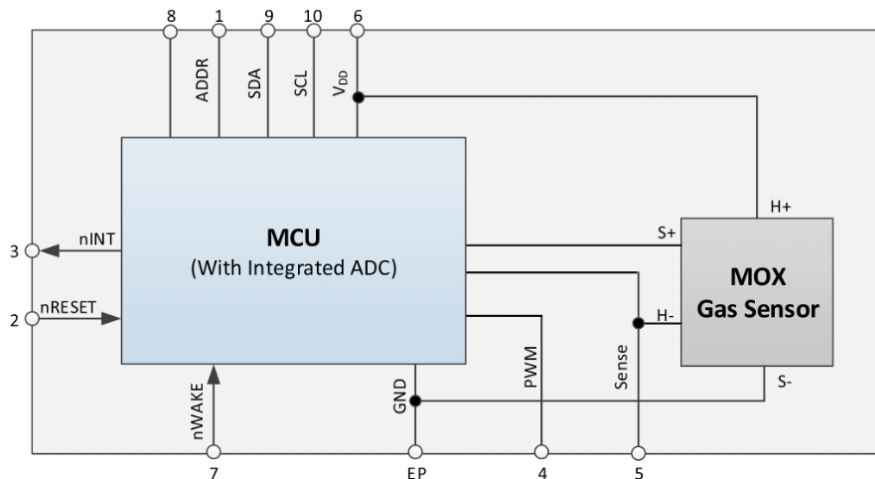
Senzor je vybaven infračervenými diodami a fotodetektozem. Tento způsob měření je velmi přesný, má dlouhou životnost a stabilitu.

Mezi omezení této metody patří: vysoká pořizovací cena, špatná možnost miniaturizace. Oproti ostatním principům měření plynů v ovzduší dokáže měřit málo druhů plynů, např.  $\text{CO}_2$  a  $\text{CO}$ . U této metody měření se může vyskytovat tzv. „oslepnutí“ senzoru. Je to stav, kdy se ve vzduchu vyskytuje příliš mnoho molekul měřeného plynu, které pohltí veškeré záření daného typu, a tudíž již na fotodetektor nedopadne žádné emitované záření. NDIR senzor se proto nejčastěji používá při nízkých koncentracích měřeného plynu.



### 5.2.2 CCS811

CCS811 je digitální senzor plynů od firmy AMS. Jedná se o senzor typu MOX, který měří výskyt TVOC a eCO<sub>2</sub> v ovzduší. Na senzoru je také integrovaný MCU, který dané údaje zpracovává, a AD převodník, který komunikuje s ostatními zařízení pomocí I<sup>2</sup>C sběrnice. Obrázek 5.6 zobrazuje blokový diagram senzoru CCS811.[17]



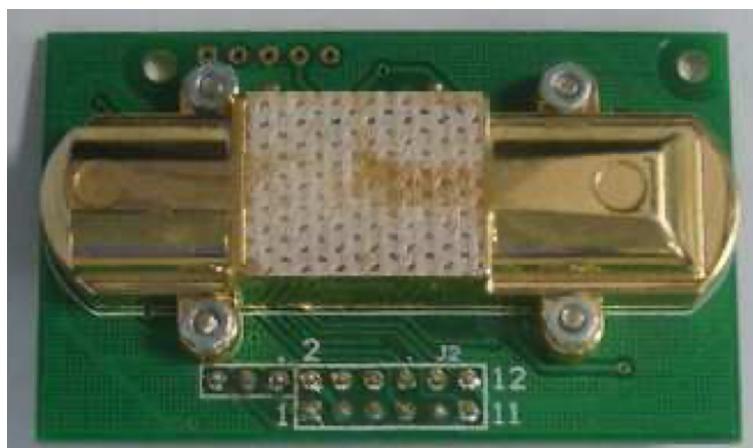
**Obrázek 5.6.** Blokový diagram CCS811. Zdroj:[17].

#### Technické specifikace:[17]

- Sběrnice I<sup>2</sup>C
- Napájecí napětí: 1,8 – 3,3 V
- Teplota: -40 – 80 °C
- Vlhkost: 10 – 95 %
- eCO<sub>2</sub>: 400 – 29 206 ppm
- eTVOC: 0 – 32 768 ppb

### 5.2.3 MH-Z14a

MH-Z14a je optický senzor CO<sub>2</sub> od firmy Winsen. Jeho vzhled je zobrazen na obrázku 5.7. Jedná se o senzor typu NDIR. Senzor s ostatními komponentami komunikuje pomocí PWM nebo UART.[18]



**Obrázek 5.7.** Vzhled MH-Z14a. Zdroj:[18].

**Technické specifikace:**[18]

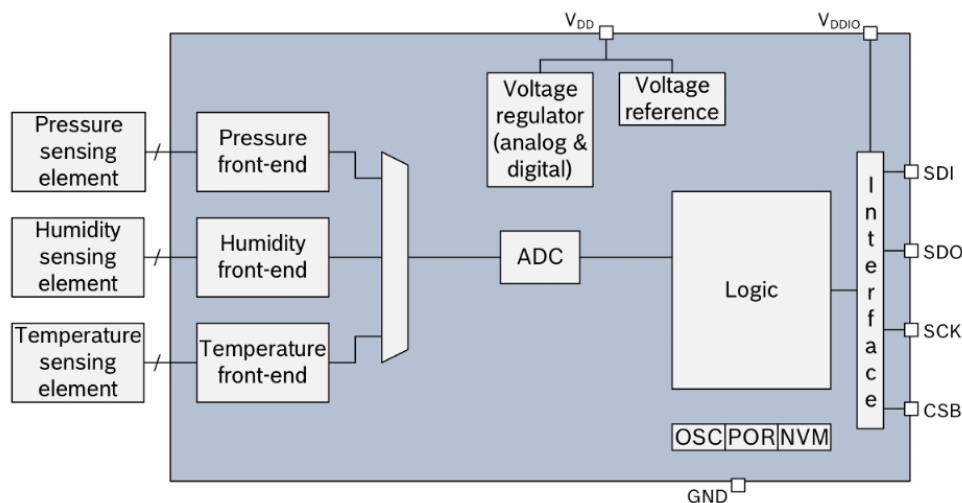
- Komunikace pomocí PWM nebo UART
- Napájecí napětí: 4,5 – 5,5 V
- Rozsah detekce CO<sub>2</sub>: 0 – 5 000 ppm
- Přesnost detekce: ± 50 ppm
- Pracovní teplota: 0 – 50 °C
- Pracovní vlhkost: 0 – 95%

**5.3 Kombinovaný senzor**

Kombinovaný senzor je takový senzor, který dokáže měřit více veličin. V tomto případě se jedná o senzor, který umožňuje měřit teplotu, vlhkost a tlak vzduchu.

**5.3.1 BME280**

BME280 je kombinovaný senzor vlhkosti, tlaku a teploty vzduchu od firmy Bosch Sensortec. Senzor dokáže komunikovat s ostatními zařízeními pomocí I<sup>2</sup>C nebo SPI sběrnice. Na obrázku 5.8 je zobrazen blokový diagram senzoru BME280.[19]



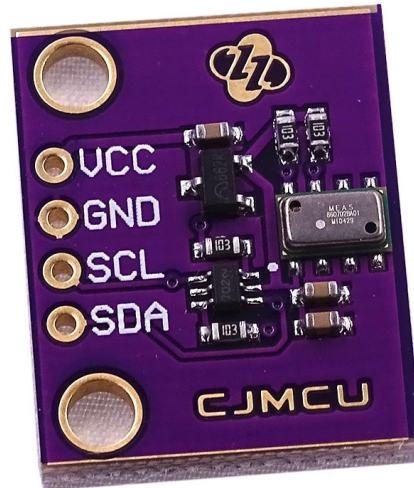
**Obrázek 5.8.** Blokový diagram BME280. Zdroj:[19].

**Technické specifikace:**[19]

- Sběrnice I<sup>2</sup>C a SPI
- Napájecí napětí: 1,71 – 3,6 V
- Teplota: -40 – 85 °C
- Vlhkost: 0 – 100 %
- Tlak: 300 – 1 000 hPa

**5.3.2 MS8607**

MS8607 je kombinovaný senzor od firmy TE connectivity. Senzor dokáže měřit tlak, vlhkost a teplotu vzduchu. S ostatními zařízeními dokáže komunikovat pomocí I<sup>2</sup>C sběrnice. Na obrázku 5.9 je zobrazen senzor MS8607 implementovaný na plošném spoji výrobce CJMCU.[20]



**Obrázek 5.9.** MS8607 na plošném spoji. Zdroj:[21].

**Technické specifikace:**[20]

- Sběrnice I<sup>2</sup>C
- Napájecí napětí: 1,5 – 3,6 V
- Teplota: -40 – 85 °C
- Vlhkost: 0 – 100 %
- Tlak: 10 – 2 000 hPa

## 5.4 Displej

Displej je zařízení pro zobrazování optické informace. Existují různé druhy displejů, a proto je potřeba nejdříve si specifikovat, co daný displej musí umožňovat. V případě zde vyvíjeného zařízení pro monitorování ovzduší v domácnosti bude nutné zobrazování dat naměřených ze senzorů. Displej tedy musí umět zobrazovat text a případně jednoduché ikony pro lepší přehlednost. Z toho důvodu se musí vyloučit jednoduché segmentové displeje. Ostatní druhy displejů, které mají vhodné vlastnosti pro toto řešení jsou popsány níže.[22]

### 5.4.1 OLED displej

OLED displej neboli Organic light-emitting diode je typ displeje, kde se pro tvorbu světla z elektrické energie používají organické materiály. Výhodou OLED displejů je, že každý pixel je zdrojem světla, a tudíž dokáže spotřebovat méně energie než např. LCD technologie<sup>1</sup>. Další výhodou je rychlá časová odezva, široké pozorovací úhly a jas. Nevýhodou této technologie je krátká životnost, kdy se jednotlivé pixely mohou vypálit a přestat svítit.[22]

### 5.4.2 E-ink displej

E-ink displej neboli elektronický papír je forma displeje, který světlo neemituje (jako ostatní druhy displeje), ale pouze světlo odráží jako skutečný papír. Výhodou tohoto řešení je velmi nízká spotřeba energie a dobré pozorovací úhly. Nevýhodou je nutnost externího zdroje světla pro to, aby byl text na displeji čitelný. Ve tmě je displej nečitelný.[22]

<sup>1</sup> Toto platí pouze pokud je text na černém pozadí. Při použití bílého pozadí může mít OLED větší spotřebu energie než ostatní technologie.[22]

### 5.4.3 Heltec 2,13" e-ink displej

Jedná se o e-ink displej úhlopříčky 2,13“, který kromě černé a bílé barvy dokáže zobrazovat i červenou. Na obrázku 5.10 lze vidět vzhled displeje. Displej komunikuje s ostatními zařízeními pomocí sběrnice SPI.[23]



**Obrázek 5.10.** Vzhled Heltec 2,13 e-ink displeje. Zdroj:[23].

#### Technické specifikace:[23]

- Úhlopříčka displeje: 2,13“
- Rozlišení: 212 x 104 px
- Napájecí napětí: 2,3 – 3,6 V
- Sběrnice SPI

### 5.4.4 Heltec 2,4" OLED displej

Jedná se o displej typu OLED. Tento displej umí zobrazovat pouze bílý text na černém pozadí. Ukázka vzhledu displeje je vyobrazena na obrázku 5.11.[24]



**Obrázek 5.11.** Vzhled Heltec 2,4 OLED displeje. Zdroj:[24].

#### Technické specifikace:[24]

- Úhlopříčka displeje: 2,4“
- Rozlišení: 128 x 64 px
- Napájecí napětí: 2,5 – 6 V
- Sběrnice I<sup>2</sup>C

## 5.5 Uložiště

I když všechny uvedené MCU obsahují interní uložení, je lepší pro ukládání velkého množství dat využít jiné řešení. Jednou z levných možností je využití SD karty připojené přes SPI sběrnici. Toto řešení poskytuje maximální kapacitu až 128 GB, naproti tomu většina MCU poskytuje interní uložení ve velikosti jen několika MB.

## 5.6 Akumulátor

Akumulátor slouží k ukládání elektrické energie. Níže jsou popsány druhy používaných baterií a dále v čem se jednotlivé druhy liší.

### 5.6.1 Li-Ion akumulátor

Li-Ion akumulátor neboli lithium-iontový článek je v současnosti nejpoužívanější typ akumulátoru. Výhodou těchto akumulátorů je, že netrpí pamětovým efektem a efektem líné baterie, neboli není potřeba před nabitím akumulátor úplně vybit, aby neztrácela svou kapacitu. Další výhodou je dobrá skladovatelnost, kdy akumulátor při neuzívání taktéž neztrácí svou kapacitu a jeho nízká cena. Nevýhodou je citlivost na provozní teplotu.[25]

### 5.6.2 Li-Pol akumulátor

Li-Pol akumulátor neboli lithium-polymerový akumulátor je Li-Ion akumulátor, kde je místo tekutého elektrolitu použit pevný polymer. Tudíž Li-Pol má stejné vlastnosti jako Li-Ion, ale navíc je možné Li-Pol akumulátor lépe tvarovat a má menší hmotnost a objem než Li-Ion při stejné kapacitě.[25]

## 5.7 Finální výběr komponent

Z výše uvedených komponent je pro tvorbu nového zařízení pro monitorování ovzduší vybrán jako MCU ESP32 (kap. 5.1.2), jelikož oproti Arduino má zabudovaný WiFi modul a oproti Raspberry je dostatečně výkonný a za přijatelnější cenu. Jako senzor CO<sub>2</sub> je vybrán CCS811 (kap. 5.2.2), poněvadž používá technologii MOX, která je levnější a uživatelsky přívětivější. Jako kombinovaný senzor teploty, vlhkosti a tlaku je zvolen senzor BME280 (kap. 5.3.1). Jako displej je použit e-ink displej (kap. 5.4.3), který je energeticky úsporný. Jako technologie akumulátoru je vybrána Li-Pol technologie (kap. 5.6.2).

### 5.7.1 Vývojové desky

Pro snadné propojení MCU s ostatními komponentami a pro pohodlné programování MCU se používají vývojové desky. Tyto desky většinou obsahují vyvedené piny pro připojení komponent, dále USB rozhraní pro komunikaci zařízení s PC a mohou obsahovat i správu nabíjení akumulátoru.

### 5.7.2 Wemos Lolin32 a Wemos Lolin D32

Při tvorbě nového zařízení jsou zvoleny vývojové desky od firmy Wemos, které mají skvělý poměr cena/výkon. Pro hub je vybrán model Lolin32 a pro senzor je vybrán model Lolin D32.

Wemos Lolin D32 je novější vývojová deska než Lolin32. Obsahuje novější USB řadiče pro komunikaci s počítačem. Navíc Lolin D32 umožňuje číst napětí akumulátoru a disponuje lepší energetickou šetřivostí. Lolin32 na rozdíl od Lolin D32 umožňuje napájet komponenty pomocí 5 V, což je využito pro napájení adaptéru microSD karty hubu a zároveň je levnější než Lolin D32.[26][27]

# Kapitola 6

## Zapojení komponent

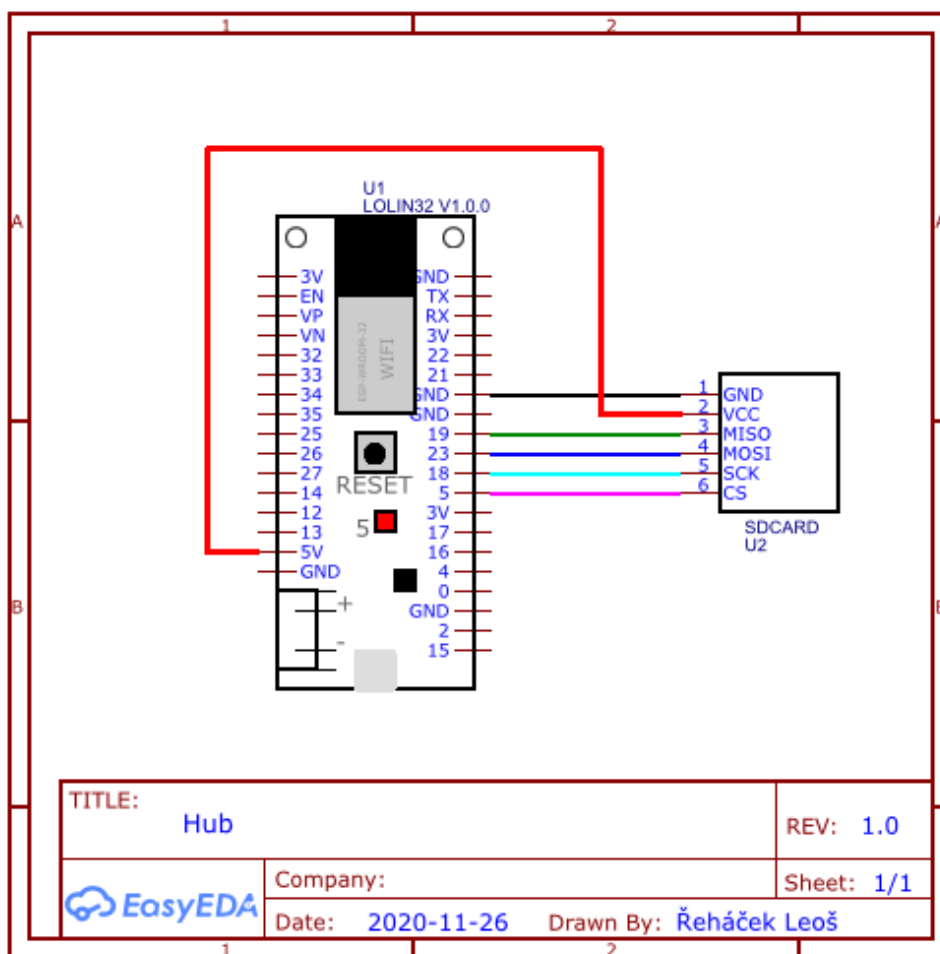
V této kapitole jsou ukázky schémat zapojení jednotlivých komponent hubu a monitorovací jednotky. Je zde také uveden návrh desek plošných spojů.

### 6.1 Schéma zapojení

Návrhy schémat zapojení byly vytvořeny v online editoru EasyEDA.

#### 6.1.1 Schéma zapojení – hub

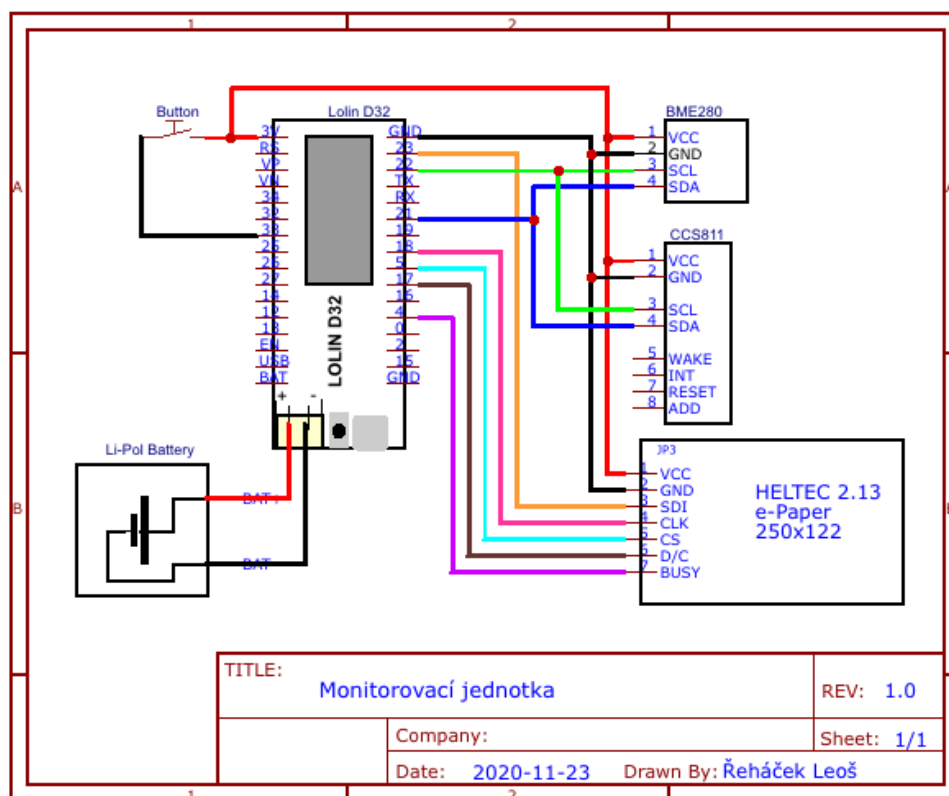
Schéma na obrázku 6.1 znázorňuje zapojení hubu. Adaptér microSD karty je s MCU na vývojové desce Lolin32 připojen pomocí rozhraní SPI. Adaptér microSD karty je napájen pomocí 5V napětí.



Obrázek 6.1. Schéma zapojení komponent hubu.

### 6.1.2 Schéma zapojení – monitorovací jednotka

Zapojení monitorovací jednotky je zobrazeno na obrázku 6.2. K monitorovací jednotce jsou komponenty BME280 a CCS811 připojeny pomocí jedné sběrnice I<sup>2</sup>C. Každá komponenta má vlastní I<sup>2</sup>C adresu. Dále je k MCU připojen e-ink displej pomocí rozhraní SPI. Všechny tyto komponenty jsou napájeny pomocí 3,3V napájení, které vývojová deska Lolin D32 přímo poskytuje. K desce je přes JST-PH-2 konektor připojen akumulátor. Připojené tlačítko umožňuje resetovat Wi-Fi připojení.



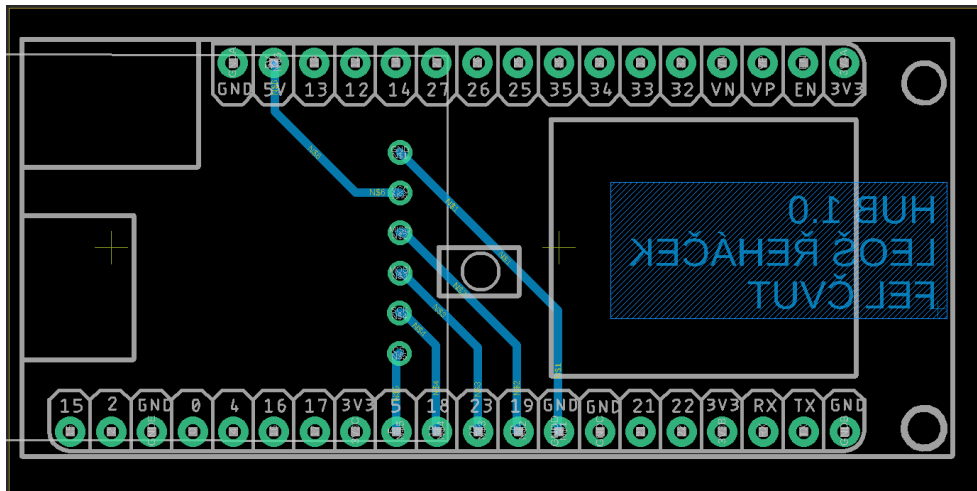
Obrázek 6.2. Schéma zapojení komponent monitorovací jednotky.

## 6.2 Plošný spoj

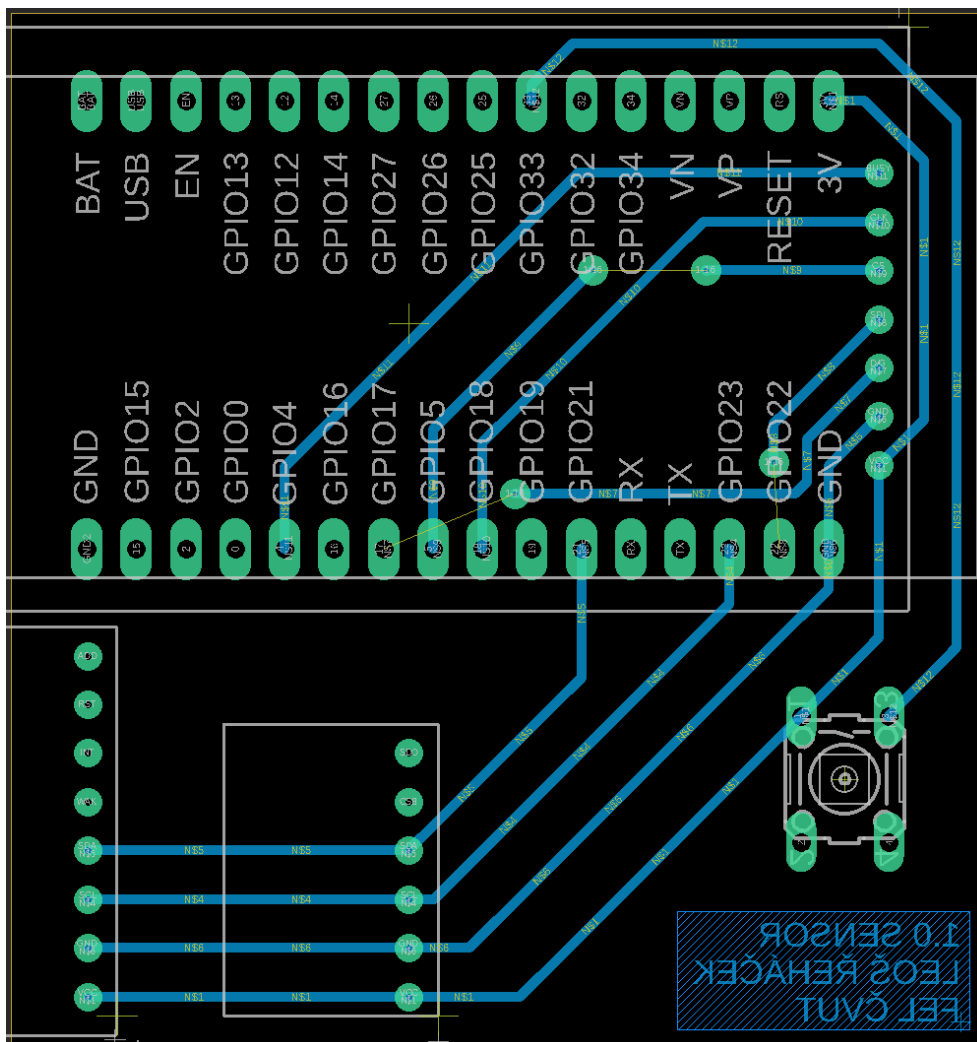
Při návrhu plošného spoje byl využit program Eagle, který má velkou uživatelskou základnu a lze zde najít mnoho existujících řešení. Byla využita jednovrstvá technologie, která je levnější na výrobu a při takto malých projektech plně dostačující. Šířka jednotlivých spojů byla zvolena na hodnotu 0,5 mm. Tato technologie a šířka spojů byla zvolena po konzultaci s výrobcem plošných spojů.

Plošný spoj hubu je zobrazen na obrázku 6.3 a plošný spoj monitorovací jednotky je znázorněn na obrázku 6.4.





Obrázek 6.3. Plošný spoj hubu.



Obrázek 6.4. Plošný spoj monitorovací jednotky.

# Kapitola 7

## Implementace řešení

Tato kapitola popisuje návrh softwarového vybavení. Jsou zde zmíněny klíčové technologie, frameworky a knihovny, které jsou při vývoji zařízení využity.

### 7.1 Obecné informace

#### 7.1.1 Architektura

Zařízení pro monitorování ovzduší se skládá ze čtyř celků - klient, mikrokontrolér - hub, mikrokontrolér - monitorovací jednotka a uložště. Diagram na obrázku 7.1 zobrazuje vzájemné uspořádání těchto celků a jejich vzájemnou komunikaci.

Úložiště je v tomto případě dostupné jak z klienta, tak z mikrokontroléru. Toto řešení není typické, jelikož běžně by k úložišti měl mít přístup pouze server (v našem případě MCU), který všechny požadavky od klienta zpracuje a vrací mu pouze validní data. Toto netypické řešení bylo zvoleno, jelikož Angular (klientská část) umožňuje číst data ze souborů přímo. Toto ulehčí MCU, který může využít svůj výkon na jiné požadavky.

Jednotlivé celky, jejich složení a význam jsou popsány v kapitolách níže.

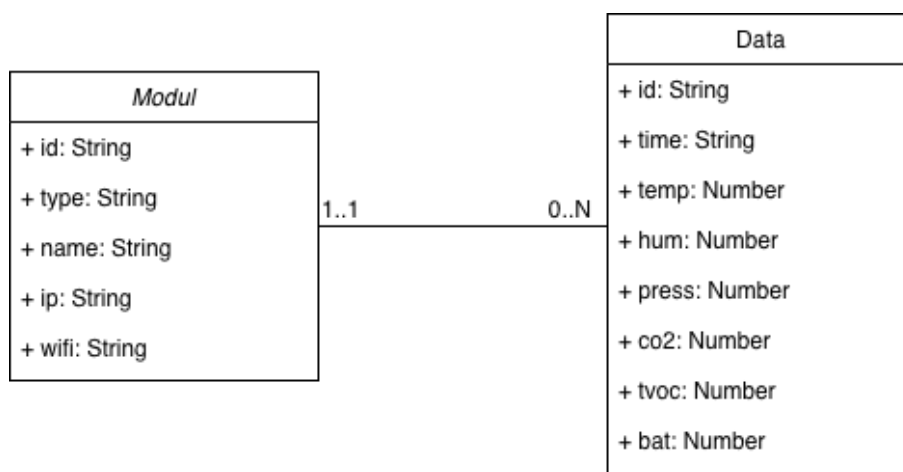


Obrázek 7.1. Diagram nasazení vlastního řešení.

### 7.1.2 Doménový model dat

Jednotlivé entity, jejich vlastnosti a vztahy jsou popsány v diagramu na obrázku 7.2. V současné době jsou využívány pouze dvě entity: Modul, který reprezentuje jednotlivé funkční celky a Data, která reprezentují data naměřená jednotlivými monitorovacími jednotkami. Počet entity může být v budoucnu větší, v závislosti na možném rozšíření řešení.

Modul může vytvářet libovolné množství dat. Jeden datový záznam však může patřit vždy a pouze jednomu modulu. Každý modul má svoje konkrétní id, typ („hub“, „sensor“), název, IP adresu a název Wi-Fi sítě. Všechny tyto vlastnosti jsou povinné. Datový záznam naproti tomu musí obsahovat id modulu a čas pořízení záznamu. Zbylé vlastnosti jako teplota, vlhkost, tlak, CO<sub>2</sub>, TVOC a procenta akumulátoru jsou volitelné v závislosti na tom, co jednotlivá monitorovací jednotka měří.



Obrázek 7.2. Doménový model vlastního řešení.

## 7.2 Mikrokontroléry

Mikrokontroléry jsou velmi důležitou částí v architektuře, jelikož zastávají tyto funkce:

- Obsluhují jednotlivé komponenty jak hubu, tak monitorovací jednotky.
- Komunikují s klientskou částí a zpracovávají její požadavky.
- Starají se o správné čtení a zápis dat do úložiště.

### 7.2.1 Arduino

Před samotnou implementací programu mikrokontroléru bylo nutné si zvolit vhodný programovací jazyk a prostředí, ve kterém se kód implementuje, a pomocí kterého se kód přeloží do použitelné podoby pro MCU. V dnešní době existují dvě varianty programovacího jazyka pro zvolený MCU, a to Arduino a MicroPython.

Z uvedených variant je použit jazyk Arduino, jelikož je více podporovaný a velmi populární mezi vývojáři. Z toho důvodu je k dispozici velké množství knihoven. V prostředí Arduino IDE je pro vývoj využíván vlastní programovací jazyk, který je ale založen na jazyku C a C++. Toto nám umožňuje psaní kódu v Arduino jazyku, ale i použití již zmíněného jazyka C. Arduino navíc obsahuje integrovanou správu knihoven a vývojových desek. Díky tomu je kompilaci a překlad možno provádět přímo v Arduinu a nemusí být využíváno externí řešení.

### 7.2.2 Problém s napájením monitorovací jednotky

Jelikož monitorovací jednotku je možné napájet i z akumulátoru, bylo potřeba vyřešit spotřebu energie. Prvním řešením bylo číst data ze senzorů po určitém časovém úseku a nikoliv nepřetržitě. Oproti očekáváním toto řešení mělo minimální rozdíl. Tudíž bylo potřeba hledat jiná řešení, kdy se bude MCU monitorovací jednotky vypínat.

Naštěstí ESP32 má implementovaný režim spánku, kdy se zařízení přepne do režimu s velmi nízkou spotřebou energie. Z režimu spánku je možné MCU probudit buď časovačem nebo externím signálem, například zmáčknutím tlačítka. Uživatelsky nejvíce vyhovujícím řešením bylo probuzení MCU pomocí časovače. Tento způsob zajišťuje, že se po provedení všech požadovaných operací MCU uspí, po zvoleném čase se znovu probudí a provede specifikované operace znovu.

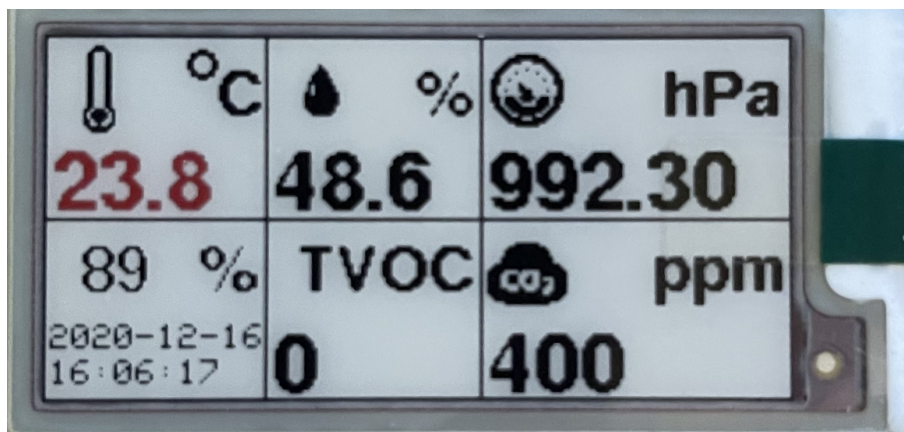
V režimu spánku jsou v MCU aktivní pouze hodiny a čtení z nastavených pinů, které slouží k probuzení. Všechny ostatní funkce, jako např. Wi-Fi, Bluetooth a jádro MCU jsou neaktivní. Monitorovací jednotka získává data ze senzorů, aktualizuje je na displeji a komunikuje s hubem pouze v době, kdy je MCU aktivní.

Po mnoha měřeních bylo nastaveno usínání monitorovací jednotky na dobu 5 minut. Toto řešení přineslo dostatečně aktuální přehled o stavu ovzduší a významné snížení energetické náročnosti. Při implementaci tohoto režimu monitorovací jednotka spotřebuje za 24 hodin průměrně 10 % kapacity akumulátoru, což vystačí na přibližně týdenní provoz bez nutnosti nabytí akumulátoru..

### 7.2.3 Zobrazení dat na displeji

Pro zobrazení aktuálně naměřených dat monitorovací jednotka disponuje 2,13“ e-ink displejem. Pro tento displej bylo potřeba vytvořit grafické uspořádání jednotlivých měřených veličin. V tomto případě displej zobrazuje teplotu, tlak, vlhkost, CO<sub>2</sub>, TVOC, stav nabytí akumulátoru a čas posledního měření. U každé veličiny je uvedena hodnota, její jednotky a ikona tak, aby byla každá veličina jednoduše poznatelná. Konkrétní grafické uspořádání veličin na displeji je zobrazeno na obrázku 7.3.

Navíc díky trojbarevnému displeji se dají zobrazit i doporučené intervaly jednotlivých veličin. V případě, že je hodnota některé z veličiny větší než doporučená hodnota, vykreslí se tato hodnota červeně. Naopak, pokud je hodnota nižší než doporučená, hodnota se vykreslí šrafovaně. Hodnota stavu nabytí akumulátoru zčervená, pokud tato hodnota klesne pod 20 % (včetně).

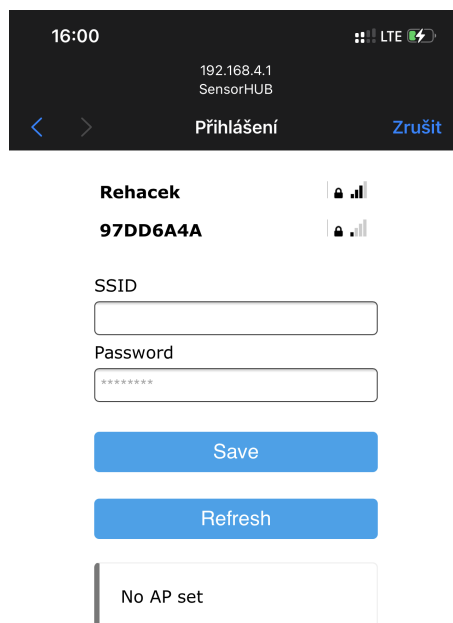


Obrázek 7.3. Rozvržení veličin na displeji.

## 7.2.4 Připojení zařízení k Wi-Fi síti

Chceme-li standardně připojit MCU ESP32 k lokální Wi-Fi síti, musíme předem v kódu programu specifikovat SSID jméno a heslo. Toto řešení není moc uživatelsky přívětivé, jelikož při změně Wi-Fi připojení musíme změnit kód programu a nový kód znovu nahrát do MCU. Proto byl pro tyto účely implementován WifiManager. Tato knihovna umožňuje jednoduchou správu Wi-Fi připojení.

Při zapnutí zařízení dojde k pokusu o připojení k nastavené Wi-Fi síti. Jestliže se po pár pokusech nepodaří k síti připojit, zařízení se přepne do AP režimu. V tomto režimu zařízení vytvoří vlastní Wi-Fi síť, na kterou je možné se připojit z počítače, nebo mobilního telefonu pomocí Wi-Fi připojení. Po připojení k vlastní Wi-Fi síti zařízení se na mobilním telefonu, nebo počítači zobrazí obrazovka, kde je možné nastavit nové připojení k nové Wi-Fi síti. Po zadání údajů lokální Wi-Fi sítě se zařízení pokusí o připojení. Při úspěšném připojení zmizí vytvořená vlastní Wi-Fi síť zařízení. V opačném případě je nutné proces připojení k lokální Wi-Fi síti zopakovat. Na obrázku 7.4 je ukázka obrazovky z WifiManagera.



**Obrázek 7.4.** Ukázka WifiManagera.

### 7.2.5 Komunikace monitorovací jednotky s hubem

Monitorovací jednotky s hubem komunikují pomocí HTTP požadavků. Tyto požadavky používají TCP síťovou vrstvu. Pro posílání HTTP požadavků musí monitorovací jednotka předem znát IP adresu hubu, ale toto není možné, jelikož pro připojení k Wi-Fi síti je použit WifiManagera a IP adresy jednotlivých zařízení jsou nastavovány automaticky. Z tohoto důvodu bylo implementováno řešení, které vyhledá hub a získá jeho IP adresu taktéž automaticky.

Při zapnutí, restartování nebo novém nastavení Wi-Fi sítě monitorovací jednotky, prohledá monitorovací jednotka připojenou Wi-Fi síť a vyhledá hub. Při nalezení hubu si monitorovací jednotka uloží IP adresu hubu, na kterou se bude dále připojovat. Jestliže není hub nalezen, monitorovací jednotka bude fungovat v offline režimu. V tomto režimu monitorovací jednotka pouze čte data ze senzorů a zobrazuje hodnoty na displeji. Nedochází tedy k přenosu dat z monitorovací jednotky na hub.

Automatické vyhledávání IP adresy hubu přináší určité nevýhody. První nevýhodou je to, že je potřeba nejdříve nastavit Wi-Fi připojení hubu a až poté monitorovacích jednotek. Další nevýhodou je, že při každém novém nastavení Wi-Fi připojení hubu je nutné znovu nastavit Wi-Fi připojení i na monitorovacích jednotkách, jelikož není zaručeno, že hub bude mít stejnou IP adresu jako předtím. Poslední nevýhodou může být, že toto řešení podporuje pouze IPv4.

### 7.2.6 Použité knihovny - hub

Pro implementaci požadovaných funkcí hubu byly použity tyto knihovny:

- **WiFiManager** – Knihovna sloužící pro snadné nastavení Wi-Fi připojení.
- **AsyncTCP** – Knihovna sloužící pro asynchronní spojení mezi klienty.
- **ESPAsyncWebServer** – Knihovna sloužící pro konfiguraci a ovládání webového serveru.
- **ESPmDNS** – Knihovna pro nastavování a získávání zařízení v rámci lokální sítě.
- **SPI** – Knihovna zaručující komunikaci s SPI zařízením.
- **SD** – Knihovna sloužící pro ovládání SD karty.
- **AsyncJson** – Knihovna zajišťující přijímání JSON formátu v rámci AsyncWebServeru.
- **ArduinoJson** – Knihovna umožňující používání JSON formátu.

### 7.2.7 Použité knihovny - monitorovací jednotka

Pro implementaci požadovaných funkcí monitorovací jednotky byly použity tyto knihovny:

- **WiFiManager** – Knihovna sloužící pro snadné nastavení Wi-Fi připojení.
- **ESPmDNS** – Knihovna pro nastavování a získávání zařízení v rámci lokální sítě.
- **SPI** – Knihovna zaručující komunikaci s SPI zařízením.
- **ArduinoJson** – Knihovna umožňující používání JSON formátu.
- **Wire** – Knihovna zaručující komunikaci s I<sup>2</sup>C zařízením.
- **Adafruit\_BME280** – Knihovna sloužící pro zařízení BME280.
- **Adafruit\_CCS811** – Knihovna sloužící pro zařízení CCS811.
- **HTTPClient** – Knihovna umožňující posílání Http požadavků na ostatní zařízení.
- **NTPClient** – Knihovna sloužící pro synchronizaci času.
- **WiFiUdp** – Knihovna umožňující komunikaci pomocí UDP protokolu.
- **GxEPD2** – Knihovna sloužící pro e-ink displeje.

## 7.3 Klientská část

Klientská část neboli Front-end je část aplikace, která běží ve webovém prohlížeči. Jejím hlavním úkolem je komunikovat s uživatelem a dané příkazy předávat serveru, v našem případě hubu. Pro získání požadovaných souborů uživatel jednoduše zadá URL adresu a server odešle všechna potřebná data. Všechny soubory klientské části jsou tedy uloženy staticky na microSD kartě připojené k hubu a kód webové aplikace běží u uživatele ve webovém prohlížeči.

### 7.3.1 Angular

V dnešní době jsou velmi populární single-page aplikace. Jedná se o druh aplikace, kdy uživatel navštívuje jednotlivé stránky a obsah je dynamicky generován. To umožňuje přepínání mezi stránkami bez jejich načítání. Tato funkce je dostupná díky jazyku Javascript, který je v dnešní době velmi rozšířen a podporován.

Angular[28], React[29] a Vue.js[30] patří k nejznámějším Javascriptovým frameworkům, které usnadňují vývoj single-page aplikací. Pro vývoj této aplikace byl zvolen framework Angular.

Angular je založen na tzv. modulech a komponentách. Modul představuje základní stavební blok aplikace, který se dále rozděluje na menší bloky tzv. komponenty. Komponenta se dá opakovaně používat, propojovat a definovat v jednotlivých modulech. Tímto vzniká pomyslná struktura a vzhled stránky. U každé komponenty se mohou specifikovat:

- Styly – Definují vzhled stránky.
- Strukturu – HTML prvky a jiné komponenty.
- Data a funkce – Slouží pro naplnění struktury a komunikaci s ostatními komponenty.

Pro správu jednotlivých komponent se používá Angular CLI, který je dostupný skrze npm. Npm neboli Node Package Manager je správce balíčku pro jazyk Javascript. Díky npm lze jednoduše do aplikace instalovat nové knihovny a balíčky.

### 7.3.2 Uživatelské rozhraní

Uživatel s aplikací interaguje pomocí grafického neboli uživatelského rozhraní. Rozhraní lze rozdělit na pět částí. Snímky jednotlivých rozhraní z aplikace jsou dostupné v Příloze A.

První částí je Hlavní stránka, kterou uživatel uvidí jako první. Na Hlavní stránce se nachází aktuální data jednotlivých monitorovacích jednotek. U každého monitorovací jednotky je zobrazeno její jméno, čas posledního měření a jednotlivé hodnoty měřených veličin. Jestliže inicializovaná monitorovací jednotka zatím nemá žádná naměřená data, zobrazí se heslo „Data nejsou dostupná“. Na obrázku A.1 ukázka Hlavní stránky pro tři monitorovací jednotky (Pracovna, Ložnice, Obývací pokoj).

Další částí uživatelského rozhraní je Historie. Zde si může uživatel vybrat požadovanou monitorovací jednotku, počet záznamů a veličiny, které chce zobrazit. Vybraná data se mu zobrazí v grafu, kde na ose X je zobrazen čas a na ose Y jsou uvedeny hodnoty požadované veličiny. Příklad Historie je uveden na obrázku A.2.

Třetí částí uživatelského rozhraní je Nastavení. V této části může uživatel editovat názvy jednotlivých monitorovacích jednotek, mazat naměřená data, resetovat hub do továrního nastavení a měnit Wi-Fi připojení hubu. Dále jsou zde zobrazeny základní informace jednotlivých monitorovacích jednotek a hubu, jako je např. IP adresa a název připojené Wi-Fi sítě. Příklad Nastavení je zobrazen na obrázku A.3.

Data jsou další částí uživatelského rozhraní. Jsou zde zobrazena všechna data v JSON formátu, která hub přijal od monitorovacích jednotek. Příklad stránky s Daty je zobrazen na obrázku A.4.

Pátá část zobrazovaná v uživatelském rozhraní jsou Informace. Zde jsou uvedeny základní informace týkající se této bakalářské práce (název práce, zadání, abstrakt atd.), základní uživatelská příručka pro nastavování a ovládání zařízení a seznam použitých knihoven. Vzhled stránky informace je uveden na obrázku A.5.

### ■ 7.3.3 Použité balíčky

Pro implemetaci požadovaných funkcionalit a usnadnění vývoje byly použity tyto knihovny:

- **Bootstrap** – Framework s předdefinovanými CSS styly pro html komponenty.
- **ngx-charts** – Knihovna pro vytváření a vykreslování grafů.
- **rxjs** – Knihovna pro zpracování asynchronních událostí.
- **FileSaver** – Knihovna pro ukládání souborů.



## Kapitola 8

### Cena nového řešení

Tato kapitola se zabývá cenovou kalkulací vlastního řešení zařízení pro monitorování ovzduší v domácnosti.

Pořizovací ceny jednotlivých komponent jsou uvedeny v tabulce 8.1. Výše jednotlivých cen pocházejí z jara r. 2020, kdy byly tyto komponenty zakoupeny. Do celkové ceny jsou započítány pořizovací náklady všech komponent a externí práce, která byla objednána na zakázku, jako například výroba plošných spojů.

Ve skutečnosti by konečná částka měla zahrnovat i osobní náklady za práci na vývoji a implementaci zařízení, pořizovací náklady dalších komponent, jako např. zdroj napájení, výroba krytů atd. Ty nejsou do této ceny započítány, jelikož byly využity již vlastněné. V případě komerčního prodeje tohoto zařízení by bylo nezbytné k uvedeným nákladovým položkám připočítat marži a další nákladové položky (např. spotřeba elektřiny, nájemné, reklama). Současně by však komerční výroba znamenala i snížení pořizovacích cen některých komponent.

Celková cena za toto zařízení a za výše stanovených podmínek je 1 749 Kč.

Komponenta	Cena(Kč)
Wemos Lolin D32	430
Wemos Lolin32	165
BME 280	22
CCS811	315
Micro SD card	17
Heltec Eink 2.13	250
Li-Pol akumulátor	300
Plošné spoje	250
Celkem	1 749

**Tabulka 8.1.** Cena vlastního řešení

# Kapitola 9

## Porovnání řešení

V této kapitole jsou porovnávána již na trhu existující řešení, uvedená v kapitole 4, s novým řešením podle množství měřených veličin, rozsahu a přesnosti jejich měření a ceny. Dále je porovnán subjektivní dojem autora práce z interpretace naměřených dat. U každé podkapitoly je uvedena přehledná tabulka, která zobrazuje souhrnné údaje jednotlivých řešení.

Znak „X“ v tabulkách označuje, že danou veličinu není možné měřit a „NONE“ označuje, že dané údaje výrobce zařízení neposkytuje. Znak „A“ symbolizuje, že dané řešení konkrétní funkcionalitu vlastní, naopak znak „N“ značí, že tuto vlastnost nevládní.

### 9.1 Rozsahy měření a počet sledovaných veličin

Přehledné porovnání jednotlivých řešení podle rozsahu měřených veličin je uvedeno v tabulce 9.1.

Jak je možné vyčíst z tabulky, tlak vzduchu dokáže měřit pouze vlastní řešení. Z tabulky dále vyplývá, že vlastní řešení má největší rozsahy pro měření teploty, CO<sub>2</sub> a TVOC. Rozsah měření vlhkosti vzduchu je skoro u všech řešení podobný. V porovnání cen je vlastní řešení sice nejlevnější, avšak musíme brát v potaz nezapočtení některých nákladových položek (viz. kap. 8). Toto porovnání je tedy pouze orientační.

Vlastní řešení umožňuje budoucí možné rozšíření o další monitorovací jednotky. Tuto funkcionalitu ze všech ostatních řešení poskytuje pouze Netatmo healthy home coach 3.1.

Řešení	Teplota(°C)	Tlak(kPa)	Vlhkost(%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	TVOC(ppb)	Cena(Kč)
Vlastní řešení	-40 – 85	30 – 110	0 – 100	400 – 29 206	0 – 32 768	1 749
Netatmo healthy home coach	0 – 50	X	0 – 100	0 – 5 000	X	2 600
Kaiterra laser egg	-20 – 100	X	0 – 99	0 – 300	0–9 999	3 300
Eve room	0 – 50	X	5 – 95	NONE	NONE	2 700
Wöhler CDL 210	-10 – 60	X	5 – 95	0 – 2 000	X	5 900
Xiaomi mijia air detector lite	0 – 50	X	0 – 99	400 – 9 999	0 – 150	1 800

Tabulka 9.1. Rozsahy měření a počet sledovaných veličin

### 9.2 Přesnost měření

Jak lze vyčíst z tabulky 9.2 v porovnání přesnosti měření vychází nejlépe ze všech řešení zařízení Netatmo healthy home coach. U vlastního řešení bohužel výrobce senzoru CCS811 neudává přesnost měření CO<sub>2</sub> a TVOC. V ostatních veličinách si vlastní řešení vede obdobně jako řešení uvedená na trhu.

Řešení	Teplota(°C)	Tlak(kPa)	Vlhkost(%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	TVOC(ppb)
Vlastní řešení	± 1,0	± 0,001	± 3	NONE	NONE
Netatmo healthy home coach	± 0,3	X	± 3	± 5%	X
Kaiterra laser egg	± 1,0	X	± 1	± 10%	± 15%
Eve room	± 0,3	X	± 3	NONE	NONE
Wöhler CDL 210	± 0,6	X	± 3	± 5%	X
Xiaomi mijia air detector lite	NONE	X	NONE	NONE	NONE

Tabulka 9.2. Přesnost měření

### 9.3 Zobrazení naměřených dat

V tabulce 9.3, je uvedena schopnost jednotlivých řešení zobrazovat data prostřednictvím různých metod. Všechna řešení, kromě Netatmo healthy home coach, disponují displejem pro zobrazení sledovaných dat. Historii měření je u většiny řešení možné zobrazit pouze v mobilní aplikaci. Zobrazení v mobilní aplikaci neumožňuje Wöhler CDL 210 a vlastní řešení. Wöhler CDL 210 poskytuje naměřená data pouze přes desktopovou aplikaci, kterou musí uživatel nainstalovat na počítač. Navíc pro zobrazení dat přes desktopovou aplikaci musí být zařízení připojit k počítači pomocí kabelu. Toto v dnešní době, kdy je trend mít vše dostupné bezdrátově, není moc uživatelsky přívětivé.

Vlastní řešení naopak využívá pro zobrazování dat webovou aplikaci. Pro toto řešení uživatel nemusí nic stahovat, nebo instalovat, protože jediné, co je zapotřebí, je přístup k internetu. Dalším nesporným kladem je skutečnost, že webová aplikace je dostupná jak na mobilu, tak na počítači, příp. tabletu, tudíž uživatel není platformně limitován.

Dle subjektivního názoru autora je jak uživatelsky, tak i technicky nejvhodnější variantou nové řešení využívající webovou aplikaci.

Řešení	Mobilní aplikace	Webová aplikace	Desktopová aplikace	Displej
Vlastní řešení	N	A	N	A
Netatmo healthy home coach	A	N	N	N
Kaiterra laser egg	A	N	N	A
Eve room	A	N	N	A
Wöhler CDL 210	N	N	A	A
Xiaomi mijia air detector lite	A	N	N	A

Tabulka 9.3. Uživatelská přívětivost

# Kapitola 10

## Závěr

Tato bakalářská práce s názvem „Senzor kvality ovzduší v domácnosti“ se zabývala systémy pro monitorování ovzduší v domácnosti.

Prostředí, ve kterém žijeme, přímo ovlivňuje náš zdravotní stav a díky rozvoji technologií je možné toto prostředí monitorovat a případně se přizpůsobit zjištěným skutečnostem tak, aby byly případné negativní dopady minimalizovány. Monitorování ovzduší pomocí senzorů je jedním z možností monitorování prostředí.

Hlavním cílem práce bylo navrhnout a sestavit systém pro sběr dat týkajících se ovzduší v domácnosti. Nejprve bylo nutné stanovit vlastnosti a požadavky, které musí systém splňovat. Tyto požadavky jsou uvedeny v kapitole 2. Všechny zde stanovené požadavky byly splněny.

V úvodní části práce byla popsána na trhu již existující řešení, která se tímto tématem zabývají, a která přibližně splňují stanovené požadavky.

V další části byl představen základní návrh nového řešení. Tento nově navržený systém je tvořen centrálním systémem pro sběr dat, neboli hubem, a podružnou monitorovací jednotkou. Podružná monitorovací jednotka obsahuje několik senzorů (teploty, vlhkosti, tlaku, koncentrace CO<sub>2</sub> a TVOC). Hub umožňuje přenos dat na webový server, kde je možné si data statisticky zobrazit ve webové aplikaci.

Součástí práce byl mimo jiné i popis principů jednotlivých komponent, následovalo uvedení konkrétních příkladů komponent používaných v této oblasti spolu s jejich technickými parametry. Pro tvorbu vlastního řešení byly vybrány nejvhodnější varianty jednotlivých komponent.

Následovaly kapitoly zaměřující se na zapojení jednotlivých součástí a na softwarovou implementaci řešení. V rámci této problematiky byla uvedena schémata zapojení komponent zařízení. Následně byly vytvořeny návrhy plošných spojů, pomocí kterých bylo možné si nechat plošné spoje vyrobit a následně tyto plošné spoje osadit vybranými komponentami. Byla popsána obecná architektura zařízení včetně jejích hlavních celků a jejich vzájemná komunikace. Dále byl představen doménový model ukládaných dat. Následně byla popsána implementace programů pro hub, monitorovací jednotku a webovou aplikaci. Byly zde vysvětleny problémy týkající se napájení monitorovací jednotky a vzájemné komunikace hubu a monitorovací jednotky, které se povedlo vyřešit a také byly uvedeny knihovny, které byly pro implementaci použity.

Pro návrh nového řešení byla v kapitole 8 uvedena cenová kalkulace. Tato kalkulace však odráží pouze skutečné náklady autora práce na komponenty, nikoli prodejní cenu, za kterou by bylo možné toto zařízení prodávat.

Dalším cílem práce bylo porovnat stanovené parametry navrženého systému pro monitorování kvality ovzduší v domácnosti se zařízeními, která jsou běžně komerčně dostupná. Byla srovnávána přesnost měření, kde bylo nové řešení nejlépe hodnoceno, a rozsahy měření sledovaných veličin, kde si nové řešení vedlo obdobně jako ostatní zařízení. Na rozdíl od ostatních zařízení umožňuje nové řešení také monitorování tlaku vzduchu. Dále byl popsán subjektivní dojem uživatele z inter-

---

pretace a formy zobrazení dat z měření. Zde u autora zvítězilo taktéž nové řešení a to především díky jeho přehlednosti a přístupu prostřednictvím webové aplikace.

Všechny stanovené cíle práce byly splněny.

Za hlavní přínos práce autor považuje vytvoření zařízení pro monitorování kvality ovzduší v domácnosti, které je možné snadno rozšířit o nové monitorovací jednotky. Samostatná práce autorovi přinesla nové zkušenosti ve vytváření zařízení na bázi mikrokontrolérů, konkrétně návrh základních stavebních bloků, návrh zapojení komponent, tvorbu návrhu plošných spojů, ale také programování samostatného mikrokontroléru.

## Literatura

- [1] Ladislav JANOŠTÍK. *Analýza historického vývoje počítačů*. [Online] 2020.  
[https://theses.cz/id/6d9k7u/bp\\_janostik.pdf](https://theses.cz/id/6d9k7u/bp_janostik.pdf).
- [2] Vladimír ZMRHAL. *Větrání rodinných a bytových domů*. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-4573-2.
- [3] KRAEMER SCOTT, Jonathan L. *Occupational hazards of carbon dioxide exposure*. Journal of Chemical Health and Safety, 2008. ISBN 1871-5532.
- [4] Eliška ČEJKOVÁ. *Vliv zateplování obytných budov na koncentraci CO<sub>2</sub> v ovzduší bytů*. [Online] 2020.  
<https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/157315/?lang=en>.
- [5] Netatmo.com. *Homecoach*. [Online] 2020.  
<https://www.netatmo.com/cs-cz/aircare/homecoach>.
- [6] Kaiterra.com. *Laser egg CO<sub>2</sub>*. [Online] 2020.  
<https://www.kaiterra.com/en/laser-egg-co2>.
- [7] Evehome.com. *Eve room*. [Online] 2020.  
<https://www.evehome.com/en/eve-room>.
- [8] Woehler.cz. *CDL 210*. [Online] 2020.  
<https://www.woehler.cz/cs/detekce-plynu/115-zaznamnik-mereni-co2-oxidu-uhliciteho-teploty-a-vlhkosti-vzduchu-cdl-210.html>.
- [9] Xiaomi-mi.com. *Xiaomi Mijia air quality detector lite*. [Online] 2020.  
<https://xiaomi-mi.com/appliances/mi-home-mijia-air-detector-lite/>.
- [10] Arduino.cc. *Arduino uno rev 3*. [Online] 2020.  
<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>.
- [11] Microchip.com. *ATmega328p*. [Online] 2020.  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATmega48A-PA-88A-PA-168A-PA-328-P-DS-DS40002061A.pdf>.
- [12] Petr STEHLÍK. *ESP32 je tu. Co přinese nástupce ESP8266?* [Online] 2020.  
<https://www.root.cz/clanky/esp32-je-tu-co-prinese-nastupce-esp8266/>.
- [13] Espressif.com. *ESP32 Datasheet*. [Online] 2020.  
[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf).
- [14] Petr KRČMÁŘ. *Raspberry Pi: miniaturní ARM počítač za pár stovek*. [Online] 2020.  
<https://www.root.cz/clanky/raspberry-pi-miniaturni-arm-pocitac-za-par-stovek/>.
- [15] Raspberrypi.org. *Raspberry pi 4 specification*. [Online] 2020.  
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>

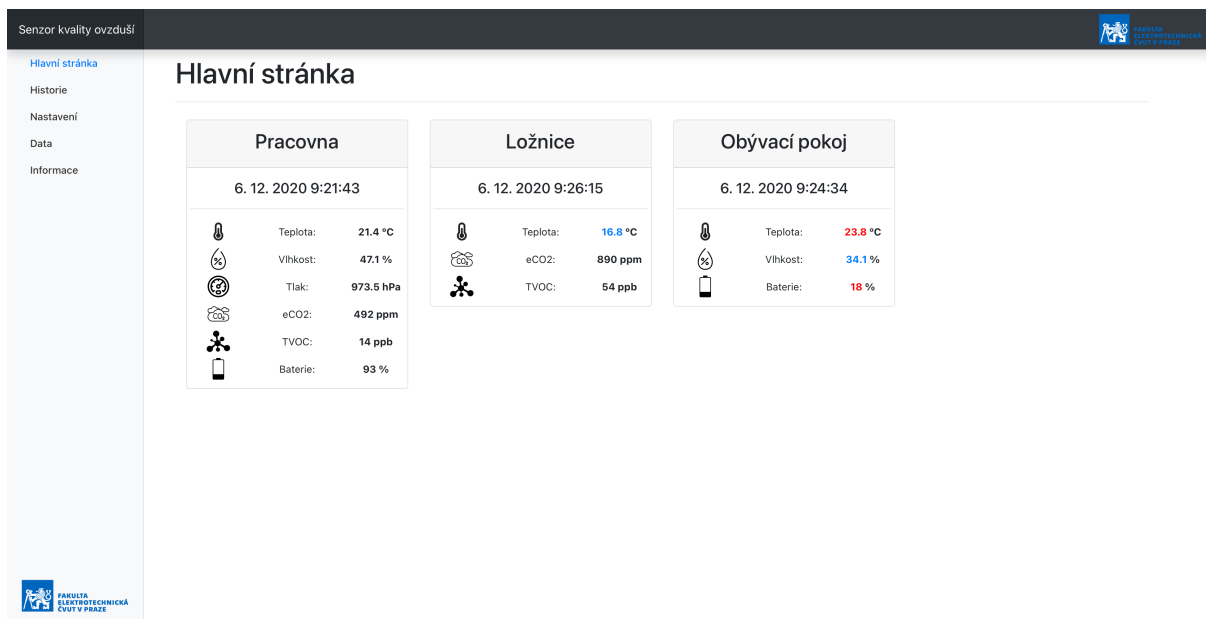
- [16] Automatizace.hw.cz. *Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech*. [Online] 2020.  
<https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-2-jak-ji-merit.html>.
- [17] Sparkfun.com. *CCS811*. [Online] 2020.  
[https://cdn.sparkfun.com/assets/learn\\_tutorials/1/4/3/CCS811\\_Datasheet-DS000459.pdf](https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/1/4/3/CCS811_Datasheet-DS000459.pdf).
- [18] Winsen-sensor.com. *MH-Z14a manual*. [Online] 2020.  
[https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z14a\\_co2-manual-v1\\_01.pdf](https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z14a_co2-manual-v1_01.pdf).
- [19] Bosch.com. *BME280*. [Online] 2020.  
[https://ae-bst.resource.bosch.com/media/\\_tech/media/datasheets/BST-BME280-DS002.pdf](https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BME280-DS002.pdf).
- [20] Te.com. *MS8607-02BA01*. [Online] 2020.  
[https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=show-doc&DocId=Data+Sheet%7FMS8607-02BA01%7FB3%7Fpdf%7FEnglish%7FENG\\_DS\\_MS8607-02BA01\\_B3.pdf%7FCAT-BLPS0018](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=show-doc&DocId=Data+Sheet%7FMS8607-02BA01%7FB3%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_MS8607-02BA01_B3.pdf%7FCAT-BLPS0018).
- [21] Aliexpress.com. *CFsunbird MS8607-02BA01*. [Online] 2020.  
<https://www.aliexpress.com/item/32831921809.html>.
- [22] František KLIMEŠ. *Moderní zobrazovací jednotky [online]*. 2012.  
<https://theses.cz/id/1fmaqs/>.
- [23] Heltec.cn. *Heltec e-ink 2.13"*. [Online] 2020.  
<https://heltec.org/project/213-e-ink/>.
- [24] Heltec.cn. *2,4" Oled display*. [Online] 2020.  
<https://heltec.org/project/24-oled/>.
- [25] Tomáš GYÖRGY. *Systém akumulace elektrické energie pro elektrické pohony*. [Online] 2020.  
<https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/14192/1/BP%20official!!!.pdf>.
- [26] Wemos.cc. *D32*. [Online] 2020.  
<https://www.wemos.cc/en/latest/d32/d32.html>.
- [27] Jean-Luc AUFRANC. *\$6.90 Wemos LoLin32 ESP32 Development Board Comes with 4MB Flash, Lithium Battery Support*. [Online] 2020.  
<https://www.cnx-software.com/2017/04/21/6-90-wemos-lolin32-esp32-development-board-comes-with-4mb-flash-lithium-battery-support/>.
- [28] Angular.io. *Homepage*. [Online] 2020.  
<https://angular.io>.
- [29] Reactjs.org. *Homepage*. [Online] 2020.  
<https://reactjs.org>.
- [30] Vuejs.org. *Homepage*. [Online] 2020.  
<https://vuejs.org>.



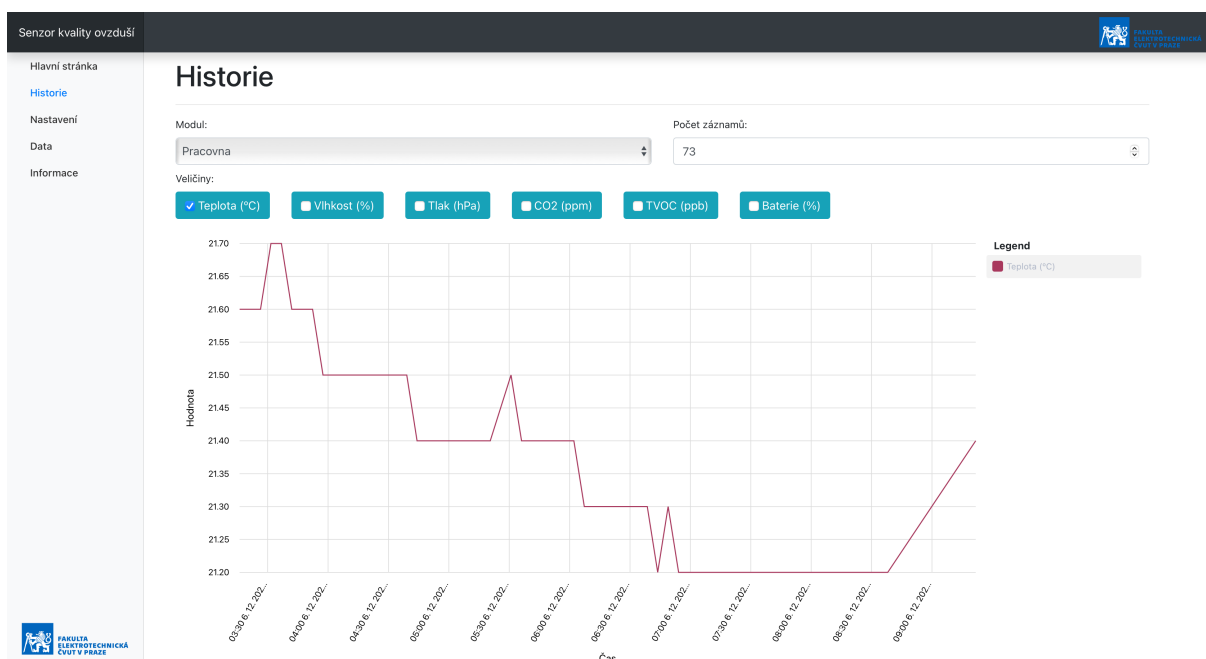


# Příloha A

## Snímky uživatelského rozhraní



Obrázek A.1. Hlavní stránka webové aplikace.



Obrázek A.2. Stránka historie webové aplikace.

Senzor kvality ovzduší

Hlavní stránka  
Historie  
Nastavení  
Data  
Informace

## Nastavení

### Hub

ID: 9c286f24 Změnit jméno [Změnit](#)

Typ: hub Resetovat Wi-Fi připojení [Resetovat](#)

IP Adresa: 192.168.1.3 Resetovat naměřená data [Resetovat](#)

Wi-Fi: Rehacek Resetovat všechna nastavení [Resetovat](#)

### Pracovna

ID: 2e286f24 Změnit jméno [Změnit](#)

Typ: sensor Odstranit modul [Odstranit](#)

IP Adresa: 192.168.1.2

Wi-Fi: Rehacek

### Ložnice

ID: 8c266f21 Změnit jméno [Změnit](#)

Typ: sensor Odstranit modul [Odstranit](#)

IP Adresa: 192.168.1.15

Wi-Fi: Rehacek

### Obývací pokoj

ID: 5e387a99 Změnit jméno [Změnit](#)

Typ: sensor Odstranit modul [Odstranit](#)

IP Adresa: 192.168.1.17

Wi-Fi: Rehacek

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ ČVUT V PRAZE

Obrázek A.3. Stránka nastavení webové aplikace.

Senzor kvality ovzduší

Hlavní stránka  
Historie  
Nastavení  
Data  
Informace

## Data

Počet záznamů: 73

```
[
  {
    "id": "2e286f24",
    "time": "2020-12-06T02:16:05Z",
    "temp": 21.6,
    "hum": 47,
    "press": 973.3,
    "co2": 702,
    "tvoc": 46,
    "bat": 93
  },
  {
    "id": "2e286f24",
    "time": "2020-12-06T02:21:18Z",
    "temp": 21.6,
    "hum": 47,
    "press": 973.1,
    "co2": 678,
    "tvoc": 42,
    "bat": 93
  },
  {
    "id": "2e286f24",
    "time": "2020-12-06T02:26:27Z",
    "temp": 21.6,
    "hum": 47,
    "press": 973.1,
    "co2": 700,
    "tvoc": 45,
    "bat": 93
  }
]
```

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ ČVUT V PRAZE

Obrázek A.4. Stránka data webové aplikace.

Senzor kvality ovzduší

Hlavní stránka

Historie

Nastavení

Data

Informace

## Informace

---

### Senzor kvality ovzduší

Verze: 1.0

Autor: Leoš Řeháček

#### Informace o projektu

Jedná se o bakalářskou práci vypracovanou v rámci studijního oboru Softwarové inženýrství a technologie na fakultě Elektrotechnické Českého účetního technického v Praze.

#### Název práce

Senzor kvality ovzduší v domácnosti

#### Zadání

- Prozkoumejte možná existující řešení senzorů kvality ovzduší pro domácnost.
- Navrhněte a sestrojte centrální systém pro sběr dat z podružných monitorovacích jednotek, který bude zajišťovat statistické zpracování a zobrazení dat na webovém serveru.
- Naprogramujte webové stránky pro zobrazení naměřených dat a analýz.
- Navrhněte a sestrojte monitorovací jednotku pro sběr dat ze senzorů (např. teplota, vlhkost, CO2, eventuálně další). Tato jednotka bude zobrazovat aktuální data na displeji a bude odesílat data do centrálního systému.
- Porovnejte dosažené parametry navrženého systému s alespoň dvěma komerčními produkty z bodu a) Porovnejte přesnost měření, rozsahy měření, počet sledovaných veličin, subjektivní dojem z formy zobrazení a interpretace dat měření.

#### Abstrakt

Cílem této práce bylo navrhnout a sestrojít senzor kvality ovzduší v domácnosti za využití senzorů a ESP32. Jsou vytvořeny dvě jednotky, které spolu komunikují pomocí Wi-Fi. Naměřená data jsou dostupná přes webový server pomocí webové aplikace psané v Angularu.

#### Uživatelská dokumentace

Stáhnout

#### Použité knihovny

##### Angular

- [Bootstrap](#) – Framework s předdefinovanými CSS styly pro html komponenty.
- [ngx-charts](#) – Knihovna pro vytváření a vykreslování grafů.
- [rxjs](#) – Knihovna pro zpracování asynchronních událostí.
- [FileSaver](#) – Knihovna pro ukládání souborů.

##### Hub

- [WiFiManager](#) – Knihovna sloužící pro snadné nastavení Wi-Fi připojení.
- [AsyncTCP](#) – Knihovna sloužící pro asynchronní spojení mezi klienty.
- [ESPAsyncWebServer](#) – Knihovna sloužící pro konfiguraci a ovládání webového serveru.
- [ESPMDNS](#) – Knihovna pro nastavování a získávání zařízení v rámci lokální sítě.
- [SPI](#) – Knihovna zaručující komunikaci s SPI zařízeními.
- [SD](#) – Knihovna sloužící pro ovládání SD karty.
- [AsyncJson](#) – Knihovna zajišťující příjemání Json formátu v rámci AsyncWebServeru.
- [ArduinoJson](#) – Knihovna umožňující používání Json formátu.

##### Senzor

- [WiFiManager](#) – Knihovna sloužící pro snadné nastavení Wi-Fi připojení.
- [ESPMDNS](#) – Knihovna pro nastavování a získávání zařízení v rámci lokální sítě.
- [SPI](#) – Knihovna zaručující komunikaci s SPI zařízeními.
- [ArduinoJson](#) – Knihovna umožňující používání Json formátu.
- [Wire](#) – Knihovna zaručující komunikaci s I2C zařízeními.
- [Adafruit\\_BME280](#) – Knihovna sloužící pro zařízení BME280.
- [Adafruit\\_CCS811](#) – Knihovna sloužící pro zařízení CCS811.
- [HTTPLClient](#) – Knihovna umožňující posílání Http požadavků na ostatní zařízení.
- [NTPClient](#) – Knihovna sloužící pro synchronizaci času.
- [WiFiUdp](#) – Knihovna umožňující komunikaci pomocí UDP protokolu.
- [GxEPD2](#) – Knihovna sloužící pro e-ink displeje.

**Obrázek A.5.** Stránka informace webové aplikace.

## Příloha B

### Seznam použitých zkratk

AD	■ Analogově Digitální
CCS	■ Cascading Style Sheets
CLI	■ Command Line Interface
CO <sub>2</sub>	■ Oxid uhličitý
CO	■ Oxid uhelnatý
eCO <sub>2</sub>	■ Koncentrace CO <sub>2</sub> vypočítána pomocí TVOC
GPIO	■ General-Purpose Input Output
HTML	■ HyperText Markup Language
I <sup>2</sup> C	■ Inter-Integrated Circuit
IP	■ Internet Protocol
MCU	■ Mikrokontrolér
PWM	■ Pulse Width Modulation
ROM	■ Read-Only Memory
SD	■ Secure Digital
SPI	■ Serial Peripheral Interface
SRAM	■ Static Random Access Memory
TVOC	■ Total Volatile Organic Compounds
UART	■ Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
URL	■ Uniform Resource Locator
USB	■ Universal Serial BUS