

# Měření kvality a přítomnosti nebezpečných látek v ovzduší pomocí mikropočítače

Patrik Juráň

---

Bakalářská práce  
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Patrik Juráň  
Osobní číslo: A21036  
Studijní program: B0714A150006 Aplikovaná informatika v průmyslové automatizaci  
Specializace: Inteligentní systémy s roboty  
Forma studia: Prezenční  
Téma práce: Měření kvality a přítomnosti nebezpečných látek v ovzduší pomocí mikropočítače  
Téma práce anglicky: Measurement of air quality and the presence of hazardous substances using a micro-controller

## Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Vyberte vhodné snímače a řídicí mikropočítač pro realizaci měřicího systému kvality ovzduší.
3. Proveďte hardwarový návrh jednotky a prakticky ji zrealizujte.
4. Vytvořte programové vybavení pro řídicí mikropočítač, umožňující zpracování naměřených údajů a jejich prezentaci.
5. Ověřte funkci zařízení a vyhodnoťte jeho vlastnosti.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. AUSTIN, Jill; BRIMBLECOMBE, Peter a STURGES, W. T. (ed.). *Air pollution science for the 21st century. Developments in environmental science*. Amsterdam: Elsevier, 2002. ISBN 008044119X.
2. CADY, Fredrick M. *Microcontrollers and microcomputers: principles of software and hardware engineering*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2010. ISBN 9780195371611. Dostupné také z: <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0917/2008045026-d.html>.
3. DYER, Stephen A. (ed.). *Survey of instrumentation and measurement*. New York: John Wiley & Sons, [2001]. ISBN 047139484X.
4. HRUŠKA, František. *Technické prostředky integrované automatizace*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2012. ISBN 9788074542343. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/18664>.
5. PINKER, Jiří. *Mikroprocesory a mikropočítače*. Praha: BEN – technická literatura, 2004. ISBN 8073001101.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Dostálek, Ph.D.**  
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **8. prosince 2023**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2024**

**doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.**  
děkan



**prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. prosince 2023

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

Patrik Juráň, v.r.  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je vytvořit zařízení měřící kvalitu ovzduší a obsah nebezpečných látek, které jsou velmi nebezpečné pro organismus. Zařízení je schopno měřit základní meteorologické fyzikální veličiny a obsah plyných látek v ovzduší. Měření a vyhodnocování probíhá na mikropočítači, kde se naměřená data posílají do databáze. V teoretické části je vysvětlena struktura mikropočítače a jeho programování, metody měření plyných látek pomocí sensoriky a popis nebezpečných látek znečišťující ovzduší. V praktické části je obsaženo sestavení zařízení, postup návrhu, programové řešení a testování zařízení.

Klíčová slova: mikropočítač, ovzduší, nebezpečné plyny, ESP32, Wi-Fi, Arduino

## **ABSTRACT**

The aim of this bachelor thesis is to create a device that measures air quality and the content of hazardous substances that are very dangerous for the organism. The device is capable of measuring basic meteorological physical variables and the content of gaseous substances in the air. Measurement and evaluation is carried out on a microcomputer, where the measured data is sent to a database. The theoretical part explains the structure of the microcomputer and its programming, methods of measuring gaseous substances using sensors and description of hazardous air pollutants. The practical part covers the construction of the device, the design procedure, programming and testing of the device.

Keywords: microcontroller, air, gas, ESP32, Wi-Fi, Arduino

Rád bych poděkoval panu Ing. Petru Dostálkovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce, za všechny cenné rady a za pomoc při řešení této práce. Rád bych dále poděkoval rodině za podporu při studiu.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 MIKROPOČÍTAČE</b> .....	<b>12</b>
1.1 ZÁKLADNÍ STRUKTURA MIKROPOČÍTAČE .....	13
1.1.1 Centrální procesorová jednotka.....	14
1.1.2 Paměť mikropočítače .....	16
1.1.3 Vstupní a výstupní obvody.....	18
1.1.4 Systémová sběrnice .....	21
1.1.5 Přerušovací systém.....	22
<b>2 PROGRAMOVÁNÍ MIKROPOČÍTAČŮ</b> .....	<b>23</b>
2.1 ZPŮSOBY PROGRAMOVÁNÍ MIKROPOČÍTAČŮ .....	23
2.1.1 Strojový jazyk .....	23
2.1.2 Jazyk symbolických adres.....	23
2.1.3 Vysokoúrovňové programovací jazyky .....	23
2.2 OPERAČNÍ SYSTÉM REÁLNÉHO ČASU FREERTOS.....	24
<b>3 CHEMICKÉ SENZORY</b> .....	<b>25</b>
3.1 STRUKTURA CHEMICKÝCH SENZORŮ .....	25
3.2 ELEKTROCHEMICKÉ SENZORY .....	26
3.2.1 Amperometrické senzory .....	27
3.2.2 Potenciometrické senzory .....	28
3.2.3 Konduktimetrické senzory .....	30
3.3 OPTICKÉ SENZORY.....	31
3.3.1 Absorpční senzory.....	31
3.3.2 Evanescentní senzory .....	32
3.3.3 Fluorescenční senzory .....	32
3.3.4 Refraktometrické senzory .....	32
<b>4 OVZDUŠÍ</b> .....	<b>33</b>
4.1 ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ .....	33
4.1.1 Přehled škodlivin a jejich dopad na zdraví člověka .....	34
4.1.2 Imisní limity škodlivin přítomných v ovzduší .....	36
<b>5 ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ KVALITY VZDUCHU</b> .....	<b>38</b>
5.1 STANICE IMISNÍHO MONITORINGU .....	38
5.1.1 Manuální imisní monitoring MIM .....	38
5.1.2 Automatický imisní monitoring AIM .....	39
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>40</b>
<b>6 VÝBĚR VHODNÝCH KOMPONENTŮ</b> .....	<b>41</b>
6.1 ŘÍDICÍ MIKROPOČÍTAČ .....	41

6.2	SENZORY PRO MĚŘENÍ KVALITY OVZDUŠÍ .....	41
6.2.1	Modul pro měření tlaku, teploty a vlhkosti BME280 .....	41
6.2.2	Optický senzor pevných částic SPS30 .....	42
6.2.3	Senzor oxidu uhličitého MH-Z19B.....	42
6.2.4	Modul pro měření nebezpečných plynů SEN0377 .....	42
6.2.5	Senzor ozonu SP3-61-00.....	43
<b>7</b>	<b>NÁVRH HARDWAROVÉ JEDNOTKY PRO MĚŘICÍ SYSTÉM KVALITY OVZDUŠÍ.....</b>	<b>44</b>
7.1	NÁVRH ŘÍDICÍ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ.....	44
7.2	NÁVRH MĚŘICÍ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ .....	48
7.3	PRAKTICKÉ ZHOTOVENÍ MĚŘICÍHO SYSTÉMU KVALITY OVZDUŠÍ.....	50
<b>8</b>	<b>PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ MIKROPOČÍTAČE .....</b>	<b>53</b>
8.1	KNIHOVNA PRO OBSLUHU MĚŘICÍHO SYSTÉMU KVALITY OVZDUŠÍ.....	53
8.1.1	Funkce v knihovně .....	53
8.2	HLAVNÍ PROGRAM.....	54
8.2.1	Úlohy operačního systému reálného času .....	54
8.2.2	Funkce v programu .....	55
8.3	KOMUNIKACE S DATABÁZÍ.....	56
8.3.1	Zapisování do databáze .....	56
8.3.2	Databáze .....	56
<b>9</b>	<b>OVĚŘENÍ FUNKCE ZAŘÍZENÍ A TESTOVÁNÍ.....</b>	<b>58</b>
9.1	MĚŘENÍ V ČISTÉM PROSTŘEDÍ .....	58
9.1.1	Vyhodnocení měření .....	60
9.2	MĚŘENÍ V ZAPRÁŠENÉM PROSTŘEDÍ.....	61
9.2.1	Vyhodnocení měření .....	64
9.3	MĚŘENÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ.....	64
9.3.1	Vyhodnocení měření .....	67
9.4	MĚŘENÍ HOŘÍCÍHO PAPIRU.....	68
9.4.1	Vyhodnocení měření .....	71
9.5	MĚŘENÍ CIGARETOVÉHO KOUŘE.....	72
9.5.1	Vyhodnocení měření .....	75
9.6	VYHODNOCENÍ VLASTNOSTÍ.....	75
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>89</b>



<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>90</b>
---------------------------	-----------

## ÚVOD

Znečištění a kvalita ovzduší jsou v dnešní době velmi diskutovanými tématy, která značně ovlivňují kvalitu životního prostředí, a především zdraví celé populace. Vzhledem ke škodlivým účinkům různých nebezpečných a znečišťujících látek na lidský organismus, by se mělo věnovat ještě více pozornosti do oblasti kvality ovzduší a vytvořit tak lepší a obyvatelnější místo pro budoucí generace. Zejména kvůli těmto důvodům byla zvolena bakalářská práce na téma měření kvality a přítomnosti nebezpečných látek v ovzduší pomocí mikropočítače.

Na začátku teoretické části v kapitole mikropočítače se nachází popis celé struktury obsahující centrální procesorovou jednotku, paměť, systémovou sběrnici, přerušovací systém a vstupně-výstupní obvody mikropočítače. V kapitole programování mikropočítačů jsou popsány jednotlivé programovací jazyky. Dále v kapitole je vysvětlena struktura operačního systému reálného času FreeRTOS. Kapitola chemické senzory se zabývá jednotlivými principy měření různých chemických látek a popisuje elektrochemické a optické senzory. Mimo jiné popisuje také strukturu chemických senzorů a princip jejich fungování. V předposlední kapitole pojednávající o ovzduší se nachází příčiny znečištění ovzduší, jednotný přehled škodlivin a jejich následný dopad na lidský organismus a imisní limity těchto škodlivin, které jsou dány zákonem 201/2012 Sb. V poslední kapitole zařízení pro měření kvality vzduchu se nachází vysvětlení a popis jednotlivých profesionálních měřicích stanic Českého hydrometeorologického ústavu, které se starají o environmentální monitorování kvality ovzduší v České republice.

Na začátku praktické části v kapitole výběr vhodných komponentů jsou popsány všechny použité komponenty, které byly implementovány do měřicího systému kvality ovzduší. V kapitole návrh hardwarové jednotky pro měřicí systém kvality ovzduší se nachází blokové schéma měřicího systému určené pro další realizaci, celkový postup při výrobě a osazování obou desek plošných spojů a praktické zhotovení celého měřicího systému. V kapitole programové vybavení mikropočítače se nachází vysvětlení celého programu založeném na operačním systému reálného času, popis jednotlivých funkcí v obslužné knihovně a komunikace s databází pomocí skriptu na straně serveru. V poslední kapitole ověření funkce zařízení a testování se nachází pět měření, na kterých byl samotný měřicí systém kvality ovzduší testován.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 MIKROPOČÍTAČE

Pojem mikropočítač lze definovat jako programovatelnou komponentu s malými rozměry, která plní samostatně funkci počítače. Mikropočítač lze také konstrukčně charakterizovat také jako složení mnoha logických obvodů, které provádějí logické a aritmetické operace na základě sekvenci instrukcí. Mezi základní architektury mikropočítačů lze zařadit: [1][2][3]

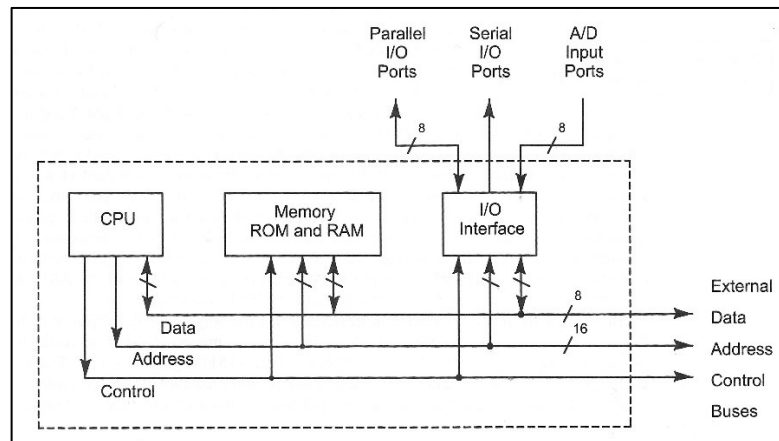
- a) Von Neumannova architektura,
- b) Harvardská architektura.

V dnešním světě mikropočítačů je většina mikropočítačů založena na von Neumannově architektuře, která má společnou operační paměť pro program a data. [3]

Mikropočítač lze použít v řadě aplikací, např. zpracování a vyhodnocování dat na základě technologického procesu, nízkorozpočtové testování a vývoj aplikací, lékařské zařízení pro sledování stavu pacientů, komunikační systémy, vojenská zařízení, avšak největší využití mikropočítače nacházejí zvláště ve spotřební elektronice, průmyslové automatizaci, automobilovém průmyslu, vzdělávání a také v IoT, angl. Internet of Things. [1][2]

### **Von Neumannova architektura**

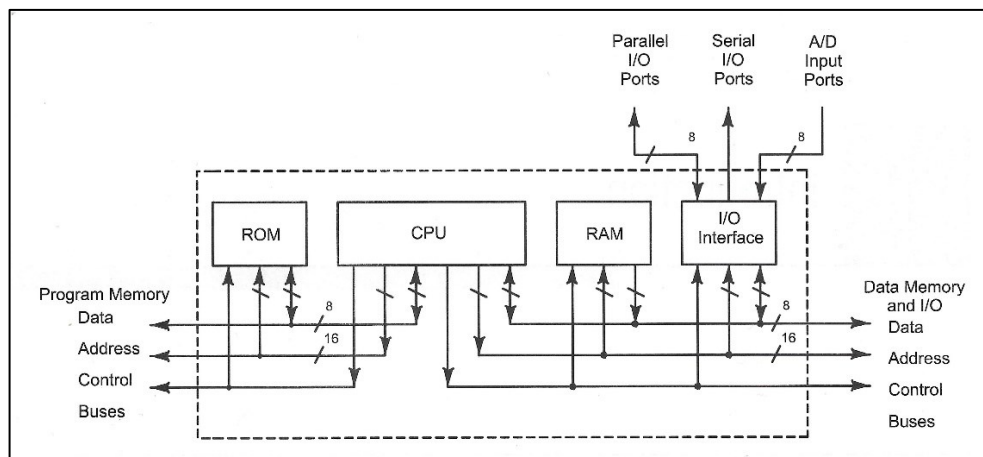
Von Neumannova architektura je tvořena centrální procesorovou jednotkou (CPU), společnou pamětí pro program i data a následně vstupně-výstupní jednotkou (Obrázek 1). Všechny tyto elementy mikropočítače jsou mezi sebou propojeny jednotlivými sběrnicemi – datovou, adresovou a řídicí. Výhodou u této architektury je to, že samotný čip je velmi zjednodušený a vyžaduje pouze jednu datovou sběrnici, avšak vzhledem ke společné paměti pro program i data dochází k pomalejšímu přenosu těchto dat po jedné datové sběrnici. [4][5]



Obrázek 1 Von Neumannova architektura [4]

### Harvardská architektura

Harvardská architektura se vyznačuje centrální procesorovou jednotkou (CPU) a vstupně-výstupní jednotkou. Velice se podobá von Neumannově architektuře, avšak s tím rozdílem, že má obě paměti kompletně oddělené a nejsou propojeny systémovou sběrnicí. Výhodou u této architektury je, že programová a datová sběrnice mohou mít různou šířku. Mezi další výhodou lze zařadit také vysokou rychlost zpracovávání instrukcí, díky možnosti čtení požadovaných instrukcí a dat souběžně. [4][5]



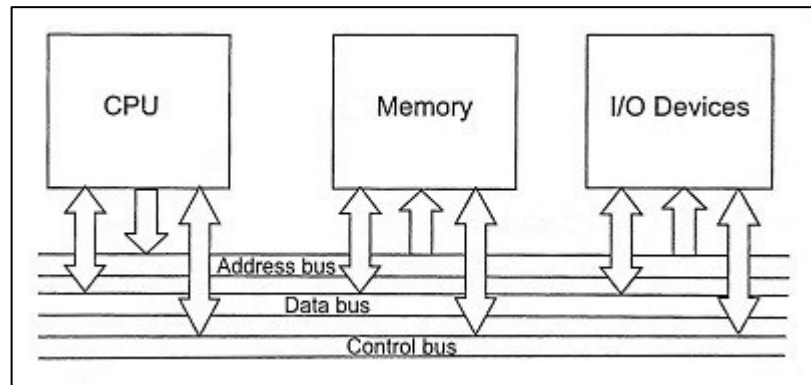
Obrázek 2 Harvardská architektura [4]

### 1.1 Základní struktura mikro počítače

Ve struktuře mikro počítače se nachází několik důležitých elementů, které mají výrazný vliv na funkčnost mikro počítače. Mezi základní prvky mikro počítače lze zařadit: [4][6]

- centrální procesorovou jednotku (CPU),
- paměť mikro počítače,

c) vstupní a výstupní obvody.



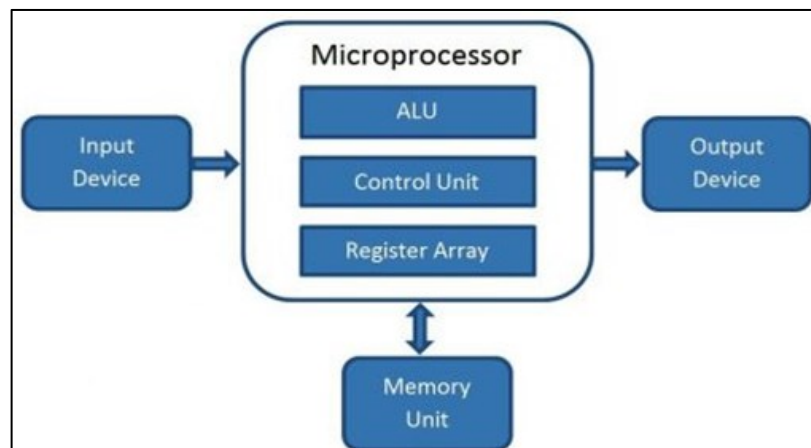
Obrázek 3 Struktura mikropočítače [43]

### 1.1.1 Centrální procesorová jednotka

U mikropočítačů se centrální procesorová jednotka, angl. Central Processing Unit (CPU) nazývá mikroprocesor, který je zodpovědný za zpracování všech instrukcí a provádění aritmetických i logických operací. Mikroprocesor si lze představit jako jeden čip velmi rozsáhlé integrace, angl. Very Large-Scale Integration (VLSI), ve kterém jsou obsaženy všechny registry, řídicí jednotka a aritmetické, či logické obvody mikropočítače. [6]

Rychlost mikroprocesoru je určena jeho taktovací frekvencí. Velikost slova mikropočítače (v bitech) a maximální velikost paměti jsou určeny počtem adresových a datových linek na čipu mikroprocesoru. Hlavní logiku, která se nachází uvnitř mikroprocesoru, lze rozdělit do tří hlavních částí: [6]

- a) registrová sekce,
- b) řadič,
- c) aritmeticko-logická jednotka (ALU).



Obrázek 4 Struktura mikroprocesoru [38]

### Základní registry mikroprocesoru

Registr mikroprocesoru lze definovat jako malou vnitřní paměť, která je zabudovaná interně v mikroprocesoru, sloužící zejména pro ukládání dat a pro manipulaci s těmito daty během provádění instrukce. Obecně registr může obsahovat různé instrukce, adresy paměťových míst, či jakýkoliv jiný druh dat. Základní struktura registru se skládá z několika klopných obvodů, čímž se rozumí zejména elektronické obvody, které jsou schopny uchovat jeden bit informace, která je reprezentována v binární podobě. Každý mikroprocesor je založen na jiné architektuře a celkové konstrukci, podle toho se také může lišit počet a typ registrů. Mezi základní registry mikroprocesoru patří: [4][6][13]

- a) programový čítač (PC), angl. Program Counter,
- b) registr instrukcí (IR), angl. Instruction Register,
- c) akumulátor (A), angl. Accumulator,
- d) adresový registr (AR), angl. Address Register,
- e) ukazatel zásobníku (SP), angl. Stack Pointer,
- f) datový registr (DR), angl. Data Register,
- g) příznakový registr (SR), angl. Status Register,
- h) řídicí registr (CR), angl. Control Register.

### Řadič

Hlavní funkci řadiče lze definovat jako vyhodnocování obsahu registru instrukcí a poté reakci na instrukci, kdy generuje posloupnost povolovacích signálů, které aktivují různé

bloky aritmeticko-logické jednotky, za účelem provedení určité operace. Signály, které jsou přímo generovány z řídicí jednotky, jsou vysílány po řídicí sběrnici do určitých prvků mikropočítače. Každý mikroprocesor má své odlišné řídicí signály, které jsou dány výrobcem mikroprocesoru. [6]

### **Aritmeticko-logická jednotka**

Aritmeticko-logická jednotka, angl. Arithmetic Logic Unit (ALU) se interně v mikroprocesoru stará o veškerou manipulaci s daty, jakými jsou aritmetické či logické operace. Je také zodpovědný za přijímání vstupů a ukládání výstupů do registrů akumulátoru a datové sběrnice. Základní logické operandy aritmeticko-logické jednotky patří konjunkce (log. funkce AND), disjunkce (log. funkce OR), exkluzivní disjunkce (log. funkce XOR), negace (log. funkce NOT), rotace doleva a doprava a také posuny. Tyto základní operandy jsou nejčastěji dodávány z datových registrů (zápisníková paměť), anebo z interní paměti, přičemž výsledky jsou následně zapsány do datového registru, anebo do interní paměti. [4][6][7]

#### **1.1.2 Paměť mikropočítače**

Paměť mikropočítače je určena pro interní ukládání instrukcí, programu a veškerých dat. Každý mikropočítač je vždy interně osazen paměti typu RAM (pro ukládání dat) a paměti typu ROM (pro ukládání programu). [4][6]

#### **Paměť RAM**

Paměť typu RAM, angl. Random Acces Memory (RAM) je používána zejména pro ukládání obsahu proměnných. Po odpojení napájení se obsah paměti RAM smaže. Po zapnutí napájení není obsah polovodičové paměti RAM definovaný, a proto musí být obsah do paměti přesunut z jiné polovodičové paměti. Toto přenesení může také proběhnout z disku, což je běžné u osobních počítačů. Mezi základní polovodičové paměti RAM lze zařadit: [4][6][7]

- a) dynamická paměť RAM,
- b) statická paměť RAM,
- c) pseudostatická paměť RAM.

#### *Dynamická paměť RAM*

Dynamická paměť RAM, označována také jako DRAM, obsahuje strukturu paměťových kondenzátorů, kam ukládá všechna přijatá data. Tyto kondenzátory uchovávají data po dobu



několika milisekund, zejména kvůli samovolnému vybíjení kondenzátoru. Obsah dynamické paměti RAM je nutné pravidelně obnovovat pomocí externích obnovovacích obvodů. [4][6][7]

#### *Statická paměť RAM*

Statická paměť RAM, označována také jako SRAM, obsahuje strukturu klopných obvodů, kam ukládá všechna přijatá data. Tato paměť se nemusí nijak obnovovat, na rozdíl od jiných typů paměti RAM. Všechna data v polovodičové paměti zůstávají zachována po celou dobu napájení. Statické paměti RAM podporují velmi rychlé přístupuování do paměti, proto se také vyznačuje velmi vysokou rychlostí. [4][6][7][8]

#### *Pseudostatická paměť RAM*

Pseudostatická paměť RAM, označována také jako PSRAM, kombinuje všechny výhody paměti SRAM a DRAM. Od paměti SRAM přebírá zejména výhody jednoduchých obvodů a nepotřebné použití pravidelného obnovování obsahu paměti. Od paměti DRAM přebírá výhody nižší pořizovací ceny a vyšší hustoty paměti. U tohoto typu se obnovovací obvod osazuje interně, přímo na čip. [4][6][8]

### **Paměť ROM**

Paměť ROM, angl. Read-Only Memory, je nevolatilní polovodičová paměť, která je určena pouze pro čtení, s obsahem předem nahreným během výroby. Obsah těchto pamětí je permanentní a uživatel jej nemůže nijak změnit. Tato polovodičová paměť ROM je často používána zejména pro kompletní program v embedded systémech a také pro zaváděcí programy (angl. boot), které řídí prvotní spuštění, když se zapne počítač, anebo když je resetován. Polovodičové paměti ROM lze dělit z technologického pohledu na dva typy, bipolární a MOS. Mezi základní používané typy polovodičových ROM pamětí lze zařadit: [4][6][7]

- a) MROM, maskou programovaná paměť ROM,
- b) PROM, programovatelná paměť ROM,
- c) EPROM, mazatelná a programovatelná paměť ROM,
- d) EEPROM, elektricky mazatelná a programovatelná paměť ROM,
- e) flash ROM.

### 1.1.3 Vstupní a výstupní obvody

Vstupní a výstupní obvody se starají o propojení veškerých externích periférií s mikropočítačem a o celkovou komunikaci mezi nimi. Vstupní a výstupní obvody lze dále dělit na: [6][7]

- a) Paralelní vstupní a výstupní obvody,
- b) Sériové vstupní a výstupní obvody.

#### Paralelní vstupní a výstupní obvody

Paralelní vstupní a výstupní obvody umožňují přenášet data tak, že se současně přenáší více bitů po více přenosových médiích. Obvykle se tyto data posílají ve skupinách po 8 bitech, což odpovídá jednomu bytu. Paralelní vstupní a výstupní obvody disponují vysokými přenosovými rychlostmi. V počítači se připojovací bod paralelních vstupních a výstupních obvodů nazývá paralelní brána. Při větších přenosových vzdálenostech dochází k chybám a obtížnější synchronizaci dat. Ve srovnání se sériovými vstupními a výstupními obvody jsou často rychlejší, vzhledem k počtu odeslaných bitů najednou. Při použití na krátké přenosové vzdálenosti jsou velmi jednoduché, ale při větších přenosových vzdálenostech se zvyšují razantněji náklady. [7][9]

#### Sériové vstupní a výstupní obvody

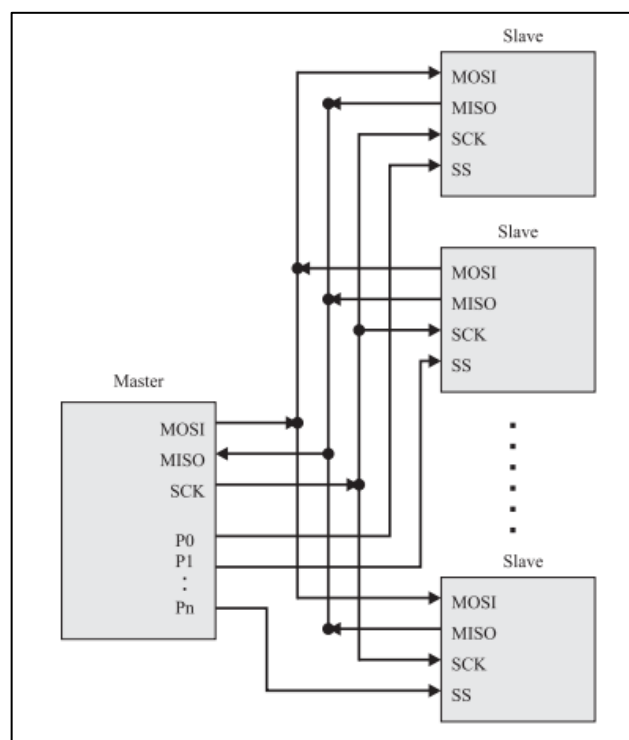
Sériové vstupní a výstupní obvody umožňují přenos dat jednotlivě za sebou (bit po bitu) po jednom přenosovém médiu, kde pracují pouze s jedním vstupním a jedním výstupním signálem. Veškerá přenášená data jsou předávána sériovým vysílačem sériovému přijímači. Základním prvkem sériových vstupních a výstupních obvodů je posuvný registr, který přijímá nově přichozí bit a ukládá jej na novou pozici s každým hodinovým impulzem. Po uložení přijatého bitu se nově uložené bity posunou o jednu pozici. Data v posuvném registru jsou seřazena v určité sekvenci, v této sekvenci jsou předány sériovému přijímači. Veškeré bitové uspořádání je závislé na pozici nejvýznamnějšího bitu MSB, angl. Most Significant Bit. Pokud se nejvýznamnější bit (MSB) nachází na nejvyšší pozici (levá strana binárního čísla) a nejméně významný bit (LSB, angl. Least Significant Bit) na nejnižší pozici (pravá strana binárního čísla), tak je nejprve předán nejméně významný bit (LSB). [7][9]

#### *Rozhraní SPI*

Sériová periferní rozhraní SPI, angl. Serial Peripheral Interface, lze definovat jako velmi jednoduché synchronní rozhraní propojující mikropočítač a externí periférii. Sériová

periferní rozhraní SPI je synchronní, protože nadřazené zařízení (Master), jenž odesílá data podřízenému zařízení (Slave), poskytuje také generovaný hodinový signál. Nedisponuje žádným datovým protokolem, který by se staral o jeho adresování, anebo kontrolu chyb. U sériové periferní komunikace SPI lze nalézt minimálně dva obvody, přičemž jeden z nich je typu master (obvykle procesor), jenž se chová jako nadřazené zařízení. Ostatní jsou typu Slave (podřízené zařízení). Nejčastěji se rozhraní SPI využívá pro komunikaci s externími perifériemi na jedné desce plošného spoje, kde se nejčastěji jedná o propojení paměti EEPROM, převodníků, různých senzorů, či hodin reálného času. Propojení mezi obvody se provádí pomocí čtyř vodičů: [4][7][10]

- datový výstup MOSI (angl. Master Out, Slave In),
- datový vstup MISO (angl. Master In, Slave Out),
- výstup hodinového signálu SCK (angl. Serial Clock),
- vstup SS (angl. Slave Select).

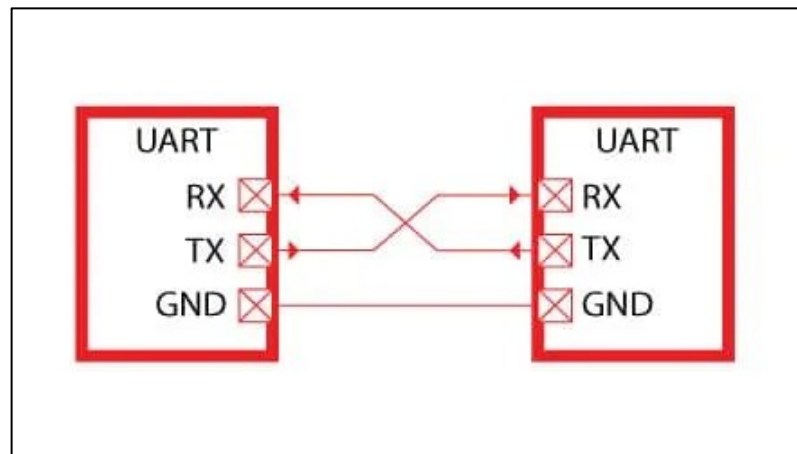


Obrázek 5 Sériová sběrnice SPI [10]

### Rozhraní UART

Sériovým asynchronním komunikačním rozhraním UART, angl. Universal Asynchronous Receiver – Transmitter, se rozumí sériová sběrnice, která přenáší všechna data mezi zařízeními asynchronně, což znamená, že při komunikaci dvou zařízení není používán

žádný hodinový signál, který by zajišťoval synchronizaci. Přenášeným datům jsou přiřazeny startovací a ukončovací bity, přičemž méně významný bit (LSB) je vysílán jako první. Startovací bit je umístěn na začátek přenášených dat, přičemž signalizuje přijímacímu zařízení prvotní stav komunikace. Přijímací zařízení čte všechny příchozí bity určitou přenosovou rychlostí, která se udává v bitech za sekundu. Obě komunikující zařízení musí pracovat se stejnou přenosovou rychlostí. Kontrola paritou se zde provádí zcela automaticky, kdy dochází k uložení výstupu generátoru parity, který se nachází ve vysílacím zařízení, za poslední datový bit. Na straně přijímacího zařízení se nachází také generátor parity, který vyhodnocuje všechna přijatá data. Vyhodnocení generátoru parity na straně přijímacího zařízení je srovnáno s přijatým paritním bitem, kde případný rozdíl vyjadřuje chybu v příjmu. [7][11]



Obrázek 6 Sériová sběrnice UART [39]

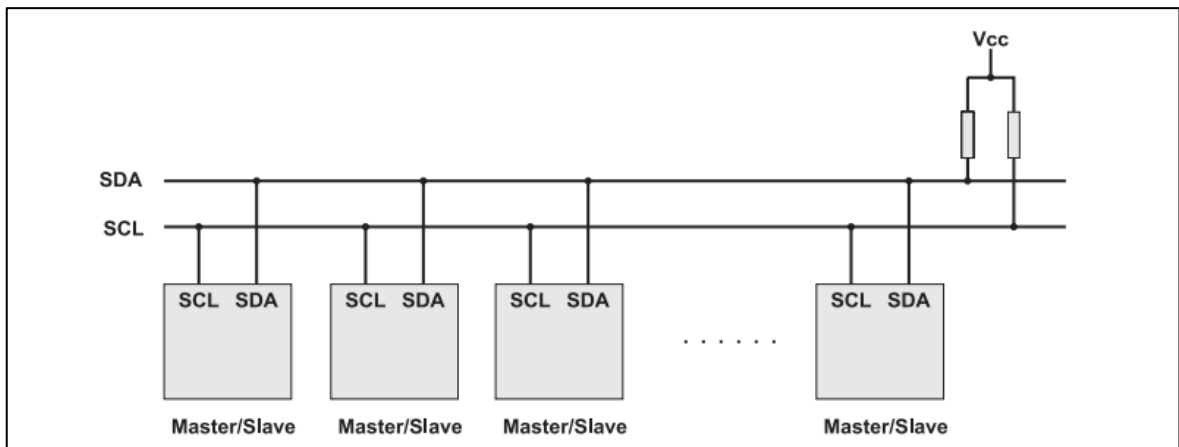
### *Rozhraní CAN*

Sériovými vstupními a výstupními obvody CAN, angl. Controller Area Network, se rozumí složitější sběrnice systém typu multimaster, v němž každé připojené zařízení k této sériové sběrnici může být nadřazeným zařízením. Je určen zejména pro propojování různých periférií s mikropočítačem, např. inteligentní senzory anebo akční členy. Sběrnice systém CAN byl navržen zejména pro aplikaci v automobilovém průmyslu, kde se staral o řízení a sběr dat, avšak našel své využití i v automatizaci díky vysoké přenosové rychlosti prioritních zpráv a celkové spolehlivosti sběrnice systému. Každé zařízení, jenž je připojeno k sériové sběrnici CAN, má svůj vlastní vysílač a přijímač. Logické úrovně sériové sběrnice CAN udává pull-up rezistor, přičemž logická hodnota 1, angl. high, se nazývá recesivní bit a logická hodnota 0, angl. low, dominantní bit. [4][7][10]

### Rozhraní IIC

Sériové rozhraní IIC, angl. Inter-Integrated Circuit Bus, lze definovat jako sběrnice systém typu multimaster, který disponuje interním mechanismem pro adresování jednotlivých periférií či integrovaných obvodů, jež jsou připojeny k sériové sběrnici IIC. Každé zařízení připojené k sériové sběrnici má svou vlastní 7 nebo 10bitovou adresu. Sériová sběrnice IIC disponuje pouze datovým (SDA) a synchronizačním vodičem (SCK). Mezi základní přenosové rychlosti lze zařadit: [4][7][10]

- 100 kbit/s (standardní režim),
- 400 kbit/s (rychlý režim),
- 3,4 Mbit/s (vysokorychlostní režim).



Obrázek 7 Sériová sběrnice IIC [10]

### 1.1.4 Systémová sběrnice

Systémová sběrnice slouží pro vzájemné propojení periférií a zařízení v mikropočítači, po které se přenáší všechny adresové, datové a řídicí informace. Velkou výhodou systémové sběrnice je přímé a jednoduché rozšiřování bez změny ve vnitřním zapojení, nevýhodou je však zdroj dat maximálně z jednoho zařízení. [6][7]

#### Adresová sběrnice

Adresová sběrnice je navržena k adresování paměti a jiných obvodů, kterým lze přiřadit adresu. Šířka adresové sběrnice bývá od 20 do 32 bitů, kde její maximální šířka udává maximální počet použitých adres. [6][7]

#### Datová sběrnice

Datová sběrnice je určena pro přenos dat, přičemž předávaná data mohou proudit oběma směry. Běžná šířka datové sběrnice se udává jako násobek osmi, což odpovídá jednomu byte. [6][7]

### **Řídicí sběrnice**

Řídicí sběrnice je složena z určitých signálů, které se starají o čtení, zápis či jiné aktivity připojených periférií. Většina řídicích signálů je přímo generována mikroprocesorem, ale řídicí signály můžou být generovány i jinou periférií. [6][7]

#### **1.1.5 Přerušovací systém**

Přerušovací systém informuje CPU o událostech v periferních obvodech, které vyžadují rychlou programovou obsluhu. Mezi události v periferních obvodech mikropočítače lze zařadit např. přetečení časovače, příjem nových dat na sériové lince, dokončený převod v analogově digitálním převodníku a jiné významné akce periférií. Mikroprocesor provádí cyklicky své operace, avšak do doby, kdy na přerušovací vstup mikroprocesoru přijde požadavek na přerušení. Mikroprocesor chod programu přeruší a provede odskok na obslužný podprogram. Po dokončení obslužného podprogramu se mikropočítač vrací do přerušovaného programu a pokračuje v cyklickém provádění operací. [4][7]

### **Řadič přerušení**

Mezi hlavní funkce řadiče přerušení patří zpracovávání požadavků na přerušení a informování mikroprocesoru o těchto požadavcích. Řadič přerušení má několik hlavních cílů: [4][7]

- a) registrovat a zaznamenávat požadavky na přerušení,
- b) zpracovávání prioritního řazení v případě většího počtu požadavků,
- c) informovat mikroprocesor o zdroji požadavku,
- d) informovat mikroprocesor o alespoň jednom existujícím požadavku.

## 2 PROGRAMOVÁNÍ MIKROPOČÍTAČŮ

Tato kapitola se zabývá základními principy a možnostmi programováním mikropočítačů, popisuje základní výhody, nevýhody a náročnost jednotlivých způsobů programování mikropočítače. Dále kapitola popisuje známý operační systém reálného času FreeRTOS.

### 2.1 Způsoby programování mikropočítačů

Mikropočítače lze programovat pomocí určitých instrukcí v jazyce symbolických adres, anebo vysokoúrovňovými programovacími jazyky, které jsou více lidsky orientované a pro člověka srozumitelnější. Mikroprocesory pracují pouze s binárními čísly a rozumí pouze strojovému kódu, proto tyto jazyky musí být přeloženy překladačem do příslušné binární podoby. [12]

#### 2.1.1 Strojový jazyk

Program, který je napsán ve strojovém jazyce, je reprezentován obvykle v binární, oktálové nebo hexadecimální soustavě. Programování tímto strojovým jazykem je často poměrně obtížné, neboť se pracuje pouze s čísly, a to je pro člověka nepřehledné a matoucí. Instrukční sada každého mikroprocesoru je definována jeho mikroprogramy a architekturou. Každý mikroprocesor má svou unikátní sadu instrukcí ve strojovém jazyce určenou právě výrobcem. [12]

#### 2.1.2 Jazyk symbolických adres

Jazyk symbolických adres je reprezentován instrukcemi, které jsou pojmenovány zejména v anglickém jazyce, takže programování v jazyce symbolických adres je o dost pohodlnější než pracovat s binárními čísly. Program, napsaný v jazyce symbolických adres, se překládá přímo do binární podoby pomocí programu „assembler“, který čte každou instrukci jako ASCII znaky a překládá je na odpovídající binární op-kódy. [12]

#### 2.1.3 Vysokoúrovňové programovací jazyky

Programy, jež jsou napsány ve vysokoúrovňovém programovacím jazyce, jsou složeny z příkazů, které jsou pojmenované v anglickém jazyce a odstraňují tak všechny nedostatky, které se nacházely ve strojovém jazyce či jazyce symbolických adres. Programátor, který programuje ve vysokoúrovňovém jazyce, nemusí znát vnitřní strukturu a instrukční sadu mikroprocesoru, avšak musí znát určitá pravidla vysokoúrovňového jazyka, tzv. syntaxi.

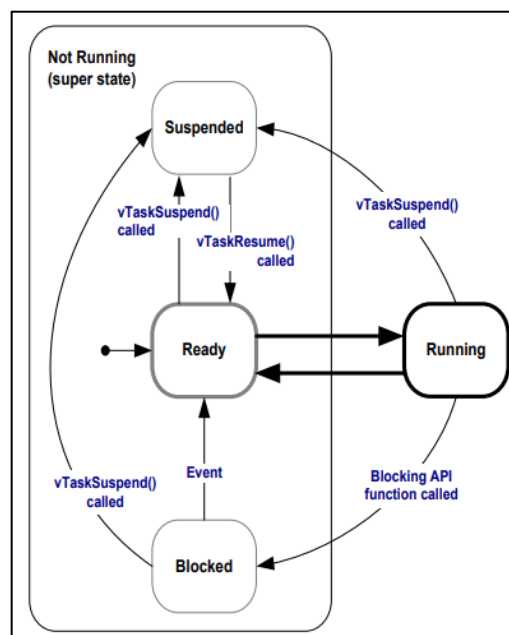
V současném světě mikropočítačů je využíváno několik vysokoúrovňových programovacích jazyků. Mezi nejznámější vysokoúrovňové programovací jazyky lze zařadit C a C++. [12]

## 2.2 Operační systém reálného času FreeRTOS

Operační systém reálného času FreeRTOS lze jednoduše popsat jako bezplatné a open-source jádro operačního systému (angl. kernel), které je určeno zejména pro implementaci do malých embedded systémů a pro vývoj aplikací vyžadující práci v reálném čase. Mezi základní funkce operačního systému FreeRTOS lze zařadit: [12][22]

- a) flexibilní přidělování priorit jednotlivým úlohám,
- b) fronty úloh,
- c) binární a počítací semaforey,
- d) mutexy a rekurzivní mutexy,
- e) softwarové časovače,
- f) preemptivní či kooperativní plánování úloh a další.

Mezi velké výhody operačního systému FreeRTOS patří volné užití v komerčních aplikacích, volná dostupnost a přenositelnost, jelikož se jádro operačního systému FreeRTOS skládá pouze z několika souborů, které jsou napsány v jazyce C. [12][22]



Obrázek 8 Životní cyklus úloh v operačním systému FreeRTOS [22]

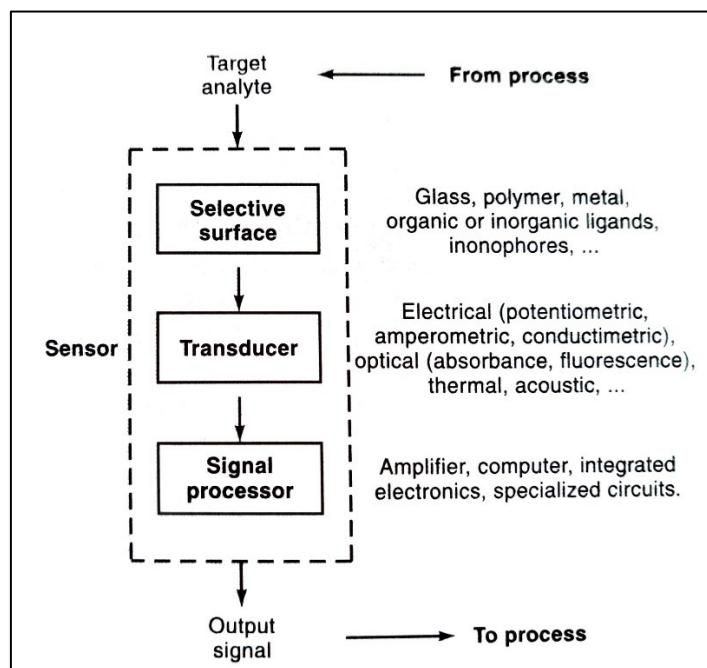


### 3 CHEMICKÉ SENZORY

Chemické senzory lze definovat jako zařízení, které je schopno detekovat a měřit chemické látky, které se často nacházejí ve složité chemické směsi. Hlavním cílem chemických senzorů je detekce a měření chemických složek, a poté následné transformování na analyticky užitečný signál, který lze zpracovat. Chemické senzory jsou zpravidla součástí nějakého většího měřicího zařízení, které se stará o poskytování informací. Měřenou chemickou směsí může být látka v plynném nebo kapalném skupenství, či tuhý nebo polotuhý substrát. Chemické senzory se využívají v celé škále odvětví, ale zejména v průmyslu, zdravotnictví, anebo v enviromentálním monitorování. [14][15]

#### 3.1 Struktura chemických senzorů

U chemických senzorů lze definovat tři základní části, které určují skladbu chemického senzoru. Mezi tyto části patří selektivní povrch, snímač a obvody pro zpracování signálu. Selektivní povrch se stará zejména o fyzickou interakci s určitým analytem, kde analytem se rozumí chemická směs, která je podrobena analýze. Snímač, lze definovat jako jednoduché elektrické zařízení, které sleduje spojení selektivního povrchu s analytem. Snímač může být vyroben z polymerního materiálu, kde se jeho odpor mění v závislosti na obsahu analytu, či může snímač měnit barvu, anebo propouštět světlo. Následně se provede zpracování a zesílení signálu. Signál, vycházející z chemického senzoru, je vždycky elektronický a lze jej propojit s řídicí jednotkou či zapisovačem a poté s tímto signálem pracovat a dále jej vyhodnocovat. Senzorem se rozumí zařízení, ze kterého vystupuje již unifikovaný signál, zatímco snímač lze popsat jako prvek v senzoru, jehož signál musí být dalšími obvody zpracován. [14]



Obrázek 9 Struktura chemického senzoru [14]

### Parametry chemických senzorů

Chemické senzory mají různé parametry, které jsou velmi důležité zejména pro jejich účinnost, efektivitu a správné použití. Mezi základní statické i dynamické parametry chemických senzorů lze zařadit citlivost, mez detekce, dynamický rozsah, selektivitu, linearitu, rozlišení, dobu odezvy, hysterezi, stabilitu a životnost chemického senzoru. [15]

### 3.2 Elektrochemické senzory

Jedním z nejvýraznějších výhod elektrochemických senzorů je okamžitá generace výstupního elektrického signálu, to je důvodem k vysoké propojenosti chemické sensoriky a elektrochemie. Elektrochemické senzory nejsou primárně založeny na principu chemických reakcí, ale spíše na principu fyzikálních vlastnostech iontů analytu, které se přímo pohybují ve vnitřní struktuře roztoku. Mezi elektrochemické senzory lze zařadit: [14][15]

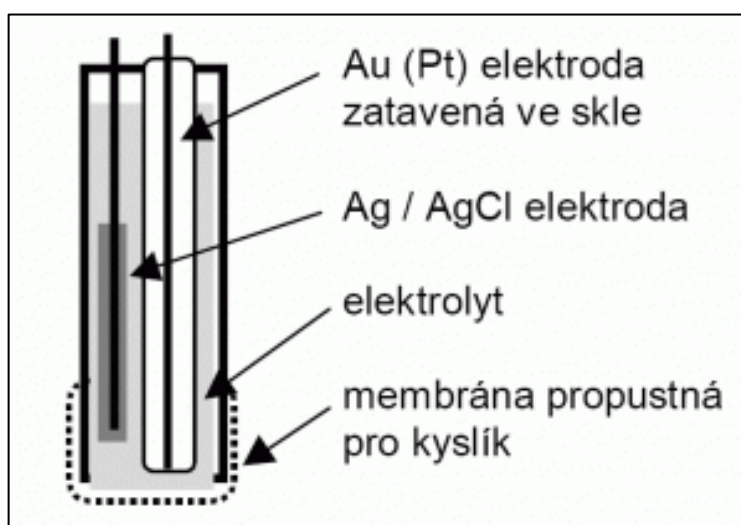
- a) amperometrické senzory,
- b) potenciometrické senzory,
- c) konduktimetrické senzory.

### 3.2.1 Amperometrické senzory

Amperometrický senzor je definován jako elektrochemický senzor, který je strukturálně složen z minimálně dvou kovových elektrod (katoda a anoda), které mezi sebou udržují konstantní elektrický potenciál. V uzavřeném elektrickém obvodu se měří elektrický proud, procházející přes tyto dvě elektrody, a poté je vyhodnocován příslušnými elektronickými obvody, přičemž jeho změna indikuje přítomnost analytu. Základním mechanismem amperometrických senzorů je Faradayův zákon, jež definuje vztah mezi moly (látkové množství  $N$ ) chemických látek a elektrickým nábojem ( $Q$ ), který prochází skrze senzor. [14]

#### Polarografické senzory

Běžným amperometrickým senzorem je také polarografická či Clarkova elektroda, která se používá při detekci rozpuštěného kyslíku v kapalinách. Tyto typy elektrod obsahují pracovní platinovou (Pt) elektrodu a referenční elektrodu, která je vyrobena ze stříbra nebo z chloridu stříbrného (Ag nebo AgCl). Pracovní platinová elektroda je obvykle oddělena od měřeného roztoku pomocí velmi tenké membrány, jež je vyrobena ze silikonového polymeru (teflon), sloužící k aktivnímu propouštění kyslíku. Membrána slouží také jako ochrana před možným znečištěním senzoru, které by mohlo vést k případnému zhoršení provozních vlastností. Mezi pracovní a referenční elektrodou je udržován konstantní elektrický potenciál, přičemž je sledována změna elektrického proudu, která prochází mezi těmito elektrodami. V ustáleném stavu polarografické nebo Clarkovy elektrody je elektrický proud procházející elektrodami přímo úměrný koncentraci rozpuštěného kyslíku v analytu. [14]



Obrázek 10 Struktura Clarkovy elektrody [44]

### **Galvanické senzory**

Galvanické senzory, patřící do skupiny amperometrických senzorů, se vyznačují referenční elektrodou (anodou), která je obvykle vyrobena z jiného běžného kovu, např. olova (Pb) nebo zinku (Zn). Pracovní elektroda (katoda) je obvykle vyrobena ze stříbra (Ag). Není zapotřebí připojení elektrod na žádný vnější elektrický potenciál, neboť elektrický proud je přímo generován za pomoci elektrochemické reakce a je tak přímo úměrný koncentraci rozpuštěného kyslíku v měřeném analytu. [14]

### **Senzory na bázi palivových článků**

Senzory palivových článků, angl. Fuel Cell Sensors, patřící do skupiny amperometrických senzorů, se vyznačují zejména olovnatou referenční elektrodou (anoda) a pracovní elektrodou (katoda), přičemž obě elektrody jsou ponořeny do elektrolytu. Při chemické reakci na povrchu olovnaté referenční elektrody (oxidace olova) se uvolňuje jeden elektron, který je zachycen pracovní elektrodou a dochází tak ke generaci elektrického proudu, který je přímo úměrný koncentraci měřené látky v analytu (např. glukóza nebo kyslík). [14]

### **3.2.2 Potenciometrické senzory**

Potenciometrické senzory strukturálně obsahují referenční a pracovní elektrodu, jako je tomu u amperometrických senzorů. Vyhodnocuje se elektrický potenciál mezi těmito elektrodami, který je logaritmicky úměrný koncentraci látek v analytu. Logaritmická závislost je způsobena rovnovážnými podmínkami mezi látkami v analytu a na elektrodě (nulový tok iontů). [14]

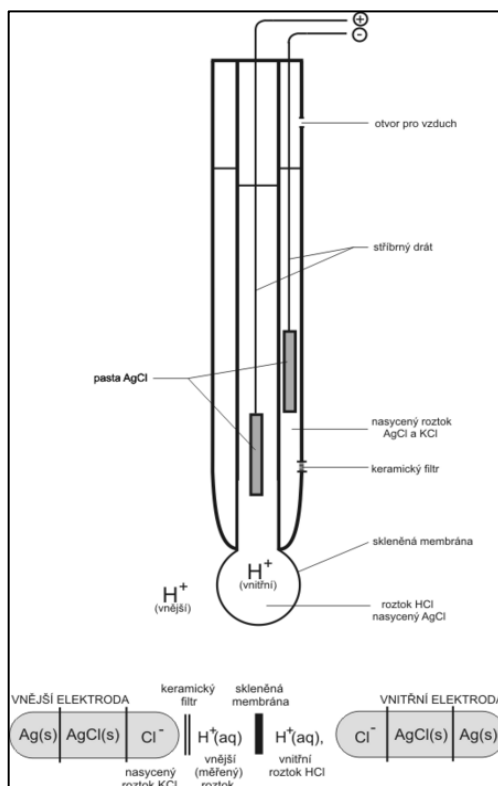
### **Iontově selektivní elektrody**

Nejdůležitější vlastností iontově selektivních elektrod, angl. Ion-Selective Electrode (ISE), patří selektivita, která se liší v závislosti na použitému typu membrány:[23]

#### *Skleněná elektroda*

Skleněná elektroda je určena pro měření pH (potenciál vodíku) a obsahuje tenkou skleněnou membránu, která skrze sebe propouští jenom kladné ionty vodíku ( $H^+$ ) z analytu. Často se využívají kalomelové elektrody, či elektrody ze stříbra nebo chloridu stříbrného. Vnější trubice na svém dně má zatavenou elektrodu se skleněnou membránou, tato trubice je poté naplněna roztokem kyseliny chlorovodíkové (HCl), do které je ponořena referenční elektroda (stříbrný drát). Změna potenciálu je měřena na referenční elektrodě proti pracovní

elektrodě. Skleněné elektrody jsou vysoce selektivní pro měření určitého druhu látky. [14][23]



Obrázek 11 Skleněná elektroda [45]

### *Elektrody s kapalnou membránou*

Membrána u tohoto typu má tloušťku zhruba 10 až 20 mm, přičemž jsou zhotovovány z PVC, které obsahuje organickou sensorově aktivní složku a je nerozpustná ve vodě. Do vnitřního roztoku je ponořena referenční elektroda. Mezi základní materiály, ze kterých se vyrábí membrány pro tento typ elektrod jsou např. PVC, teflon nebo sintrované sklo. [23]

### *Elektrody s pevnou membránou*

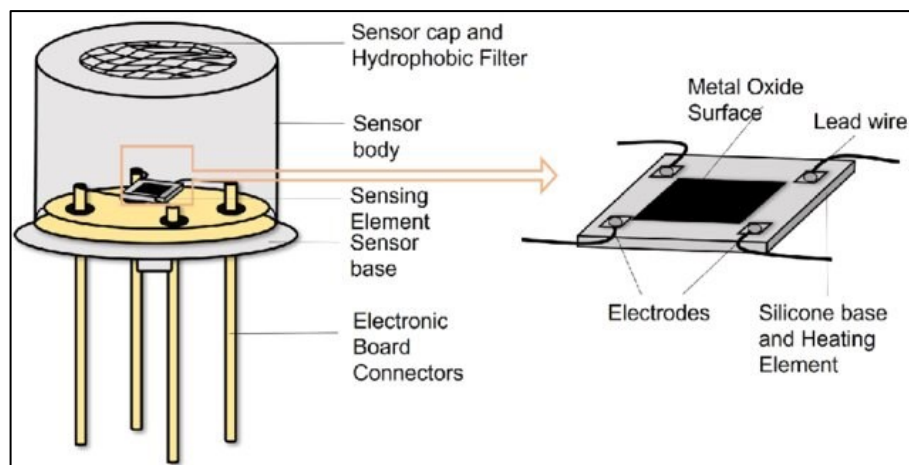
Elektrody s pevnou membránou, angl. Solid-State Electrodes, obsahují monokrystal, či směsný krystal. Mezi obvyklé elektrody, které využívají monokrystal patří také iontově selektivní elektroda citlivá na ionty fluoridu. Do dna vnější plastové trubice je zataven krystal o velikosti přibližně 2 mm, poté je tato trubice naplněna roztokem fluoridu sodného (NaF) a chloridu sodného (NaCl). Do tohoto roztoku je ponořena referenční elektroda, která je vyrobená ze stříbra či chloridu stříbrného. [23]

### 3.2.3 Konduktimetrické senzory

Konduktimetrické nebo odporové senzory jsou strukturálně nejjednoduššími senzory, které často vyžadují důkladnou kalibraci k definování správné a přesné selektivity. Senzory tohoto typu jsou založeny na principu přítomnosti kladných či záporných iontů nesoucí elektrický náboj v elektrolytu. Přítomnost těchto iontů mění elektrickou vodivost roztoku elektrolytu. Tato metoda je méně selektivní, neboť všechny ionty, které jsou přítomny v elektrolytu ovlivňují elektrickou vodivost. U těchto typů senzorů se vyhodnocuje nejčastěji zejména elektrický odpor mezi dvěma elektrodami, které jsou ponořené do elektrolytu. [14][23]

#### Polovodiče na bázi oxidů kovů

Polovodiče na bázi oxidů kovů, angl. Metal Oxide Semiconductors (MOS), fungují na principu změny elektrické vodivosti vodivého materiálu v případě, že má vodivý materiál kontakt s molekulami plynu. Tato změna elektrické vodivosti je poté vyhodnocována. Často se pro vodivé materiály využívají oxidy kovů, např. oxidy zinku  $ZnO$ , cínu  $SnO_2$ , wolframu  $WO_3$ , india  $In_2O_3$ . Oxidy kovů v tomto případě fungují jako polovodič typu N. Při kontaktu vodivého materiálu se vzduchem se vytvoří rovnovážný stav s molekulami kyslíku, přičemž přítomnost jiného plynu poškodí tento rovnovážný stav a dojde ke změně vodivosti vodivého materiálu. Výhodou tohoto senzoru je velmi dlouhá životnost, nízká pořizovací cena a krátká doba odezvy, nevýhodou je nízká citlivost a vyšší spotřeba energie. Tyto senzory lze využít v průmyslu či civilním použití. [16][18]



Obrázek 12 Struktura polovodiče na bázi oxidů kovů (MOS) [46]

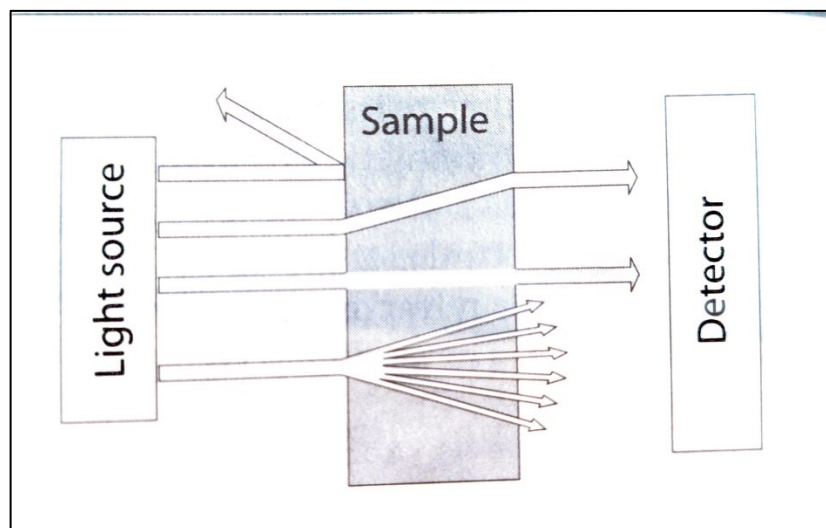
#### Vodivé polymery

Vodivé polymery můžeme definovat jako plasty, které mají ve své vnitřní struktuře vodivé části, např. kovy či uhlíkové částice. Obvykle se vnitřní struktura skládá z organických

materiálů (uhlík nebo vodík) a heteroatomů (síra nebo dusík). Heteroatomem se rozumí atom, který není uhlík či vodík. Vodivý polymer se často v senzorech vyskytuje ve formě filmu, který je nanesen mezi dvě platinové či zlaté elektrody. Při sorpci (vázání jedné látky na druhou) par plynné látky či kapalné látky se zvětšuje objem vodivého polymerního filmu, což vede ke změně elektrického odporu. Výhodou těchto sensorů je vysoká citlivost, nižší spotřeba energie a krátká doba odezvy, zatímco nevýhodou je špatná selektivita a nestabilita. Tyto senzory lze využít v chemickém průmyslu či sledování vnitřní kvality vzduchu. [14][17][18]

### 3.3 Optické senzory

Optické chemické senzory pracují na principu změny vlastností (absorpce, rozptyl nebo emise) světla v závislosti na koncentraci dané chemické látky. Sledováním změny těchto vlastností je schopen senzor vyhodnotit informace o přítomnosti či koncentraci plynu. Optické senzory obsahují optický vlnovod, což si lze představit jako tenké vlákno sloužící k vedení světla. Výhodou chemických optických sensorů je necitlivost ke změně prostředí, vysoká selektivita, stabilita, citlivost a životnost. Nevýhodou těchto sensorů je vyšší pořizovací cena. Tyto senzory lze použít pro environmentální sledování látek v ovzduší anebo pro detekci úniku plynu. [14][18][20]



Obrázek 13 Základní formy interakce mezi zářením a měřeným analytem - absorpce, lom, odraz a rozptyl [15]

#### 3.3.1 Absorpční senzory

Absorpční senzory pracují na principu absorpční spektroskopie, kterou se rozumí zeslabování intenzity vyzařovaného světla při průchodu měřeným analytem. Tyto senzory,

využívající absorpční spektroskopii, jsou široce využívány v optickém měření a sledování koncentrací plyných látek. Hlavním mechanismem popisující vztah mezi absorpcí světla a koncentrací měřeného plynu je Beerův-Lambertův zákon, který říká, že množství světla, které je absorbované měřeným plynem je přímo úměrné koncentraci tohoto měřeného plynu a délce dráhy procházejícího světla měřeným plynem. [14][19][20]

### 3.3.2 Evanescentní senzory

Tyto senzory jsou založeny na principu evanescentního pole, což lze chápat jako elektromagnetické pole, které se šíří na velmi krátkou vzdálenost od oblasti mezi měřenou látkou a jádrem vlnovodu. Lze také pro tyto typy senzorů využít membrány, které značně ovlivní selektivitu tohoto senzoru a lze tak využít evanescentní senzory i pro jiné typy chemických látek. [14]

### 3.3.3 Fluorescenční senzory

Fluorescenční senzory pracují na principu fluorescenční spektroskopie, která může být popsána jako metoda optického snímání plynů zakládající se na uvolňování světelné energie z molekul plynu po přijetí energie z dopadajícího fotonu. Optický, fluorescenční senzor může tuto uvolněnou světelnou energii, která má určitou vlnovou délku, zachytit a určit přítomnost či koncentraci měřené chemické látky. Tyto senzory se využívají v aplikacích, kde je zapotřebí mít citlivější optický senzor. [14][20]

### 3.3.4 Refraktometrické senzory

Refraktometrické senzory patří mezi nejpoužívanější metody měření přítomnosti či koncentrace chemických látek. Pracují na principu změny indexu lomu vlivem změny koncentrace či hustoty kapalného roztoku. Obal optického refraktometrického senzoru je obvykle použit jako selektivní materiál (např. polymer), který mění svůj objemový index lomu při vstřebávání molekul chemické látky. Refraktometrické senzory jsou široce využívány pro sledování koncentrace aromatických uhlovodíků v podzemních vodách. [14][19][21]



## 4 OVZDUŠÍ

Ovzduší neboli také atmosféra obklopující naši planetu tvoří tzv. plynný obal země a tato atmosféra je klíčovým prvkem životního prostředí. Chemické složení se neustále mění vlivem vývoje naší planety, avšak je tvořena zhruba 78 % dusíku, 21 % kyslíku, 0,93 % argonu, 0,03 % oxidu uhličitého a vzácných plynů, mezi které patří helium, neon, krypton, xenon apod. Vzduch, nacházející se na naší planetě Zemi, je aktivně vdechován lidmi a všechny látky, které jsou obsaženy ve vzduchu, mají možnost se dostat až dovnitř lidského těla a značně tak ovlivnit organismus či zdraví člověka. [24][25][26]

### 4.1 Znečištění ovzduší

Ke znečištění ovzduší dochází vlivem lidské nebo přírodní aktivity. Pobyt ve znečištěném ovzduší výrazně ovlivňuje život a dochází k vážným zdravotním problémům, či předčasnému úmrtí. Příroda v některých případech velmi přispívá k problémům s kvalitou ovzduší, např. sopečná činnost v 19. století (Tambora a Krakatoa), sopečná erupce Mount Saint Helens ve státě Washington ale také lesní požár v národním parku Yellowstone v roce 1988. Další přírodní znečišťování může vzniknout během rozkladu rostlin a živočichů, pylem nebo oxidy dusíku a ozonu, které jsou vytvořeny během bouře. Mezi hlavní lidské činnosti způsobující znečištění ovzduší lze zařadit spalování fosilních paliv a biomasy, energetická a průmyslová výroba a narůstající provoz silniční dopravy. [24][25][27][28]

Pořadí	Stát/Oblast	2022	2021	2020	2019	2018	Populace
		PM <sub>2,5</sub> [μg·m <sup>-3</sup> ]					
1	Čad	89,7	75,9	X	X	X	17 179 740
2	Irák	80,1	49,7	X	39,6	X	43 533 592
3	Pákistán	70,9	66,8	59,0	65,8	74,3	231 402 117
4	Bahrajn	66,6	49,8	39,7	46,8	59,8	1 463 265
5	Bangladéš	65,8	76,9	77,1	83,3	97,1	169 356 251
6	Burkina Faso	63,0	X	X	X	X	22 100 683
7	Kuvajt	55,8	29,7	34,0	38,3	56,0	4 250 114
8	Indie	53,3	58,1	51,9	58,1	72,5	1 407 563 842
9	Egypt	46,5	29,1	X	18,0	X	109 262 178
10	Tádžikistán	46,0	59,4	30,9	X	X	9 750 064
...							
75	Česká republika	13,4	13,9	12,3	14,4	20,2	10 505 772

Tabulka 1 Nejvíce znečištěné státy a oblasti na planetě Zemi [42]

#### 4.1.1 Přehled škodlivin a jejich dopad na zdraví člověka

##### Oxid uhelnatý CO

Oxid uhelnatý je bezbarvý, hořlavý a vysoce jedovatý plyn bez jakéhokoliv zápachu s přezdívkou „neviditelný zabiják“, který je obvykle vytvořen vlivem nedokonalého spalování (spalování dřevin či biomasy, ropy, uhlí, zemního plynu, propanu a kouření tabáku), avšak největším zdrojem jsou často motorová vozidla se spalovacími motory. Pro snížení koncentrace oxidu uhelnatého ve výfukových plynech se využívají katalyzátory. Oxid uhelnatý, při vstupu do nitra lidského těla se silně váže na hemoglobin (červené krevní barvivo), který je obsažen v krvi, a poté vzniká karboxyhemoglobin, což má za následek snížení zásobování organismu kyslíkem. Mezi prvotní příznaky lehčí až střední otravy oxidem uhelnatým patří dušnost, bolesti hlavy, nevolnosti a závratě. Při těžších otravách oxidem uhelnatým dochází k mentálnímu zmatku, srdečním a cévním potížím, zvracení, ztrátě vědomí a k následnému úmrtí. [29][30][31][32]

##### Oxidy dusíku NO<sub>x</sub>

Mezi oxidy dusíku patří oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>). Motorová vozidla se spalovacími motory vytvářejí během spalování oxid dusnatý, který během vstupu do atmosféry oxiduje na oxid dusičitý, který se výrazně podílí na znečištění ovzduší. Je to bezbarvý a velmi štiplavý páchnoucí plyn, který vzniká během sopečných erupcí, spalování fosilních paliv nebo je obsažen ve výfukových plynech. Katalyzátory v motorových vozidlech se spalovacími motory výrazně snižují koncentrace oxidů dusíku. Oxid dusičitý velmi vysoce ovlivňuje funkčnost plic a centrální nervovou soustavu. Kombinace oxidu siřičitého, oxidu uhelnatého a prachových částic je naprosto nejnebezpečnější. [29][31][32][33]

##### Troposférický ozon O<sub>3</sub>

Troposférický (přízemní) ozon je vysoce toxický plyn, který nemá přímý zdroj, avšak vzniká vlivem fotochemických reakcí (působení slunečního záření) oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>) a organických těkavých látek (VOC). Obecně tedy lze říci, že troposférický ozon vzniká ze znečišťujících látek, které byly vytvořeny ze spalovacích motorů, elektráren, rafinérií a dalších zdrojů. Vystavení lidského organismu troposférickému ozonu může způsobit onemocnění dýchacích cest, podráždění očních spojivek, zánět plic, dušnost, kašel, astmatické záchvaty nebo vyvinout edém plic. Dále může zvýšit riziko mrtvice či předčasného úmrtí. [31][32][33][34]

## Oxid siřičitý SO<sub>2</sub>

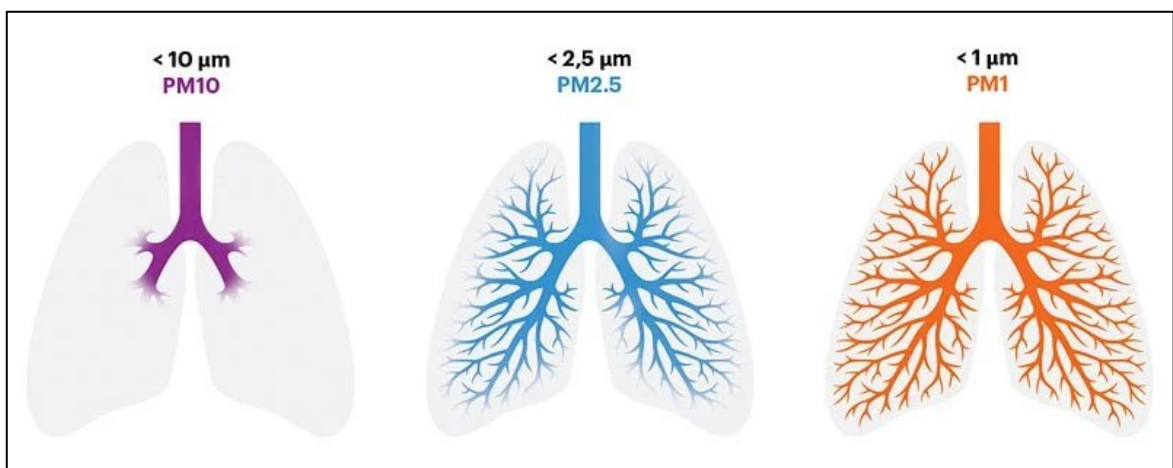
Oxid siřičitý je bezbarvý plyn s velmi štiplavým zápachem a často je zodpovědný za špatnou viditelnost, či kyselé deště. Oxid siřičitý je výrazně spjat se sírou, která je obsažena ve fosilních palivech. (např. uhlí). Pro snížení koncentrace oxidu siřičitého lze využít paliva obsahující velmi nízký obsah síry, např. zemní plyn. Oxid siřičitý dále vzniká při zpracovávání nerostných surovin (tavení). Vysoce dráždí dýchací cesty a přispívá k výraznému otoku plic, zánětu průdušek, poškozují oči a je schopen způsobit otravu a následnou smrt. [29][30][31][32][33]

## Poléťavý prach

Poléťavý prach, či pevné částice, angl. Particulate Matter (PM), si lze představit jako prach, který na sebe váže okolní nebezpečné látky, např. těkavé organické látky (VOC). Poléťavý prach se vyskytuje právě ve třech podobách: [29][31][32][33][35]

- PM<sub>10</sub> – částice menší než 10 μm (kouř, viditelný prach, písek),
- PM<sub>2,5</sub> – částice menší než 2,5 μm (alergeny mazlíčků, pyl, prach z demoličních prací),
- PM<sub>1,0</sub> – částice menší než 1 μm (částice výfukových plynů, bakterie a viry).

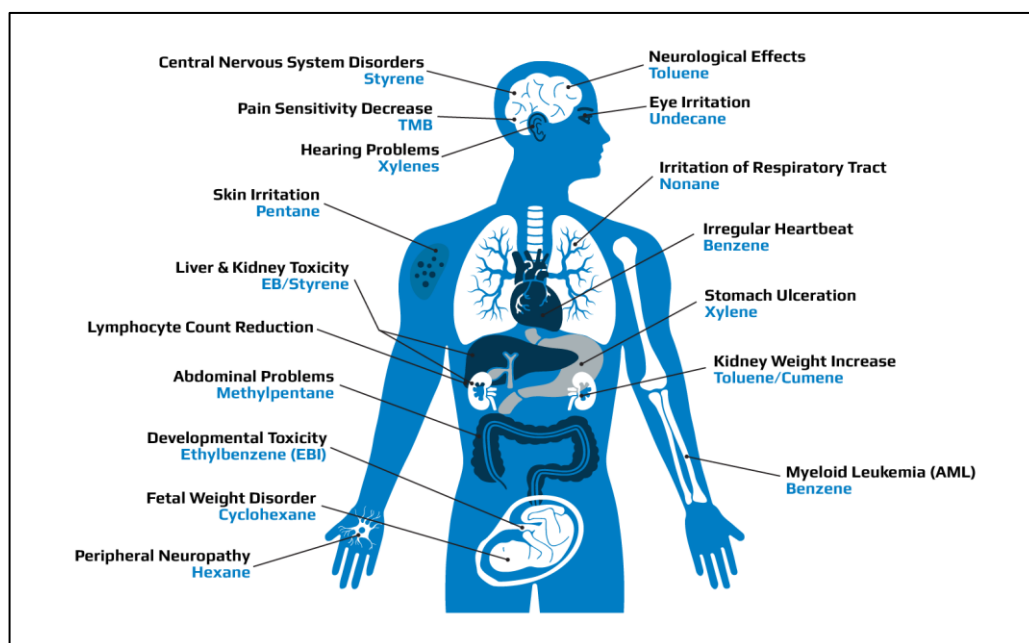
Při vstupu pevných částic PM<sub>10</sub> do vnitra lidského organismu může dojít k ovlivnění horních dýchacích cest, průdušnice, hrdla a očí. Pevné částice PM<sub>2,5</sub> se usazují v plicní tkáni a způsobují tak vážná onemocnění dýchacích cest (astma, bronchitida, aj.). Aktivní vdechování těchto částic může způsobit ovlivnění funkčnosti plic či zkrácení délky života. Pevné částice PM<sub>1</sub> se jeví jako ty nejnebezpečnější, neboť se mohou usazovat přímo v plicních sklípcích. [31][36]



Obrázek 14 Vliv pevných částic na zdraví člověka [37]

## Těkavé organické látky VOC

Těkavé organické látky, angl. Volatile Organic Compounds (VOC), jsou vytvořeny vlivem nedokonalého spalování paliv, určitých průmyslových procesů, používání pesticidů, čisticích a dezinfekčních prostředků, či rozpouštědel. V městském prostředí se nejčastěji vyskytuje benzen ( $C_6H_6$ ) a další aromatické uhlovodíky (areny). Vstup těkavých organických látek do nitra lidského organismu může způsobit bolest hlavy, podráždění očí, nosu a hrdla, ztrátu stability, nevolnost, únavu, či poškození orgánů (játra a ledviny) a poškození centrální nervové soustavy. Některé těkavé organické látky jsou schopny také vytvořit rakovinu v lidském organismu, např. formaldehyd. [29][31][32]



Obrázek 15 Vliv těkavých organických látek na lidské tělo [41]

### 4.1.2 Imisní limity škodlivin přítomných v ovzduší

Znečišťující látky, které mají značný vliv na lidský organismus, ekosystémy či vegetaci, jsou sledovány a měřeny automatizovanými stanicemi (automatizovaný imisní monitoring – AIM), které vyhodnocují znečišťující látky v intervalu 10 minut či hodiny. Maximální imisní limity jsou udány v tabulce níže (Tabulka 2), která je vytvořena ze zákona č. 201/2012 Sb. V tabulce jsou vypsány všechny měřené znečišťující látky a jejich imisní limity, které udávají maximální dovolenou koncentraci látky v ovzduší. Tyto imisní limity jsou vytvořeny kombinací vědeckých poznatků a výzkumů, doporučením Světové zdravotnické organizace (WHO) a také se zohledňují ekonomické či politické faktory. [47][48]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální počet překročení
Oxid siřičitý (SO <sub>2</sub> )	1 hodina	350 µg.m <sup>-3</sup>	24
	24 hodin	125 µg.m <sup>-3</sup>	3
Oxid dusičitý (NO <sub>2</sub> )	1 hodina	200 µg.m <sup>-3</sup>	18
	1 kalendářní rok	40 µg.m <sup>-3</sup>	-
Oxid uhelnatý (CO)	maximální denní osmihodinový průměr	10 mg.m <sup>-3</sup>	-
Částice PM <sub>10</sub>	24 hodin	50 µg.m <sup>-3</sup>	35
	1 kalendářní rok	40 µg.m <sup>-3</sup>	-
Částice PM <sub>2,5</sub>	1 kalendářní rok	20 µg.m <sup>-3</sup>	-
Olovo (Pb)	1 kalendářní rok	0,5 µg.m <sup>-3</sup>	-
Benzen	1 kalendářní rok	5 µg.m <sup>-3</sup>	-
Benzo[a]pyren	1 kalendářní rok	1 ng.m <sup>-3</sup>	-
Arsen	1 kalendářní rok	6 ng.m <sup>-3</sup>	-
Kadmium	1 kalendářní rok	5 ng.m <sup>-3</sup>	-
Nikl	1 kalendářní rok	20 ng.m <sup>-3</sup>	-
Přízemní ozon (O <sub>3</sub> )	Maximální denní osmihodinový průměr	120 µg.m <sup>-3</sup>	25
	AOT40	18000 µg.m <sup>-3</sup> .h	-
Oxid siřičitý (SO <sub>2</sub> )	kalendářní rok a zimní období (1. října - 31. března)	20 µg.m <sup>-3</sup>	-
Oxidy dusíku (NO <sub>x</sub> )	1 kalendářní rok	30 µg.m <sup>-3</sup>	-

Tabulka 2 Imisní limity škodlivin v ovzduší dle zákona 201/2012 Sb. [40]

## 5 ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ KVALITY VZDUCHU

V této kapitole se pojednává o základních zařízeních určených k měření kvality ovzduší. Mezi takové zařízení, které je schopno měřit kvalitu vzduchu, patří stanice imisního monitoringu.

### 5.1 Stanice imisního monitoringu

Jednotlivé stanice imisního monitoringu patří do Státní sítě imisního monitoringu (SSIM), kam mimo jiné patří i stanice dalších organizací. Tyto stanice imisního monitoringu, které jsou začleněny pod SSIM, odesílají naměřená data do Informačního systému kvality ovzduší (ISKO). Státní síť imisního monitoringu se nachází na celém území České republiky, přičemž jednotlivé stanice jsou náhodně rozloženy dle měst, průmyslových oblastí či oblastí s největším znečištěním. Mezi základní rozdělení stanic imisního monitoringu lze zařadit: [48]

- manuální imisní monitoring – MIM,
- automatický imisní monitoring – AIM.

Kraj: Zlínský				SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	PM <sub>10</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
Kód	Název	Klasifikace	Vlastník	1h µg/m <sup>3</sup>	1h µg/m <sup>3</sup>	8h µg/m <sup>3</sup>	1h µg/m <sup>3</sup>	1h µg/m <sup>3</sup>	24h µg/m <sup>3</sup>	1h µg/m <sup>3</sup>
<a href="#">ZOTMA</a>	Otrokovice-město	T/URIC	MOTRO						11,6	
<a href="#">ZROZA</a>	Rožnov pod Radhoštěm	T/URI-NCI	MÚRO						9,5	
<a href="#">ZSNVA</a>	Štítná n. Vláří	B/R/N-REG	ČHMÚ							
<a href="#">ZTNVA</a>	Těšnovice	B/R/A-REG	ČHMÚ	3,7	3,3		3,6	80,4	9,2	8,7
<a href="#">ZUHRA</a>	Uherské Hradiště	T/URC	ČHMÚ		16,6	261	10,9		10,2	
<a href="#">ZVMZA</a>	Valašské Meziříčí	B/UR	ČHMÚ				12,6		9,0	7,8
<a href="#">ZZLNA</a>	Zlín	B/S/RN	ČHMÚ	7,7	3,4		8,7	67,8	8,9	4,4
<a href="#">ZZZSA</a>	Zlín - ZŠ Kvítkova	B/UR	MZLI		3,3		4,8	41,1	9,7	3,4

Tabulka 3 Informační systém kvality ovzduší – data pro Zlínský kraj [50]

#### 5.1.1 Manuální imisní monitoring MIM

Při měření koncentrací daných látek se neodesílají výsledky do Informačního systému kvality ovzduší, ale je nutno manuálně odebrat několik vzorků, které jsou poté převezeny do laboratoře. V laboratoři probíhá analýza vzorku, která se provádí za účelem získání výsledné koncentrace dané znečišťující látky. Mezi několik sledovaných látek, které lze objevit pomocí této analýzy, patří pevné částice PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>, polycyklické aromatické uhlovodíky (např. benzo[a]pyren) a těžké kovy (As, Ni, Cd, Pb). [48][49]

### 5.1.2 Automatický imisní monitoring AIM

Automatický imisní monitoring si lze představit jako středně menší klimatizovaný kontejner, který je vybaven několika analyzátory pro měření koncentrace znečišťujících látek, počítačem a modemem. Měření koncentrace dané znečišťující látky probíhá ihned na místě, data jsou poté okamžitě odeslána do Informačního systému kvality ovzduší (ISKO). Interval mezi dalším měřením může být deset minut nebo jedna hodina. Mezi několik sledovaných látek patří pevné částice  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  a  $PM_1$  oxid uhelnatý CO, přízemní ozon  $O_3$ , oxid siřičitý  $SO_2$ , oxid dusnatý NO a oxid dusičitý  $NO_2$ . [48][49]



Obrázek 16 Automatická stanice ve Zlíně na Jižních Svazích [51]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 6 VÝBĚR VHODNÝCH KOMPONENTŮ

V této kapitole jsou popsány použité senzory v měřicím systému kvality ovzduší včetně řídicího mikropočítače. Mikropočítač, jakožto centrální prvek celého měřicího systému kvality ovzduší, se stará o všechny jednotlivé funkce obsluhy senzorů a také vykonávání celého algoritmu programu. Jednotlivé senzory by měly být schopny měřit fyzikální veličiny a detekovat přítomnost nebezpečných látek včetně přibližné koncentrace dané látky.

### 6.1 Řídicí mikropočítač

Jako řídicí mikropočítač byl zvolen ESP32-DevkitC od společnosti Espressif Systems, který je schopen aktivně řídit celý algoritmus měřicího systému kvality ovzduší. Mikropočítač ESP32-DevkitC obsahuje čip ESP-WROOM-32, který má dostatečný výpočetní výkon na vykonávání složitějších operací. Mikroprocesorový čip je také vybaven dvěma jádry, která pracují na frekvenci od 80 MHz po 240 MHz. Mezi nejzákladnější funkce mikropočítače ESP32-DevkitC lze zařadit:

- 34 vstupně-výstupních pinů,
- sériová rozhraní SPI (4x), UART (3x) a také I2C (2x),
- implementace bezdrátového připojení (Bluetooth, Wi-Fi),
- 2 analogově-digitální převodníky.

### 6.2 Senzory pro měření kvality ovzduší

Na dnešním trhu lze nalézt spousty chemických senzorů či senzorů pro měření kvality ovzduší. Pro měřicí systém kvality ovzduší bylo využito několik levnějších a cenově dostupných senzorů.

#### 6.2.1 Modul pro měření tlaku, teploty a vlhkosti BME280

Pro měření fyzikálních veličin jakožto atmosférický tlak, teplota či vlhkost, byl využit modul BME280, který patří mezi jednodušší a levnější moduly. Tento modul lze napájet stejnosměrným napětím od 1,8 – 5 V, disponuje také sériovou sběrnicí I2C pro přenos naměřených údajů. Adresa senzoru na sběrnici je 0x76 a 0x77 hexadecimálně. Senzor je schopen měřit:

- Teplota: -40 až +85 °C, s rozlišením 0,01 °C a přesností ±1 °C.

- Vlhkost: 0 až 100 %, s rozlišením 0,008 % a přesností  $\pm 3$  %.
- Atmosférický tlak: 30–110 kPa, s rozlišením 0,18 Pa a přesností  $\pm 1$  Pa.

### 6.2.2 Optický senzor pevných částic SPS30

Tento optický senzor pevných částic je schopen měřit jakékoliv zaprášené prostředí a sledovat čistotu vzduchu, který nasává ventilátorem. Tento optický senzor pracuje na principu rozptylu laserového paprsku. Je schopen měřit PM<sub>10</sub>, PM<sub>4</sub>, PM<sub>2.5</sub> a PM<sub>1.0</sub>. Pro svoji funkci využívá sériové sběrnice UART a I2C, které se volí na pinu SEL. Napájecí napětí tohoto optického senzoru je od 4,5 do 5 V. Přesnost senzoru klesá v rámci větší koncentrace pevných částic:

- Pro měření od 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  – 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ :  $\pm 10$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Pro měření od 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  – 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ :  $\pm 10$  %  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 6.2.3 Senzor oxidu uhličitého MH-Z19B

Optický senzor, pracující na technologii NDIR, komunikuje pomocí sériového rozhraní UART anebo PWM (pulsně šířkové modulace). Pracovní napětí tohoto senzoru je od 3,6 do 5,5 V. Je schopen detekovat oxid uhličitý v rozmezí od 0–5000 ppm s přesností  $\pm 50$  ppm. Před prvním měřením je nutno nechat senzor zahřát na provozní teplotu, která bývá u tohoto senzoru zhruba tři minuty.

### 6.2.4 Modul pro měření nebezpečných plynů SEN0377

Modul SEN0377 je určen zejména pro detekci nebezpečných látek, které se do ovzduší dostávají vlivem hoření, úniku plynu nebo ze spalovacích motorů. Senzor je schopen dodat přibližné koncentrace jednotlivých životu nebezpečných plynů. Napájecí napětí tohoto senzoru je v rozmezí od 3,3 do 5,5V, přičemž komunikace probíhá pomocí sériové sběrnice I2C. Senzor je schopen změřit následující plyny:

- oxid uhelnatý CO: 1–1000 ppm,
- oxid dusičitý NO<sub>2</sub>: 0,05–10 ppm,
- ethanol C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH: 10–500 ppm,
- vodík H<sub>2</sub>: 1–1000 ppm,
- amoniak NH<sub>3</sub>: 1–500 ppm,

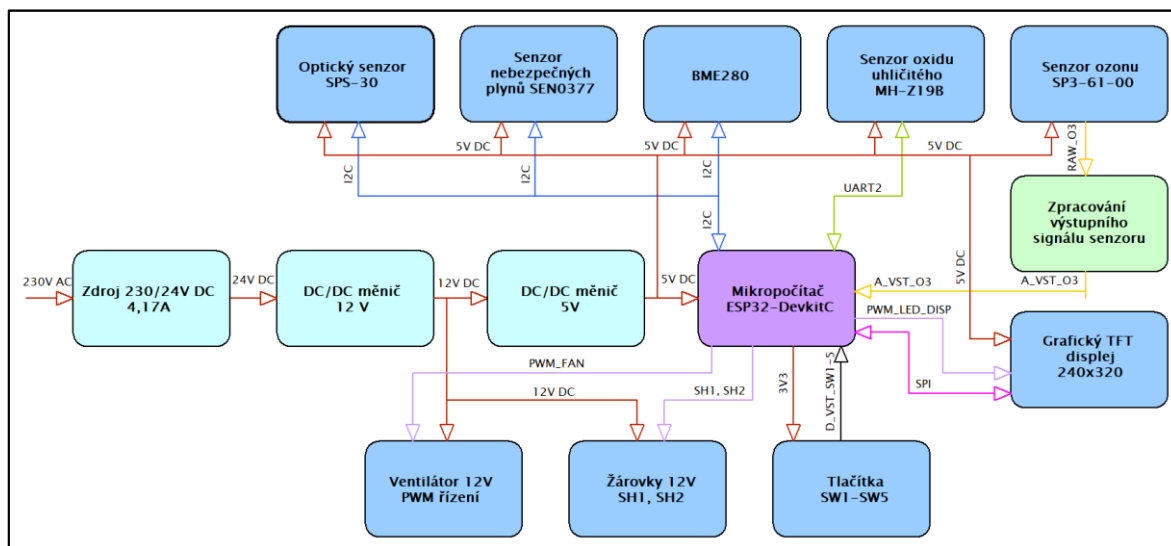
- metan CH<sub>4</sub>: >1000 ppm.

### 6.2.5 Senzor ozonu SP3-61-00

Tento senzor je určen pro měření ozonu (O<sub>3</sub>) a je schopen jej měřit v rozsahu od 10 do 250 ppb. Senzor pracuje na technologii MOS (angl. Metal-Oxide Semiconductor – polovodič na bázi oxidu kovu). Jeho napájecí napětí musí být menší než 10 V, přičemž napájení topného elementu musí být 5 V ±4 %.

## 7 NÁVRH HARDWAROVÉ JEDNOTKY PRO MĚŘICÍ SYSTÉM KVALITY OVZDUŠÍ

Tato kapitola se zabývá návrhem desek plošných spojů pro měřicí systém kvality ovzduší. V průběhu kapitoly jsou rozebrány postupy návrhu dvou desek plošných spojů – řídicí a měřicí. Dále se v kapitole nachází zhotovení celého měřicího systému kvality ovzduší.



Obrázek 17 Blokové schéma měřicího systému kvality ovzduší

V blokovém schématu znázorněném výše (Obrázek 17) si lze povšimnout prvotního jednoduchého zapojení celého měřicího systému kvality ovzduší. Z tohoto blokového schématu vzniká dále kompletní elektrické schéma a z něj návrh desky plošných spojů. V tomto případě jsou navrženy dvě desky plošných spojů, přičemž jedna je řídicí a druhá je měřicí.

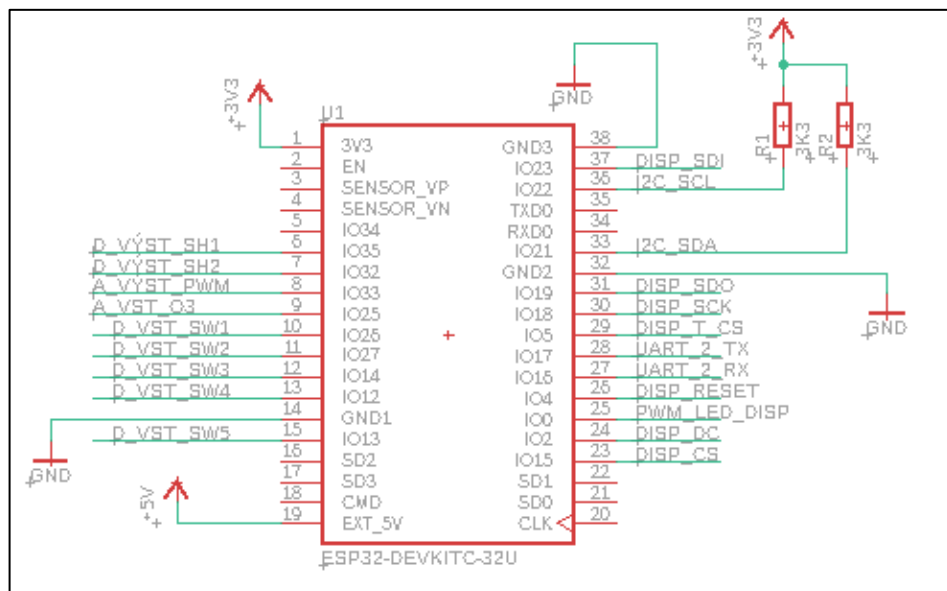
### 7.1 Návrh řídicí desky plošných spojů

Celé schéma bylo navrženo pomocí softwaru Eagle od společnosti Autodesk Inc. Schéma, zobrazené níže (Obrázek 18), znázorňuje nejdůležitější část celého elektrického schématu a nachází se v příloze I, strana druhá (PŘÍLOHA P I). Zde se nachází zapojení mikropočítače, kdy jsou jednotlivé signály pojmenovány, přesně podle jejich funkce. Každý vodič, který se nachází ve schématu má své jedinečné jméno např. I2C\_SCL. Vodiče se tak podle jména automaticky propojí a zlepšuje se tak čitelnost a přehlednost celého elektrického zapojení.

Mikropočítač ESP32-DevkitC nedisponuje interními pull-up rezistory, a proto jsou nahrazeny externími pull-up rezistory R1 a R2. Tyto rezistory zajišťují správný chod sériového rozhraní I2C.

Mikropočítač je napájen DC/DC měničem, který je nastaven pomocí odporového trimru na stejnosměrné napětí 5 V. Všechny piny s názvem GND jsou navzájem propojeny. Na pravé straně mikropočítače se nachází připojení několika sériových rozhraní:

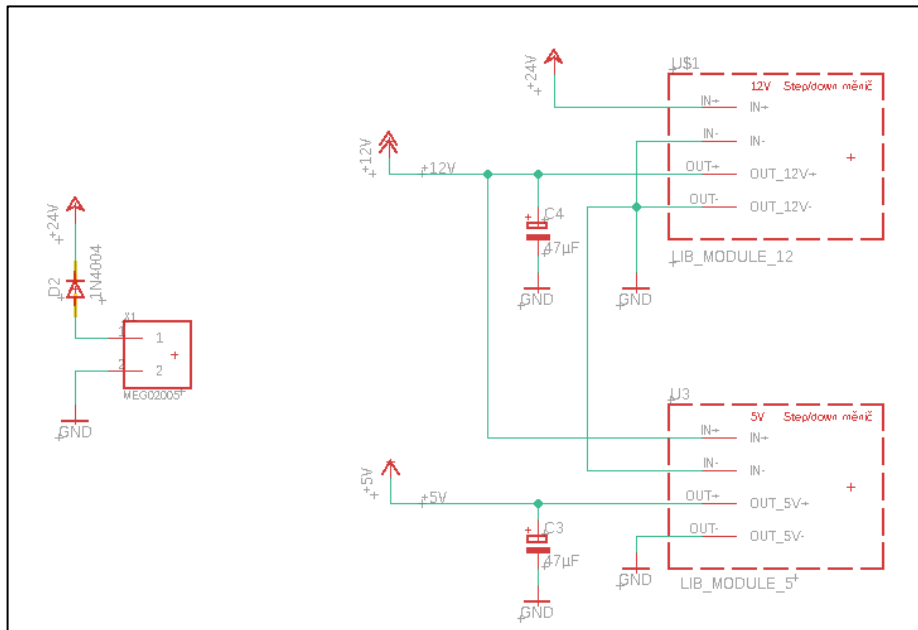
- UART2 – RX: GPIO16, TX: GPIO17,
- I2C – SCL: GPIO22, SDA: GPIO21,
- SPI – MOSI: GPIO23, MISO: GPIO19, SS: GPIO15, SCK: GPIO18.



Obrázek 18 Základní zapojení mikropočítače ESP32-DevkitC

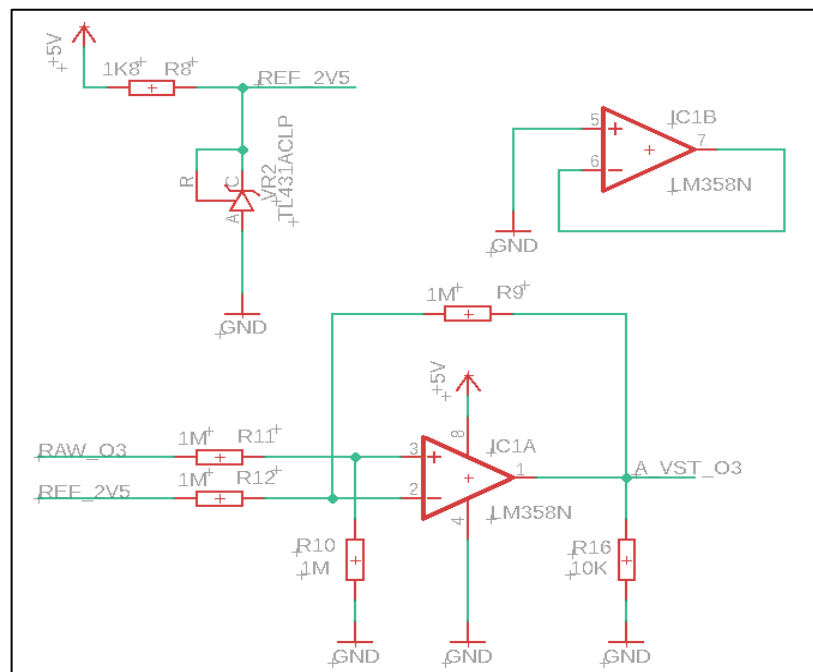
Napájení řídicí desky plošných spojů je zajištěno pomocí svorkovnice X1 (Obrázek 19), kde se přivádí vstupní stejnosměrné napětí 24 V. Ochrana proti přepólování je zajištěna jednou usměrňovací diodou 1N4004. Dále je napájení zajištěno pomocí dvou DC/DC měničů, které jsou nastaveny na 12 a 5 V. Tyto měniče obsahují spínaný napěťový regulátor LM2596S

s maximálním výstupním proudem 3 A. Na každé výstupní svorce DC/DC měniče je připojen elektrolytický kondenzátor C3 a C4.



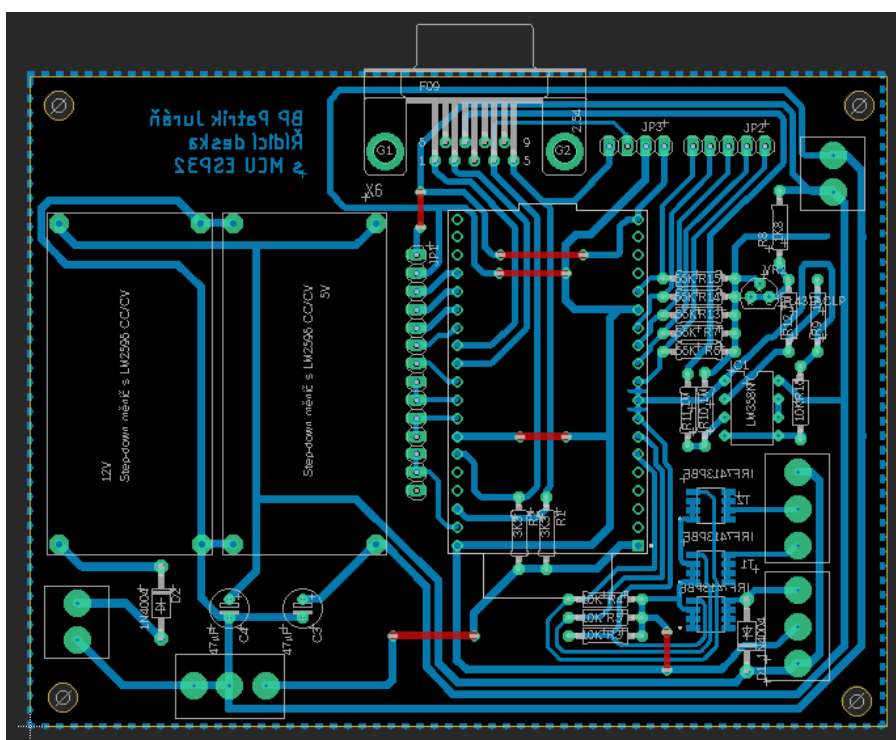
Obrázek 19 Napájecí část řídicí desky plošných spojů

Ve schématu se nachází také jeden operační zesilovač LM358N v diferenciálním zapojení (Obrázek 20), který se stará o odečítání referenčního stejnosměrného napětí 2,5 V od výstupního napětí senzoru ozonu. Referenční napětí je zajištěno pomocí napěťové reference TL431ACLP.



Obrázek 20 Zpracování signálů na řídicí desce plošných spojů

Po navržnutí elektrického schématu řídicí desky plošných spojů, byla dále práce přesunuta do editoru samotné desky, kdy se nacházely mezi součástkami vzdušné spoje, které bylo nutno připojit. Nejprve bylo nutno si všechny součástky uspořádat a poté jednotlivě pomocí cest propojovat. Při propojování jednotlivých pájecích plošek byla využita síla cesty zejména 1,016 a 0,8 mm. Občas byla využita síla 0,6 mm, zejména pro SMD součástky. Po připojení všech cest byl vytvořen polygon, který byl nastaven na signál GND. Navrhnutá deska plošných spojů se nachází na obrázku níže (Obrázek 21).



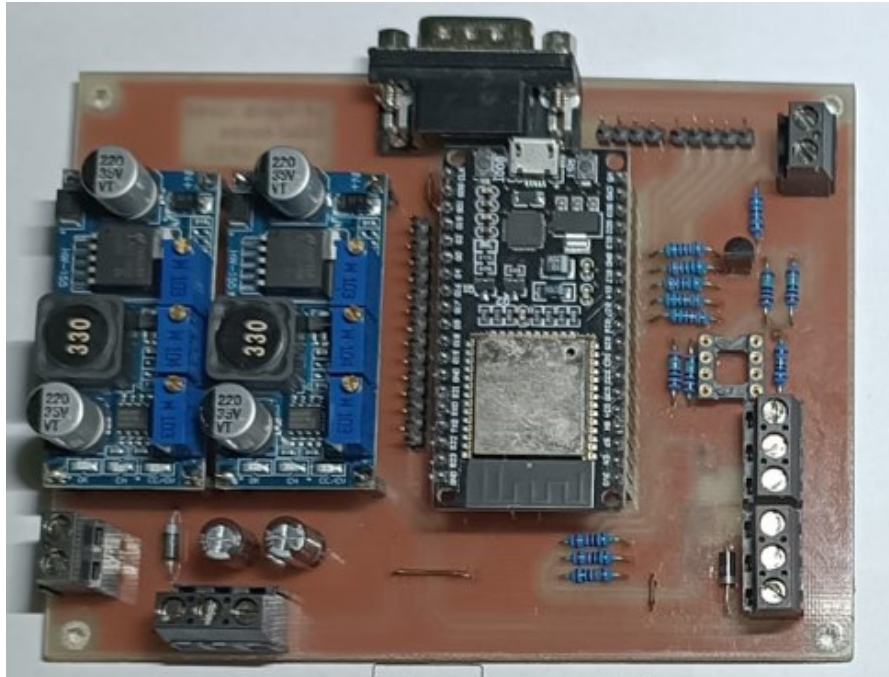
Obrázek 21 Navrhnutá řídicí deska plošných spojů

V tabulce uvedené níže (Tabulka 4) jsou vypsané jednotlivé svorkovnice a dutinkové lišty a na pravé straně lze vidět jejich připojení.

Svorkovnice	Funkce – připojení
X1	Vstup 24 V DC
X2	Připojení ventilátoru
X3	Připojení žárovek
X4	3V3 Napájení tlačítek, GND
X5	Napájení měřicí desky
X6	Konektor pro připojení měřicí desky
JP1	Připojení displeje
JP2	Připojení vstupů tlačítek
JP3	Připojení senzoru BME280

Tabulka 4 Seznam svorkovnic řídicí jednotky

Řídicí deska plošných spojů byla vyrobena metodou fotocesty, následně byla vyvrtána, osazena jednotlivými součástkami dle schématu a zapájena. Již osazená řídicí deska plošných spojů se nachází na obrázku níže (Obrázek 22). Seznam součástek osazených na desce je uveden v příloze X. (PŘÍLOHA P X).

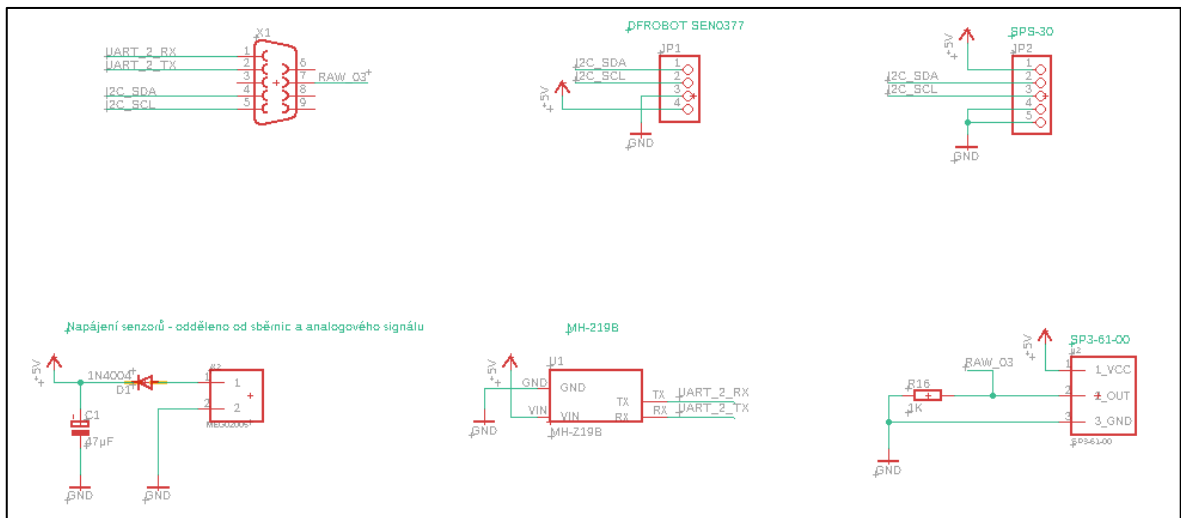


Obrázek 22 Osazená řídicí deska plošných spojů

## 7.2 Návrh měřicí desky plošných spojů

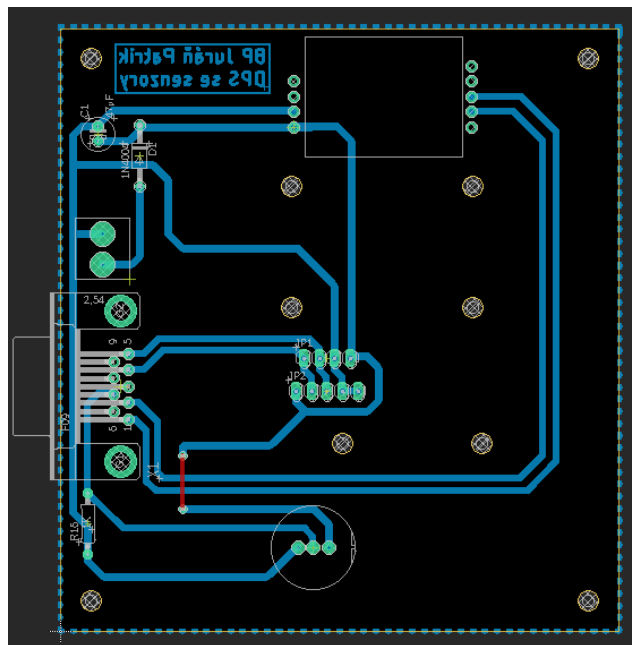
Měřicí deska se stará o rozvod jednotlivých signálů pro senzory. Na této desce jsou všechny senzory měřící kvalitu ovzduší, mimo modul BME280. Na desce nechybí také ochrana proti přepólování jednou usměrňovací diodou. Na celé desce jsou rozvedeny signály sériového rozhraní UART a I2C. Měřicí DPS je umístěna v trubce.





Obrázek 23 Zapojení jednotlivých senzorů na měřicí desce plošných spojů

Výše na obrázku (Obrázek 23) je možno vidět jednoduché zapojení senzorů na měřicí desce plošných spojů, které vychází z blokového schématu měřicího systému kvality ovzduší. Všechny signály se přenášejí přes konektor F09HP, zatímco napájení je připojeno zvlášť přes svorkovnici. Ve schématu je také jedna Schottkyho dioda s označením STPS2H100, která chrání desku proti přepólování.



Obrázek 24 Návrh měřicí desky plošných spojů

Po vytvoření schématu je práce přesunuta do prostředí editoru desky, kde se všechny součástky propojené vzdušnými spoji naskládají na desku tak, aby konektor, svorkovnice a elektronické součástky byly na levé straně, zatímco senzory na pravé. Sensory jsou v jedné

řadě z toho důvodu, že jsou uloženy do trubky. Již navrhnoutou měřicí desku plošných spojů lze vidět na obrázku výše (Obrázek 24).



Obrázek 25 Osazená měřicí deska plošných spojů

Po vytvoření návrhu měřicí desky byla deska vyrobena fotocestou, vyvrtána, osazena a zapájena. Osazená deska je k vidění na obrázku výše (Obrázek 25).

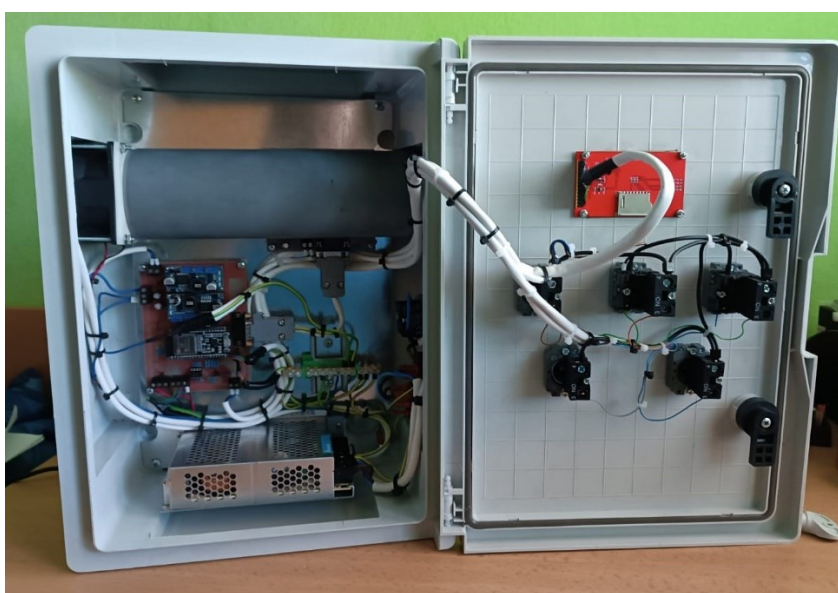
### 7.3 Praktické zhotovení měřicího systému kvality ovzduší

Celý měřicí systém kvality ovzduší byl zapojen dle nakresleného elektrického schématu v programu Proficad. Celé schéma se skládá z pěti stránek, přičemž obsahuje silovou část a slaboproudou část se signály. Celé schéma je k dispozici v příloze (PŘÍLOHA P IX). Celý měřicí systém je umístěn do plastového ABS rozvaděče, který lze přišroubovat na zeď.



Obrázek 26 Přední strana měřicího systému kvality ovzduší

Na obrázku výše (Obrázek 26) lze vidět přední stranu zařízení, kde se nachází obslužná tlačítka (SW1 – SW5). Nad tlačítky se nachází i grafický displej, který zobrazuje všechna naměřená data, včetně stavů a informací o měřicím systému kvality ovzduší.



Obrázek 27 Vnitřní zapojení měřicího systému kvality ovzduší

Na obrázku (Obrázek 27) lze vidět zhotovené zapojení měřicího systému kvality ovzduší. Vnitřní část ABS rozvaděče obsahuje HTEM trubku, do které je nasazena měřicí deska plošného spoje, přičemž do této trubky je nasáván vzduch 12V ventilátorem, který je osazený na kraji trubky. Na spodní části ABS rozvaděče lze vidět průmyslový 24V zdroj s výkonem 100 W a maximálním proudovým odběrem 4,17 A.

Jednotlivá propojení mezi komponenty je zhotoveno pomocí kabelů SYKFY, kde jejich stínění je připojeno na zápornou svorku zdroje, a to je spojeno s ochranným vodičem. Stínění je vždy připojeno jen na jedné straně kabelu, a to z důvodu zamezení vzniku nežádoucích smyček a ovlivnění měřicího systému kvality ovzduší dalším rušením.



Obrázek 28 Boční strana měřicího systému kvality ovzduší

Boční strana zobrazena výše (Obrázek 28) obsahuje kontrolku H1, která informuje obsluhu o tom, že je zařízení pod síťovým napětím 230 V. Připojení síťového napětí se provádí přes IEC konektor, který se nachází pod kontrolkou. Na vrchní straně se nachází vyřezaný otvor, přes který si měřicí systém kvality ovzduší nasává do trubky vzduch.

## 8 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ MIKROPOČÍTAČE

V této kapitole je popsána struktura programového vybavení mikropočítače ESP32-DevkitC, který se stará o celý běh měřicího systému kvality ovzduší. Jsou rozebrány jednotlivé funkce a úlohy operačního systému reálného času FreeRTOS a dále funkce knihovny. Na závěr této kapitoly je popsáno odesílání naměřených hodnot do lokální databáze.

### 8.1 Knihovna pro obsluhu měřicího systému kvality ovzduší

Knihovna s názvem MeasurementDevice je vytvořena zejména kvůli lepší obsluze celého měřicího systému a zlepšení přehlednosti v celém kódu. V knihovně nechybí funkce pro ovládání vstupů (tlačítka a analogové vstupní hodnoty ze senzoru) a výstupů (žárovky, řízení ventilátoru pomocí pulsně šířkové modulace) či čtení výstupních dat ze senzorů přes sériové sběrnice UART a I2C.

#### 8.1.1 Funkce v knihovně

Mezi základní a zároveň nejdůležitější funkce celé knihovny patří funkce MeasurementDevice\_Inicialization(), která definuje a nastavuje všechny vstupní a výstupní piny. Dále kontroluje, zda jsou všechny senzory správně připojeny a zda komunikují s mikropočítačem. Ve funkci se dále nachází nastavení komunikační rychlosti sériového rozhraní UART.

Mezi základní funkce obsluhující senzory patří:

- MeasurementDevice\_GetTemperature(),
- MeasurementDevice\_GetHumidity(),
- MeasurementDevice\_GetPressure(),
- MeasurementDevice\_GetCO2(),
- MeasurementDevice\_GetCO(),
- MeasurementDevice\_GetNO2(),
- MeasurementDevice\_GetNH3(),
- MeasurementDevice\_GetH2(),
- MeasurementDevice\_GetC2H5OH(),

- MeasurementDevice\_GetCH4(),
- MeasurementDevice\_GetOzone().

Všechny funkce zjišťující hodnoty ze senzorů mají parametr void, což znamená, že není nutno funkci nic předávat. Všechny funkce vrací datový typ float.

Mezi funkce obsluhující digitální vstupy tlačítek a žárovek patří:

- MeasurementDevice\_Digital\_SH1(Digital\_states State),
- MeasurementDevice\_Digital\_SH2(Digital\_states State),
- MeasurementDevice\_PWM\_Fan(Digital\_states State, int procenta).

U těchto typů funkcí je nutno předat vstupní parametr ze struktury enum s názvem State, který předává funkci informaci o zapnutí či vypnutí a značně zpřehledňuje kód. Je nutno předat funkci parametr disabled nebo enabled.

Mimo jiné, funkce MeasurementDevice\_PWM\_Fan(Digital\_states State, int procenta) má také parametr procenta, kde se předává datový typ int v rozsahu od 0 do 100 %, poté jsou procenta přepočítána pomocí funkce map() na hodnotu 0 – 255.

Poslední funkcí je funkce MeasurementDevice\_GetDigitalSW(int SW), které je nutno předat parametr SW, který se pohybuje od 1 – 5, přesně dle schématu SW1 – SW5. Funkce zjišťuje stav sepnutého či rozepnutého tlačítka, vrací hodnotu typu bool.

## 8.2 Hlavní program

Program, jež řídí celý měřicí systém kvality ovzduší, pracuje na operačním systému reálného času FreeRTOS a je tak rozdělen na několik úloh. V tomto programu se nachází i několik funkcí, které se starají o připojení k Wi-Fi, měření nebo vytvoření požadavku na server.

### 8.2.1 Úlohy operačního systému reálného času

Hlavní úlohy (tasky) jsou tři a starají se o celý proces měření, získávání dat či zobrazování na displej. Mezi ně patří:

- Task\_Switches,
- Task\_Dispatch\_Mainpage,
- Task\_Measuring.

Mezi hlavní úlohu, která není nikdy suspendována, patří `Task_Switches`, který se stará o získávání dat z tlačítek a následně suspendování či povolování jiných úloh. V této úloze je jedno tlačítko nadřazené všem ostatním, a to je tlačítko SW4, které se stará o zapnutí celého systému.

Mezi další úlohu patří `Task_Disp_Mainpage`, která slouží k zobrazování všech naměřených hodnot, které jsou předávány pomocí globálních proměnných. V úloze nechybí také zobrazování stavu jednotlivých stavových globálních proměnných, např. start nebo stop měření, režim měření či stav Wi-Fi.

Mezi poslední úlohu a zároveň tu nejdůležitější lze zařadit `Task_Measuring`, který se stará o celé měření. Na začátku programu se zapíná ventilátor a poté se volají jednotlivé funkce z obslužné knihovny a vrácené hodnoty se ukládají do jednotlivých globálních proměnných.

### 8.2.2 Funkce v programu

Mezi funkce hlavního programu patří:

- `Init_Function()`,
- `Sps30_measurement()`,
- `Wifi()`,
- `SendintoDatabase()`.

Inicializační funkce, která se volá ve funkci `setup()` a nastavuje další potřebné parametry, např. nastavení rychlosti sériové linky, nastavení Wi-Fi, či nastavení displeje. Funkce `Sps30_measurement()` se stará o zapnutí optického senzoru pevných částic, který obsahuje ventilátor a nasává do nitra vzduch.

Funkce `Wifi()` se volá v inicializační funkci a jejím úkolem je vytvořit jednoduchý Access point (AP), což znamená, že se vytvoří jednoduchá Wi-Fi síť, ke které se lze připojit přes telefon nebo počítač. V tomto Access pointu je přihlašovací okno, ve kterém jde vidět přehled dostupných sítí. Po přihlášení k síti se automaticky uloží do paměti a pokud je Wi-Fi připojena, nevytváří mikropočítač tento Access point.

Poslední funkcí je `SendintoDatabase()`, která se volá vždy po dokončení měření. Ve funkci jsou do proměnné `Data` uloženy jednotlivé globální proměnné. Poté se odešle požadavek typu GET na server a odezva skriptu je vrácena do proměnné `payload`.

### 8.3 Komunikace s databází

Základní fungování celé komunikace mezi mikropočítačem a databází probíhá díky PHP skriptu Odeslani\_dat na straně serveru, který je uložen ve složce počítače s cestou [http://ip\\_adresa\\_pc/ESP32\\_merici\\_zarizeni/Odeslani\\_dat.php](http://ip_adresa_pc/ESP32_merici_zarizeni/Odeslani_dat.php).

V hlavním programu mikropočítače je odeslán požadavek typu GET na server s URL adresou, která je obsažena v proměnné finalURL.

#### 8.3.1 Zapisování do databáze

Skript Odeslani\_dat.php na straně serveru obsahuje připojení k databázi a kontrolu, zda je připojení k databázi úspěšné, poté kontroluje příchozí GET požadavky a přijatá data uloží do jednotlivých proměnných a zároveň je kód ošetřen proti SQL Injection (základní útok na databázi vlivem neošetřeného vstupu) a vytváří se parametrizovaný SQL dotaz, který se provede pomocí funkce `mysqli_stmt_execute()`. [52][53][54]

#### 8.3.2 Databáze

MySQL databáze je hostována pomocí balíčku XAMPP od společnosti Apache Friends, který mimo jiné obsahuje také Apache či MySQL databázi. Databáze je lokální a je přístupná pouze v prostoru lokální sítě.

Databázi lze spustit pomocí programu `xampp-control.exe`, nacházející se v adresáři `C:/xampp`. Databáze uchovává všechna naměřená data, která zapisuje s aktuálním reálným časem.



ID	Teplota	Vlhkost	Tlak	PM10	PM4	PM25	PM1	CO2	CO	NO2	NH3	H2	C2H5OH	CH4	O3	Cas
5426	23.94	25.47	984.44	5.38	5.06	4.43	3.47	401	0	0.22	0	0	0	0	96.73	2024-05-12 14:29:14
5425	23.86	25.55	984.48	3.96	3.35	2.17	0.7	401	0	0.22	0	0	0	0	95.08	2024-05-12 14:29:03
5424	23.8	25.53	984.46	3.75	3.6	3.3	2.78	401	0	0.22	0	0	0	0	96.01	2024-05-12 14:28:52
5423	23.73	25.71	984.48	10.69	8.97	5.59	1.42	401	0	0.22	0	0	0	0	96.73	2024-05-12 14:28:41
5422	23.7	26.04	984.47	9.72	8.18	5.16	1.41	401	0	0.22	0	0	0	0	96.73	2024-05-12 14:28:31
5421	23.71	25.75	984.49	4.75	4	2.53	0.71	401	0	0.22	0	0	0	0	100.08	2024-05-12 14:28:20
5420	23.69	25.88	984.5	4.13	3.5	2.26	0.71	401	0	0.22	0	0	0	0	109.4	2024-05-12 14:28:10
5419	23.68	26.65	984.51	1.5	1.5	1.5	1.42	401	0	0.22	0	0	0	0	93.52	2024-05-12 14:27:59
5418	23.6	26.58	984.51	0.73	0.73	0.73	0.69	401	0	0.22	0	0	0	0	95.7	2024-05-12 14:27:49
5417	23.53	26.59	984.57	2.2	2.2	2.2	2.08	402	0	0.22	0	0	0	0	95.08	2024-05-12 14:27:39
5416	23.44	26.63	984.5	0.8	0.8	0.8	0.76	402	0	0.22	0	0	0	0	93.31	2024-05-12 14:27:28
5415	23.46	26.55	984.54	9.36	8.57	7.02	4.86	402	0	0.22	0	0	0	0	95.6	2024-05-12 14:27:18
5414	23.39	26.62	984.53	0.74	0.74	0.74	0.7	402	0	0.22	0	0	0	0	94.35	2024-05-12 14:27:08
5413	23.43	26.63	984.51	13.97	12.06	8.3	3.55	402	0	0.22	0	0	0	0	92.26	2024-05-12 14:26:58
5412	23.42	26.18	984.51	3.65	3.65	3.65	3.45	402	0	0.22	0	0	0	0	97.14	2024-05-12 14:26:47
5411	23.52	26.24	984.49	4.7	4.24	3.33	2.11	402	0	0.22	0	0	0	0	93.73	2024-05-12 14:26:37
5410	23.57	26.44	984.52	1.49	1.49	1.49	1.41	403	0	0.21	0	0	0	0	93.41	2024-05-12 14:26:26
5409	23.47	26.32	984.57	27.06	23.25	15.75	6.31	403	0	0.21	0	0	0	0	93.41	2024-05-12 14:26:15
5408	23.44	26.44	984.55	0.83	0.83	0.83	0.78	403	0	0.21	0	0	0	0	93.41	2024-05-12 14:26:05

Obrázek 29 MySQL databáze

## 9 OVĚŘENÍ FUNKCE ZAŘÍZENÍ A TESTOVÁNÍ

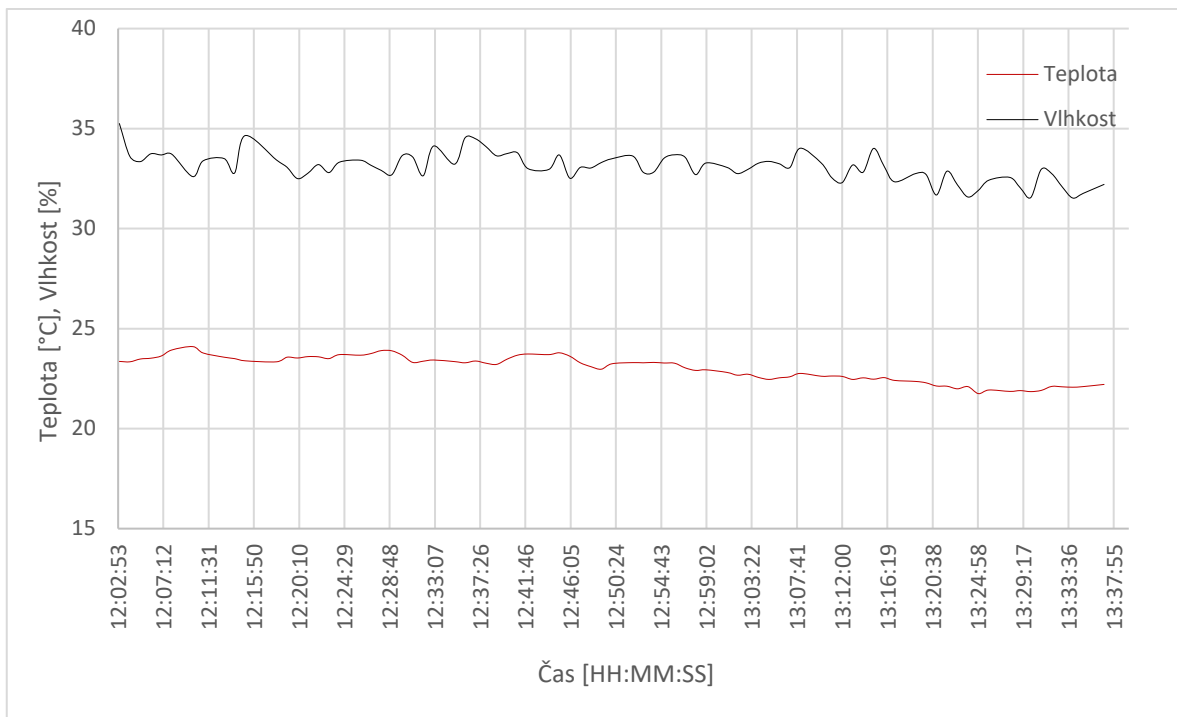
Tato kapitola se zabývá měřením a testováním zhotoveného měřicího systému kvality ovzduší. Měření probíhalo zejména v odpoledních hodinách za slunného počasí. Měřicí systém kvality ovzduší byl umístěn v Dolní Lhotě u Luhačovic. V závěru kapitoly jsou vyhodnoceny vlastnosti celého měřicího systému.

### 9.1 Měření v čistém prostředí

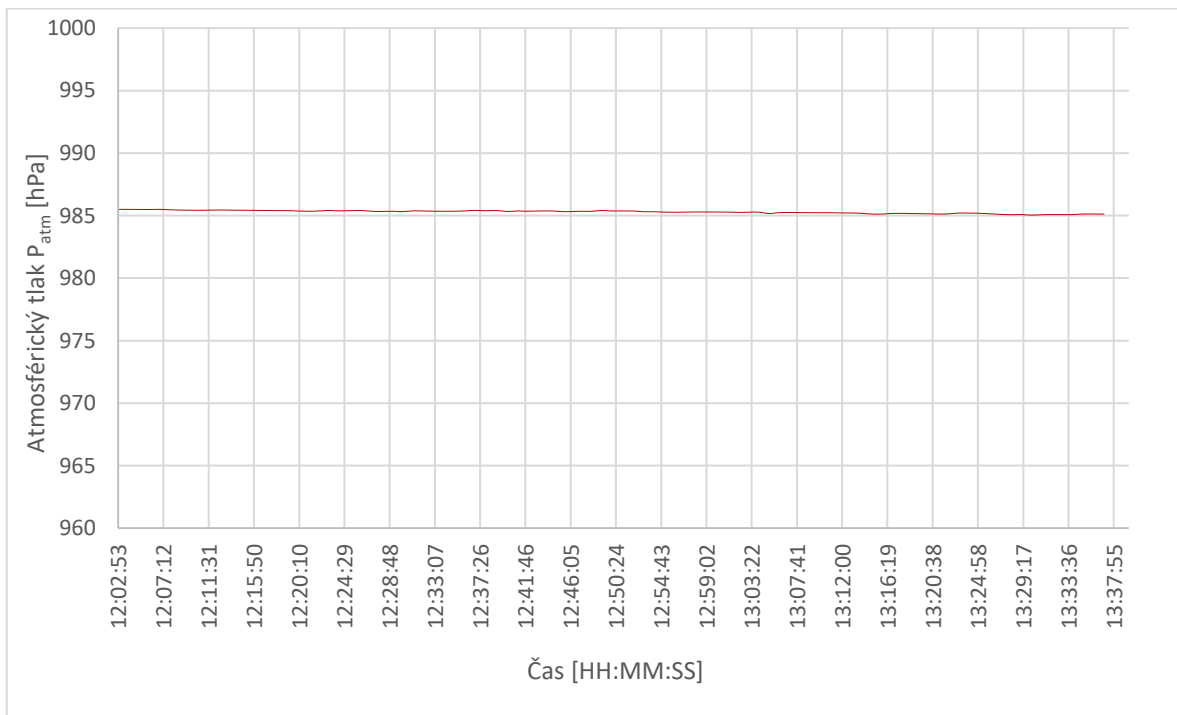
Měření probíhalo přibližně hodinu a půl se zapnutým dlouhodobým režimem. Měření s dlouhodobým režimem započalo ve 12:03 a bylo ukončeno ve 13:39.

	Teplota	Vlhkost	Tlak	PM <sub>10</sub>	PM <sub>4</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>1,0</sub>	Měření v čistém prostředí	
	[°C]	[%]	[hPa]	[μg/m <sup>3</sup> ]					
Minimum	21,75	31,53	985,04	0,73	0,73	0,73	0,69		
Maximum	24,10	35,25	985,50	18,73	17,39	14,76	10,95		
Průměr	23,00	33,09	985,29	5,96	5,64	5,02	4,03		
Směrodatná odchylka	0,63	0,71	0,12	3,19	2,92	2,47	2,05		
Směrodatná odchylka průměru	0,01	0,01	0,00	0,04	0,04	0,03	0,02		
	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	CH <sub>4</sub>		O <sub>3</sub>
	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]		[μg/m <sup>3</sup> ]
Minimum	401,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		115,51
Maximum	427,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	237,53	
Průměr	402,93	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	219,31	
Směrodatná odchylka	3,10	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	35,09	
Směrodatná odchylka průměru	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	

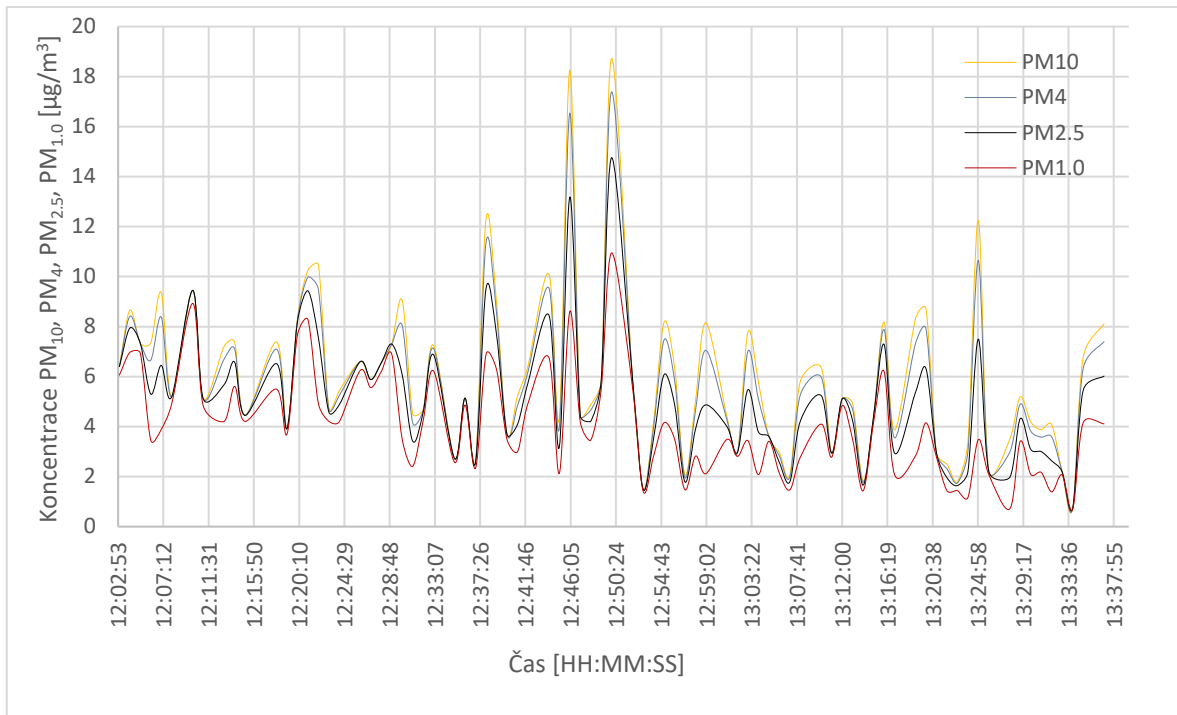
Tabulka 5 Zpracovaná data – měření v čistém prostředí



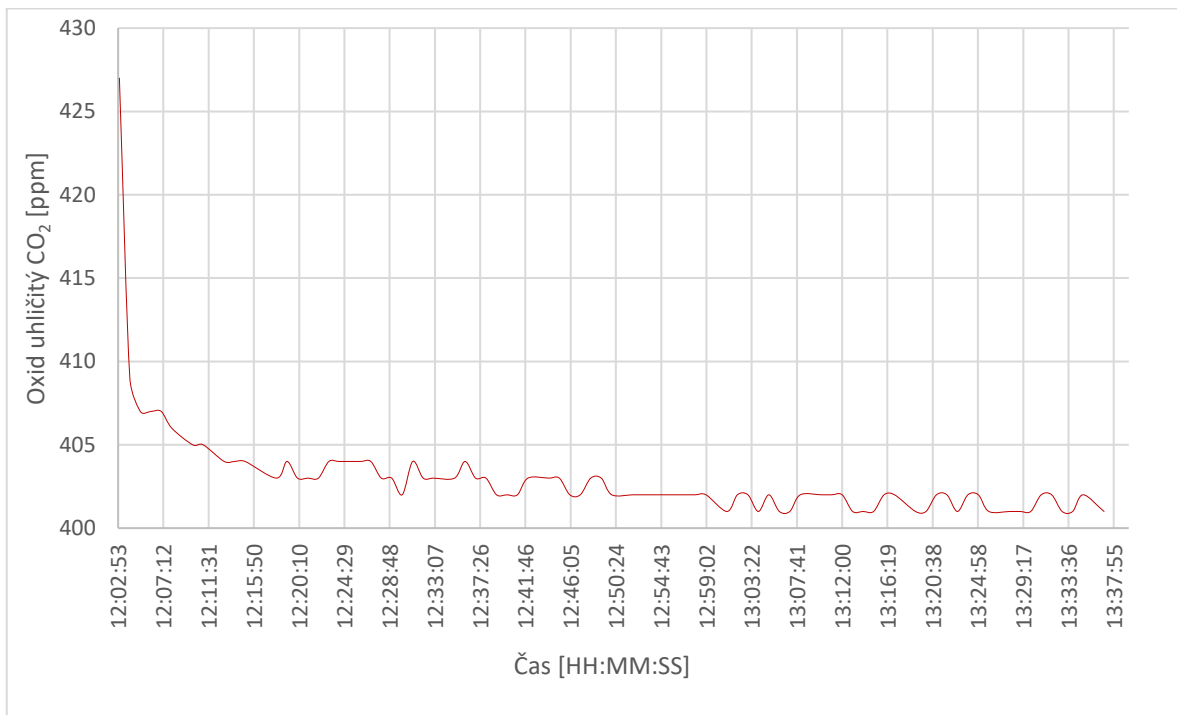
Obrázek 30 Průběh teploty a vlhkosti při měření v čistém prostředí



Obrázek 31 Průběh atmosférického tlaku při měření v čistém prostředí



Obrázek 32 Průběh koncentrace pevných částic při měření v čistém prostředí



Obrázek 33 Průběh koncentrace oxidu uhličitého při měření v čistém prostředí

### 9.1.1 Vyhodnocení měření

Základním cílem tohoto měření bylo zjistit, jak měřicí systém kvality ovzduší vyhodnocuje vzduch v relativně čistém prostředí na vesnici. Průměr prachových částic  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_4$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  a  $\text{PM}_{1.0}$  se nacházel mezi  $4\text{--}6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , což lze popsat jako velmi čistý vzduch. Podle grafu

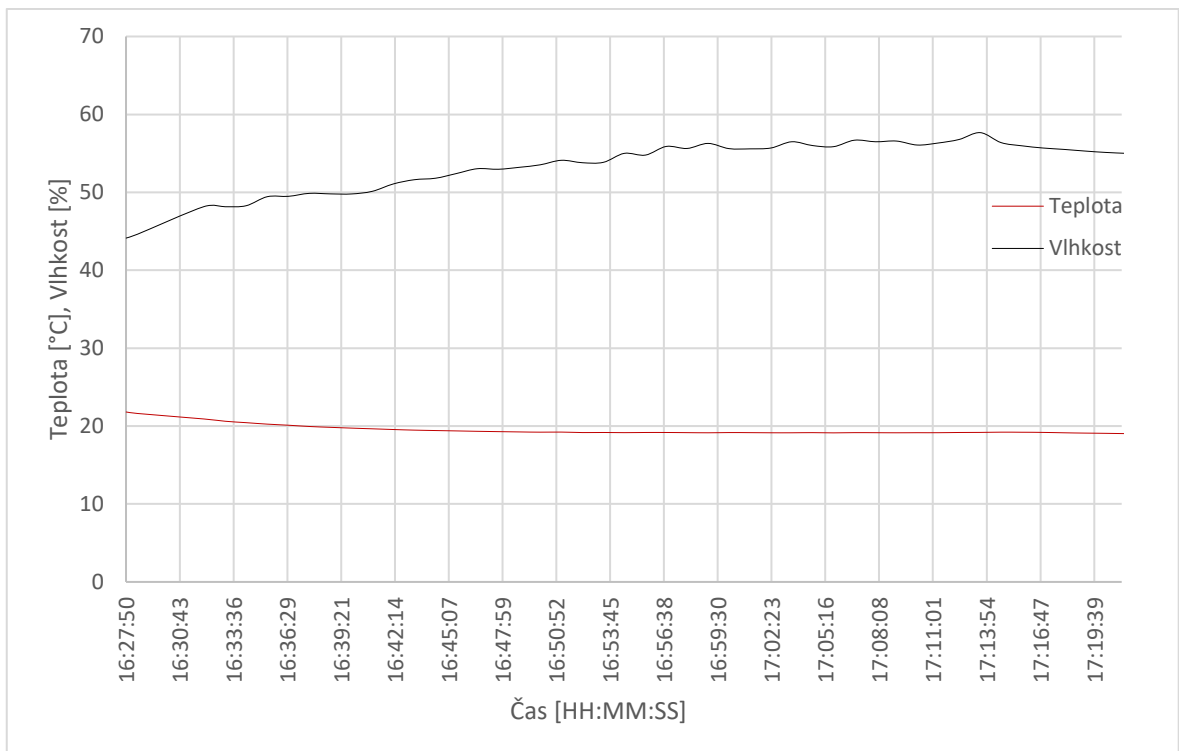
na obrázku výše (Obrázek 32) si lze povšimnout velkého nárustu prachových částic až k  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tento skok mohl být způsobem poletujícím pylem, který byl nasán ventilátorem do trubice. Na grafu znázorňujícím průběh oxidu uhličitého (Obrázek 33) lze vidět zahřívání senzoru, které se projevuje ustalováním oxidu uhličitého. Po několika minutách se hodnota oxidu uhličitého pohybuje kolem 403 ppm. Většina nebezpečných plynů nebyla změřena a oxid dusičitý byl zanedbán.

## 9.2 Měření v zaprášeném prostředí

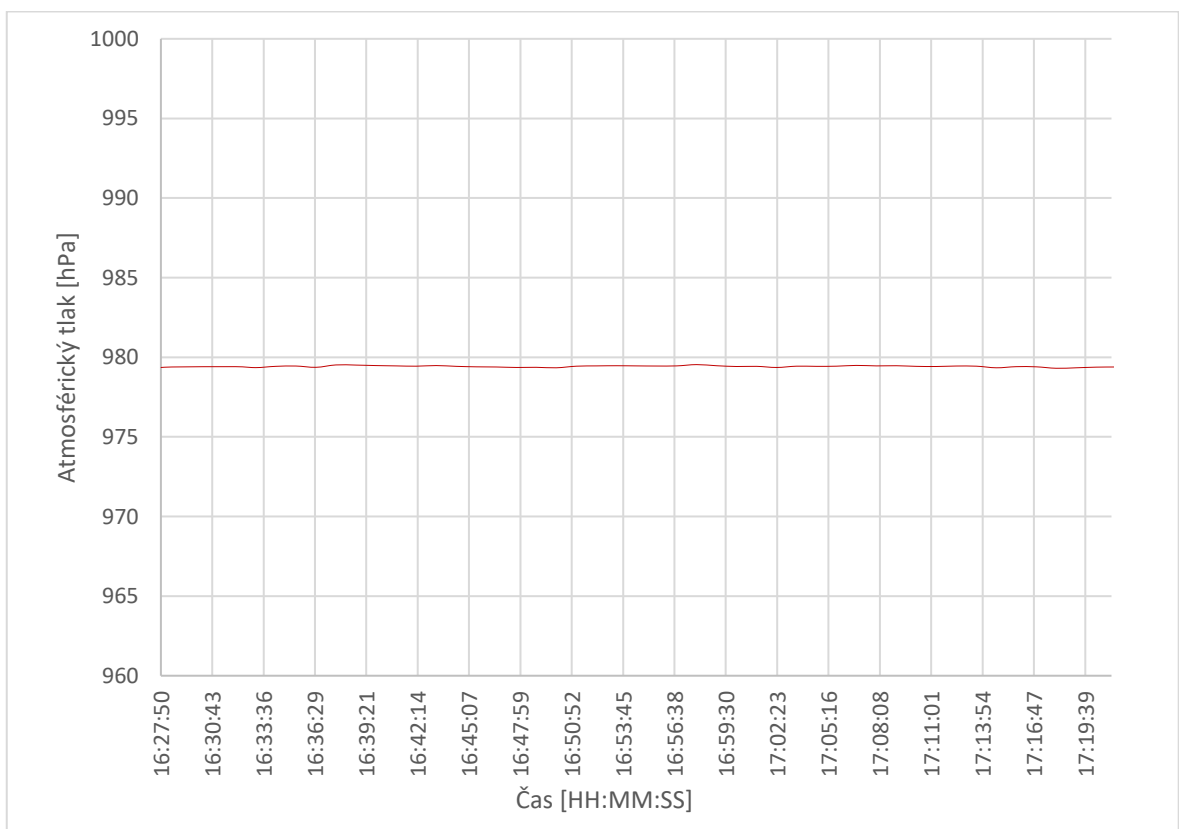
Měření probíhalo necelou hodinu během strojního obrábění šedé litiny. Během měření bylo zapnuto průmyslové odsávání. Měření s dlouhodobým režimem započalo v 16:27 a bylo ukončeno v 17:21.

	Teplota	Vlhkost	Tlak	PM <sub>10</sub>	PM <sub>4</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>1.0</sub>	Měření v zaprášeném prostředí
	[°C]	[%]	[hPa]	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]				
Minimum	19,03	44,13	979,31	14,16	13,33	11,22	7,32	
Maximum	21,81	57,66	979,54	183,22	173,60	154,70	124,64	
Průměr	19,49	53,44	979,42	59,99	53,27	40,04	22,72	
Směrodatná odchylka	0,63	3,29	0,05	32,21	29,54	24,93	20,00	
Směrodatná odchylka průměru	0,01	0,07	0,00	0,70	0,64	0,54	0,43	
	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	CH <sub>4</sub>	O <sub>3</sub>
	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Minimum	698,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	106,31
Maximum	993,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	164,53
Průměr	845,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	119,08
Směrodatná odchylka	77,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,22
Směrodatná odchylka průměru	1,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29

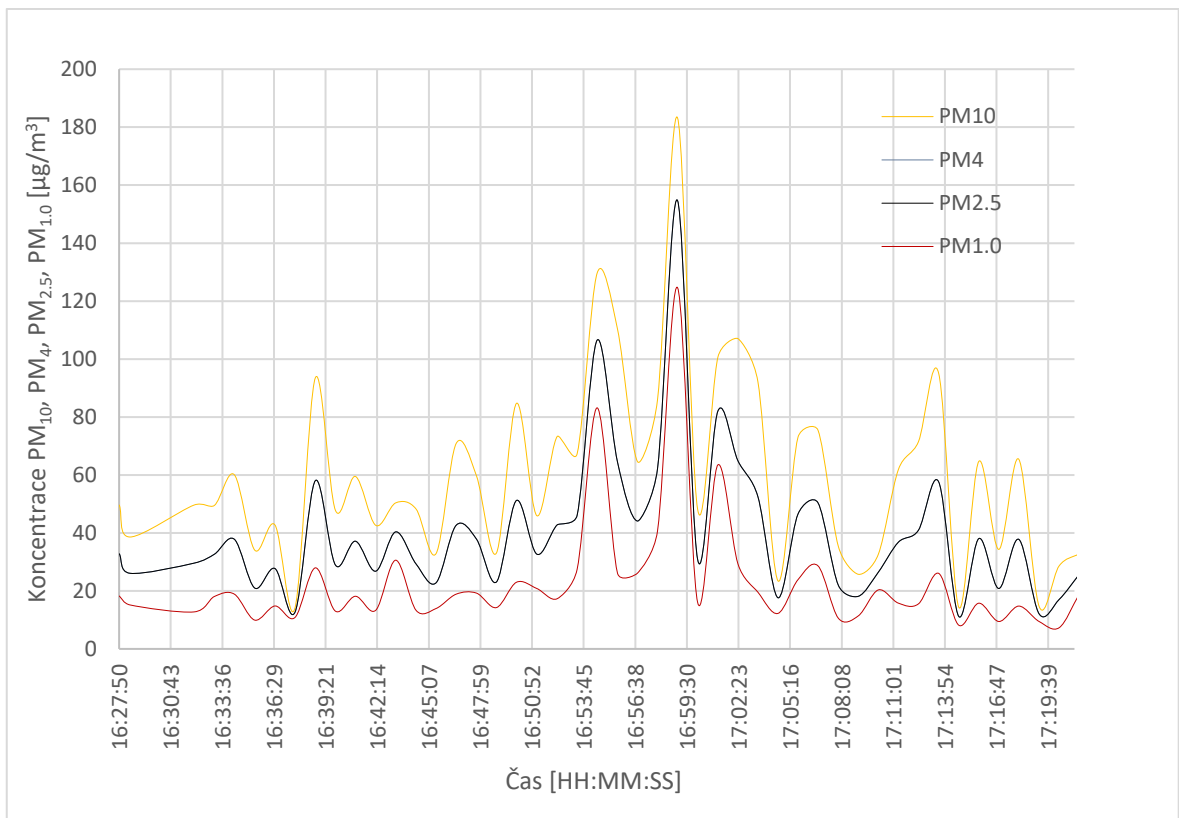
Tabulka 6 Zpracovaná data – měření v zaprášeném prostředí



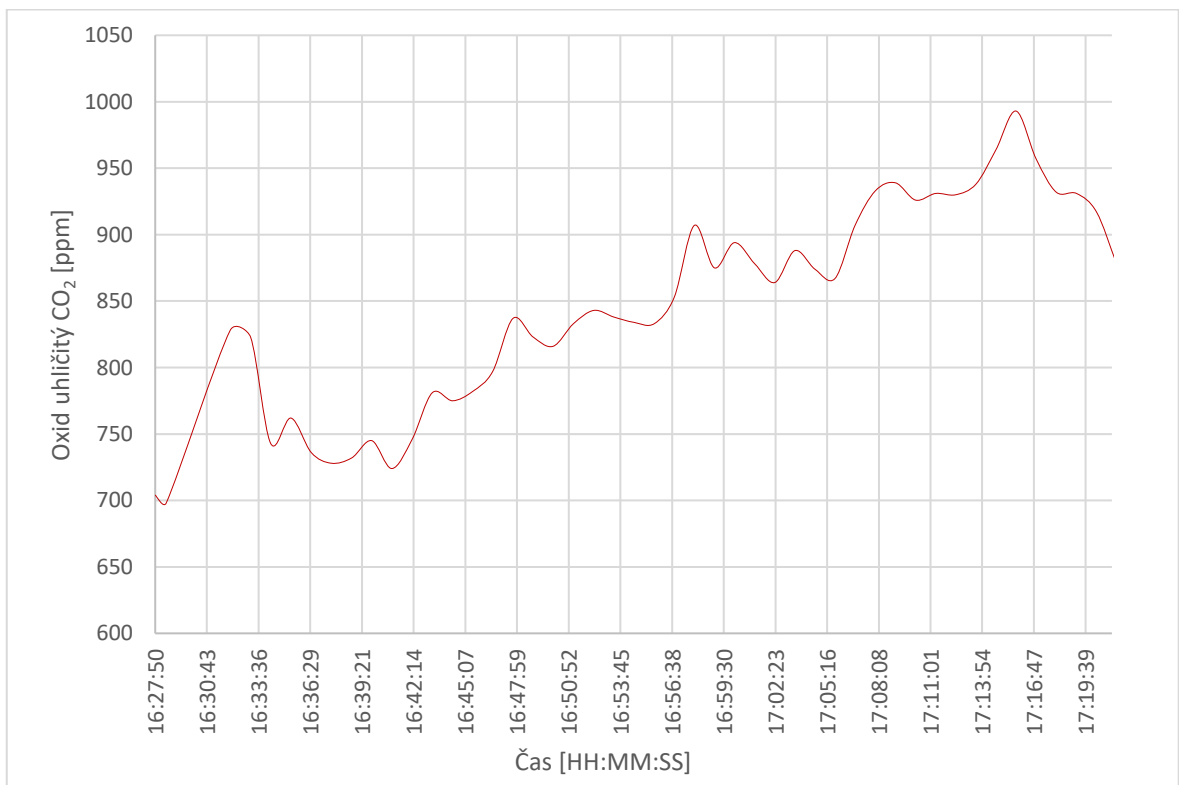
Obrázek 34 Průběh teploty a vlhkosti při měření v zaprášeném prostředí



Obrázek 35 Průběh atmosférického tlaku při měření v zaprášeném prostředí



Obrázek 36 Průběh koncentrace pevných částic při měření v zaprášeném prostředí



Obrázek 37 Průběh koncentrace oxidu uhličitého při měření v zaprášeném prostředí

### 9.2.1 Vyhodnocení měření

Cílem tohoto měření bylo zjistit, jak velké je uvolňování pevných částic při strojním obrábění šedé litiny. Na grafu znázorňujícím průběh pevných částic (Obrázek 36) lze vidět při počátku měření vyšší hodnoty koncentrace pevných částic, které se postupně zvyšují. Maximální hodnota koncentrace pevných částic PM<sub>10</sub> dosahuje v jednom okamžiku až k 183 µg/m<sup>3</sup>. Na grafu znázorňujícím průběh oxidu uhličitého (Obrázek 37) se průměrně hodnota koncentrace pohybovala kolem 845 ppm. Taková hodnota byla způsobena dýcháním během strojního obrábění. Litinový prach, který se uvolňuje během obrábění, se může usazovat na předmětech v místnosti, a to i v elektrických zařízeních bez krytí IP6x. Prach je vodivý a může dojít ke zkratu anebo ke zničení zařízení. Tento prach je dobré eliminovat např. kvalitnějším průmyslovým odsáváním. Během strojního obrábění šedé litiny je také dobré nosit ochranu dýchacích cest, např. respirátor.

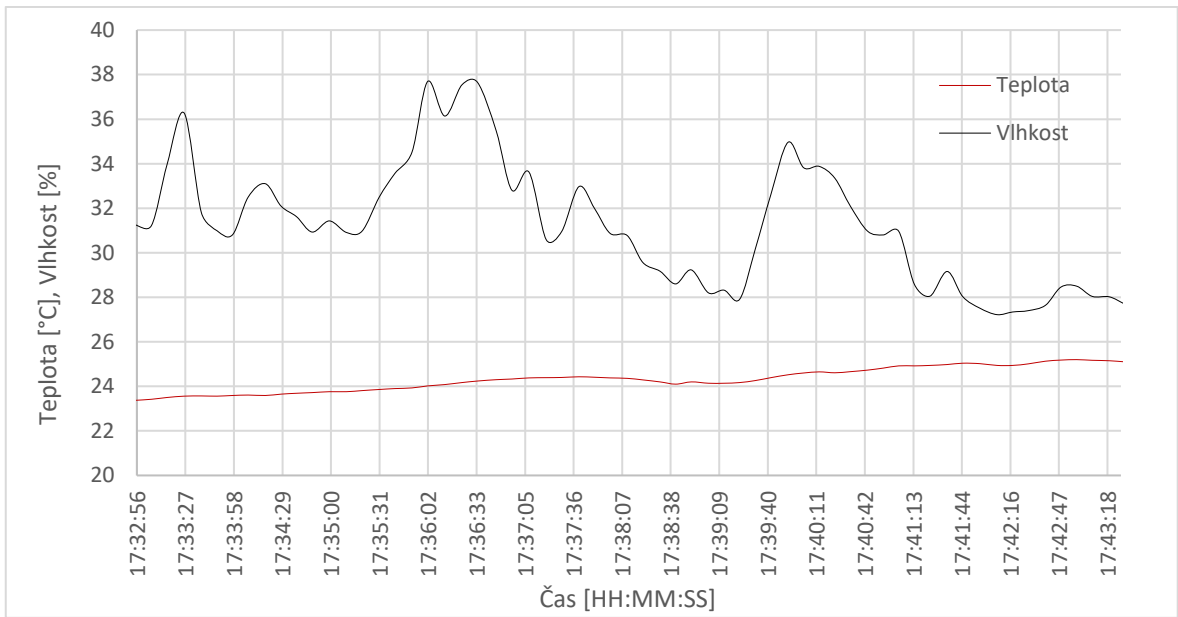
### 9.3 Měření výfukových plynů

Měření probíhalo ve venkovním prostředí, kdy byl měřicí systém kvality ovzduší přiložen přibližně půl metru od výfuku vozidla. Jednalo se o vozidlo Citroen Xsara s dieslovým motorem 1.9TD. Měření s krátkodobým režimem započalo v 17:32 a bylo ukončeno v 17:43.

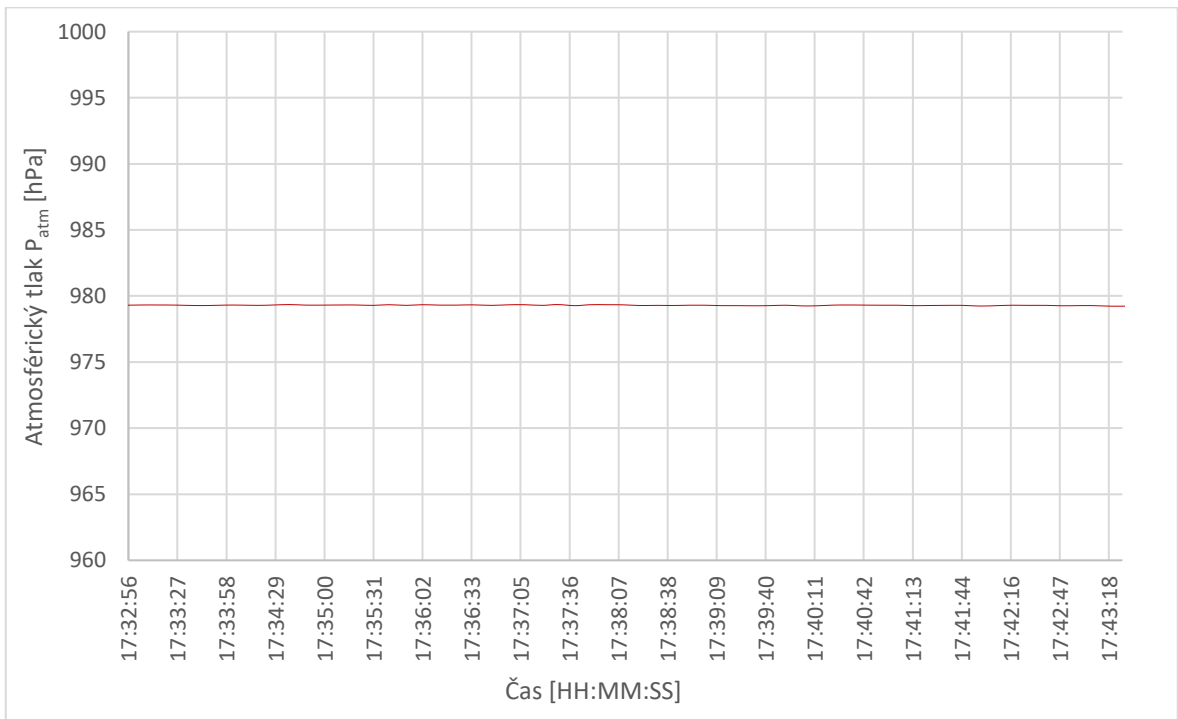
	Teplota	Vlhkost	Tlak	PM <sub>10</sub>	PM <sub>4</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>1,0</sub>	Měření výfukových plynů	
	[°C]	[%]	[hPa]	[µg/m <sup>3</sup> ]					
<b>Minimum</b>	23,37	27,22	979,23	0,00	0,00	0,00	0,00		
<b>Maximum</b>	25,20	37,69	979,35	2052,96	2050,46	2045,55	1928,76		
<b>Průměr</b>	24,32	31,22	979,30	72,52	71,78	70,34	64,87		
<b>Směrodatná odchylka</b>	0,53	2,75	0,03	267,36	267,02	266,38	251,20		
<b>Směrodatná odchylka průměru</b>	0,01	0,05	0,00	4,38	4,38	4,37	4,12		
	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	CH <sub>4</sub>		O <sub>3</sub>
	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]		[µg/m <sup>3</sup> ]
<b>Minimum</b>	402,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00		133,92
<b>Maximum</b>	5000,00	0,00	0,24	241,89	0,00	0,00	15166,60	237,53	
<b>Průměr</b>	2284,48	0,00	0,24	50,83	0,00	0,00	3041,18	177,60	
<b>Směrodatná odchylka</b>	1906,97	0,00	0,01	72,32	0,00	0,00	4478,13	39,43	
<b>Směrodatná odchylka průměru</b>	31,26	0,00	0,00	1,19	0,00	0,00	73,41	0,65	

Tabulka 7 Zpracovaná data – měření výfukových plynů

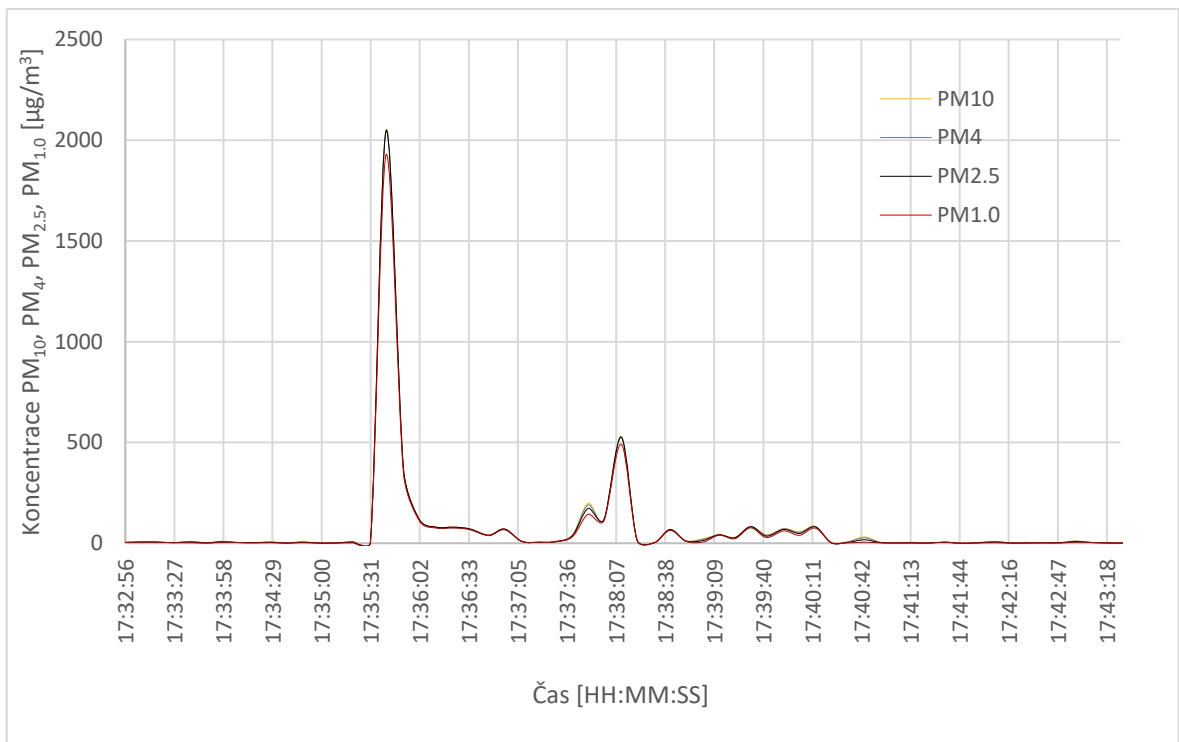




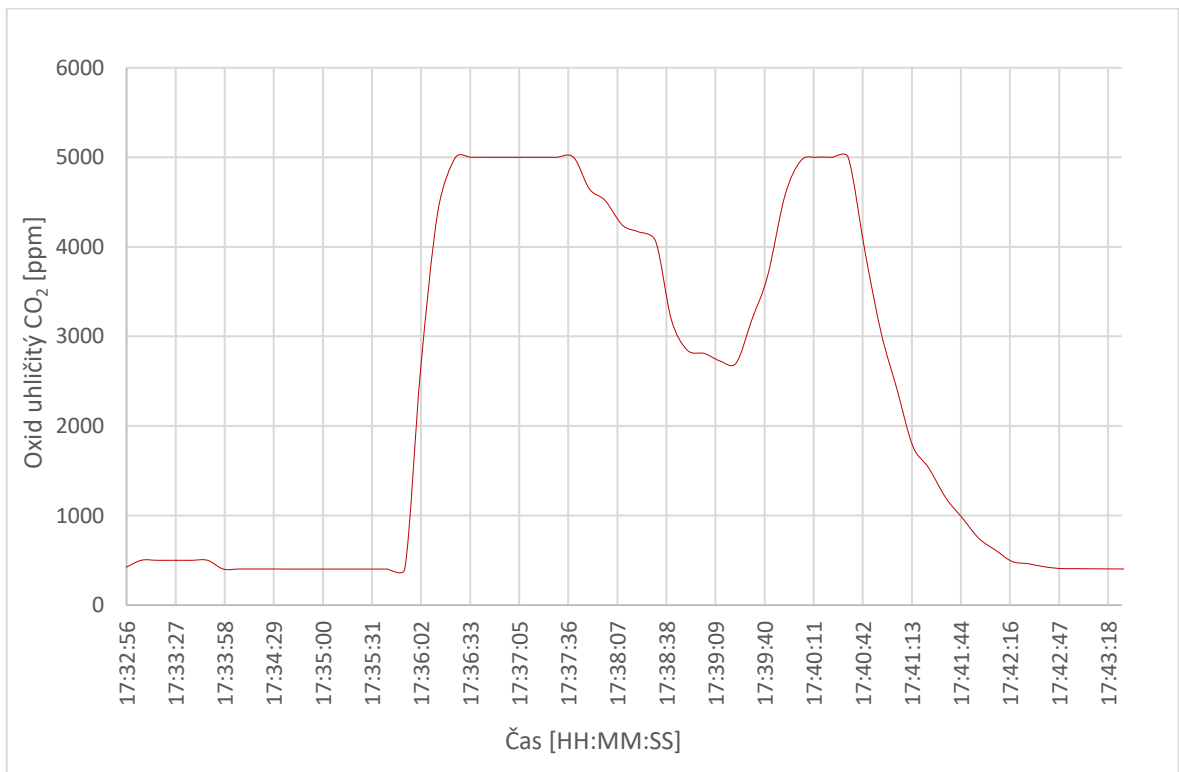
Obrázek 38 Průběh teploty a vlhkosti při měření výfukových plynů



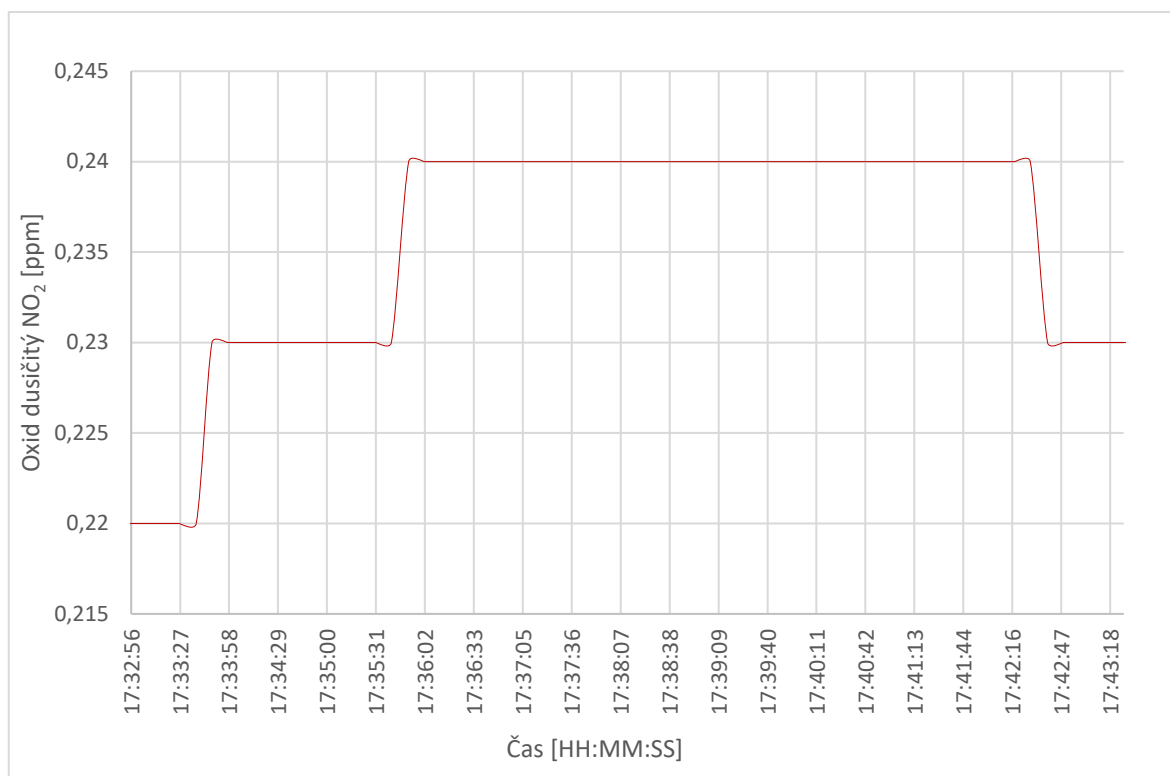
Obrázek 39 Průběh atmosférického tlaku při měření výfukových plynů



Obrázek 40 Průběh koncentrace pevných částic při měření výfukových plynů



Obrázek 41 Průběh koncentrace oxidu uhličitého při měření výfukových plynů



Obrázek 42 Průběh koncentrace oxidu dusičitého při měření výfukových plynů

### 9.3.1 Vyhodnocení měření

Měření mělo za cíl zjistit, jaké prachové částice se uvolňují z diesellového motoru a zdali se uvolňují nějaké nebezpečné látky či oxid uhličitý. Průměr u pevných částic PM<sub>10</sub>, PM<sub>4</sub>, PM<sub>2.5</sub> a PM<sub>1.0</sub> byl v rozsahu od 64 do 72 μg/m<sup>3</sup>. Dle grafu, který znázorňuje průběh koncentrace pevných částic (Obrázek 40), lze vidět, že maximální hodnoty pevných částic PM<sub>10</sub> byly v době nastartování vozidla 2053 μg/m<sup>3</sup>. Po nastartování se pevné částice ustálily. Po zvýšení otáček motoru na volnoběh dosáhly koncentrace PM<sub>10</sub> hodnoty 531 μg/m<sup>3</sup>. Na grafu, který znázorňuje průběh oxidu uhličitého (Obrázek 41) lze vidět během nastartování velký nárůst koncentrace do maximální hodnoty 5000 ppm. Po chvíli došlo k ustalování a po následném přidání plynu na volnoběh se opět koncentrace dostala do maximální hodnoty a saturovala až do vypnutí motoru, kdy se začala ustalovat až k hodnotě 400 ppm. Nebezpečný plyn byl změřen pouze oxid dusičitý, který se pohyboval při hodnotě 0,22 ppm a po nastartování motoru nabyl hodnoty 0,24 ppm. Plyny NH<sub>3</sub> a CH<sub>4</sub> byly zanedbány kvůli nereálným výsledkům, kde se může jednat o reakci např. na jiný druh plynu či na aromatické uhlovodíky.

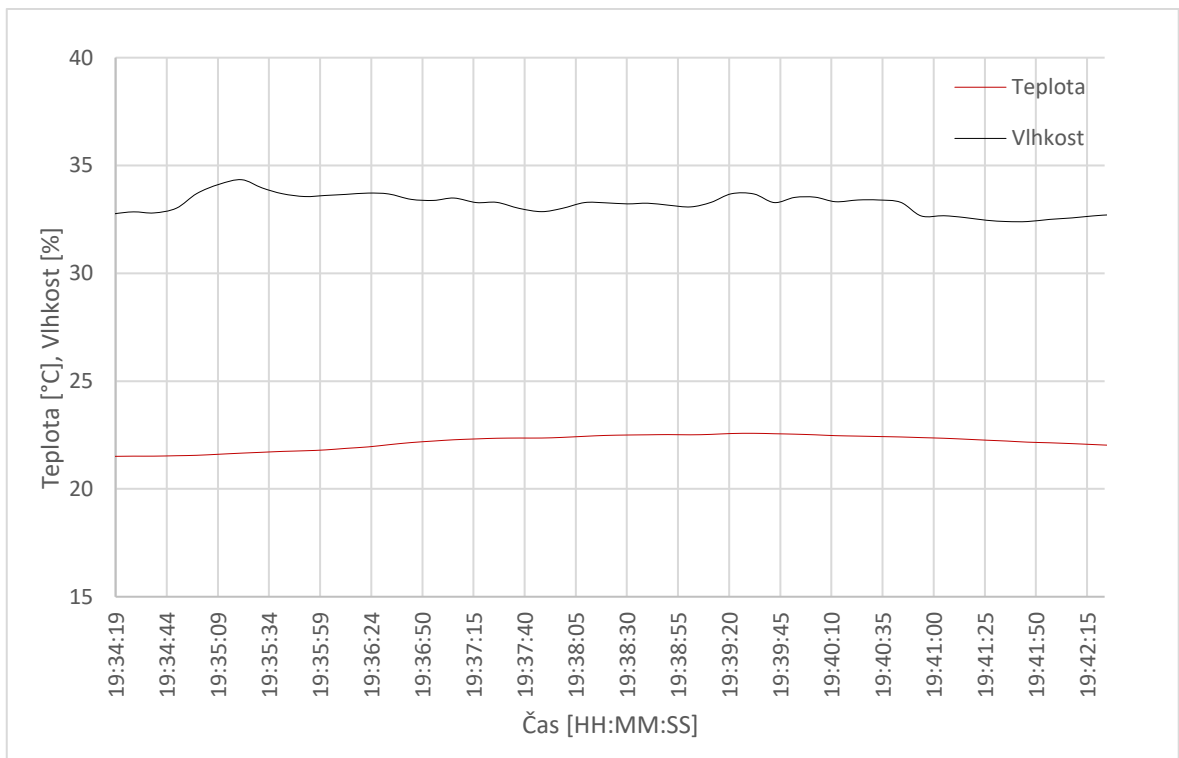
## 9.4 Měření hořícího papíru

Měření probíhalo ve venkovním prostředí, kdy byl u měřicího systému kvality ovzduší zapálen kus papíru. Kouř a částice, které vznikly během hoření, byly nasávány do trubice.

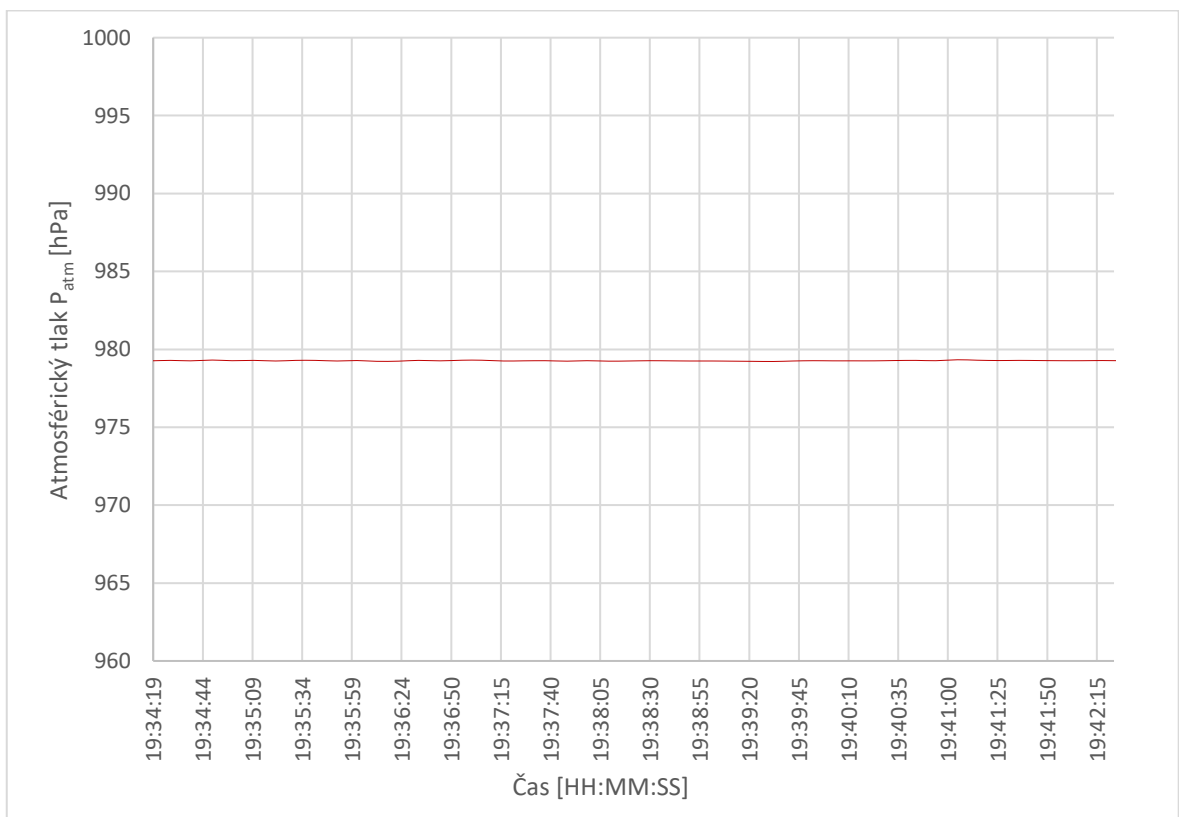
Měření s krátkodobým režimem započalo v 19:33 a bylo ukončeno v 19:42.

	Teplota	Vlhkost	Tlak	PM <sub>10</sub>	PM <sub>4</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>1.0</sub>	Měření hořícího papíru	
	[°C]	[%]	[hPa]	[µg/m <sup>3</sup> ]					
Minimum	21,50	32,29	979,22	0,74	0,74	0,74	0,70		
Maximum	22,58	34,34	979,33	65452,30	54981,40	34383,40	8923,67		
Průměr	22,13	33,16	979,27	5369,37	4706,27	3401,87	1723,05		
Směrodatná odchylka	0,35	0,48	0,02	10990,76	9319,03	6059,08	2232,10		
Směrodatná odchylka průměru	0,01	0,01	0,00	211,36	179,21	116,52	42,92		
	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	CH <sub>4</sub>		O <sub>3</sub>
	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]		[µg/m <sup>3</sup> ]
Minimum	402,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		77,63
Maximum	731,00	399,61	0,00	357,89	60,93	75,16	22732,30	208,34	
Průměr	502,17	73,59	0,00	170,88	2,09	3,40	10725,45	100,65	
Směrodatná odchylka	108,35	118,40	0,00	133,62	10,60	14,16	8453,68	36,12	
Směrodatná odchylka průměru	2,08	2,28	0,00	2,57	0,20	0,27	162,57	0,69	

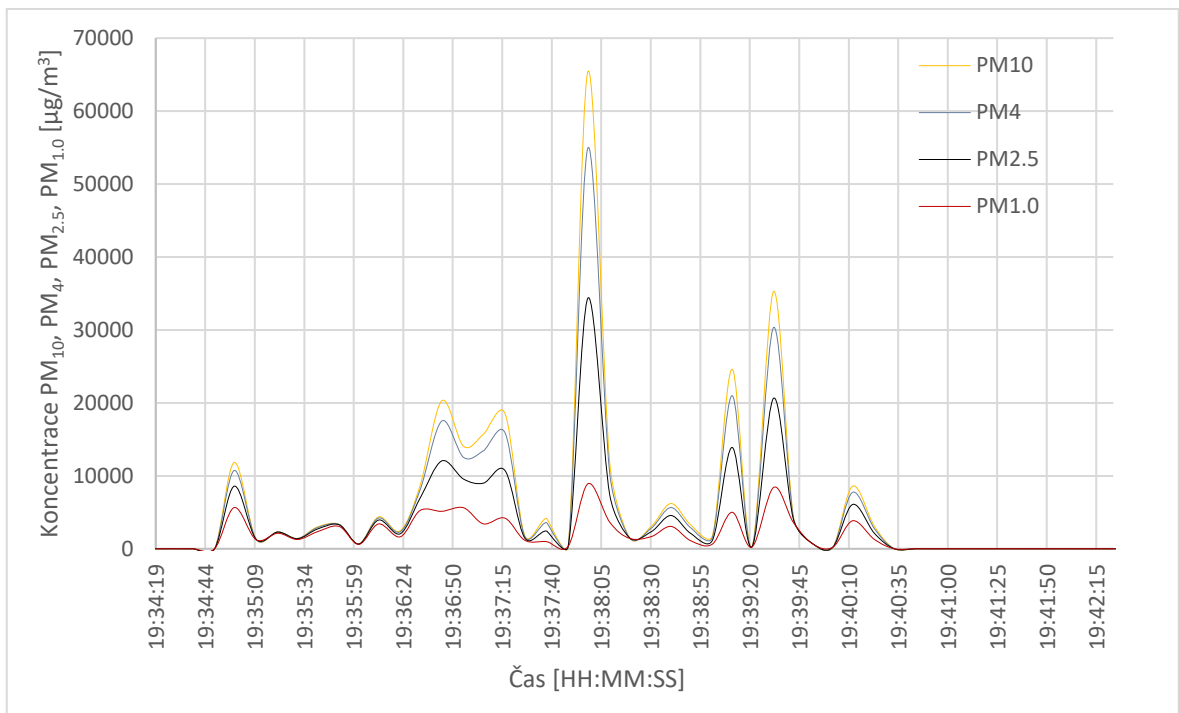
Tabulka 8 Zpracovaná data – měření hořícího papíru



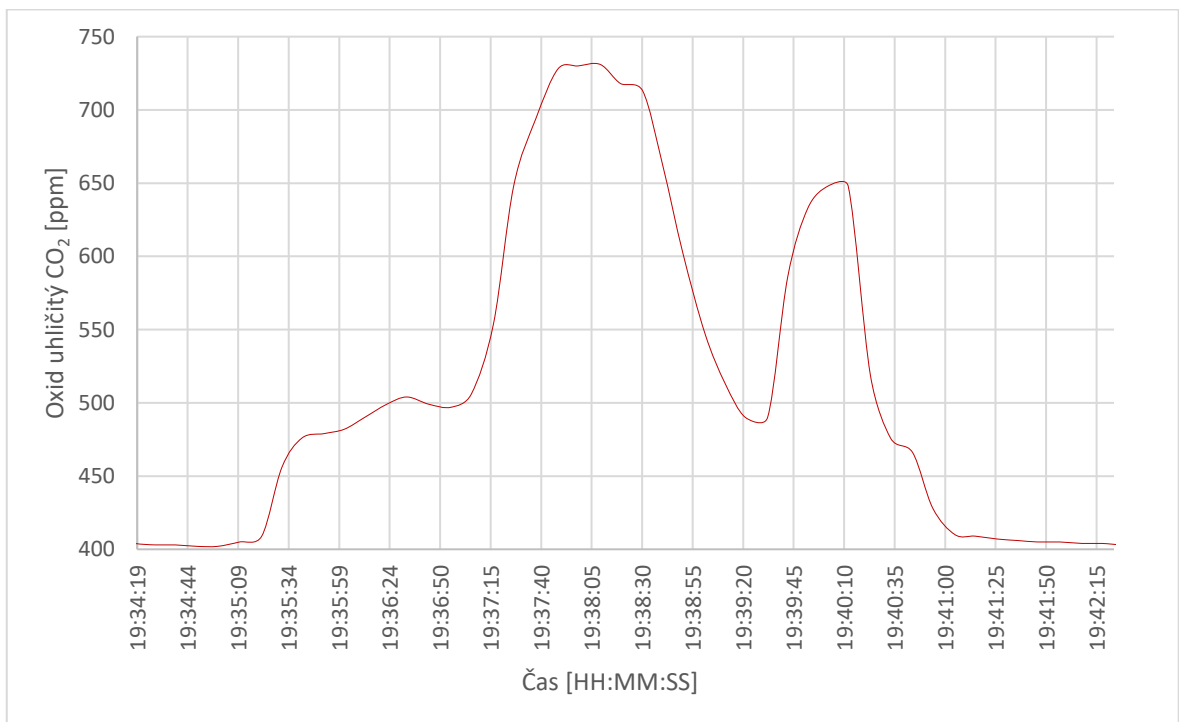
Obrázek 43 Průběh teploty a vlhkosti při měření hořícího papíru



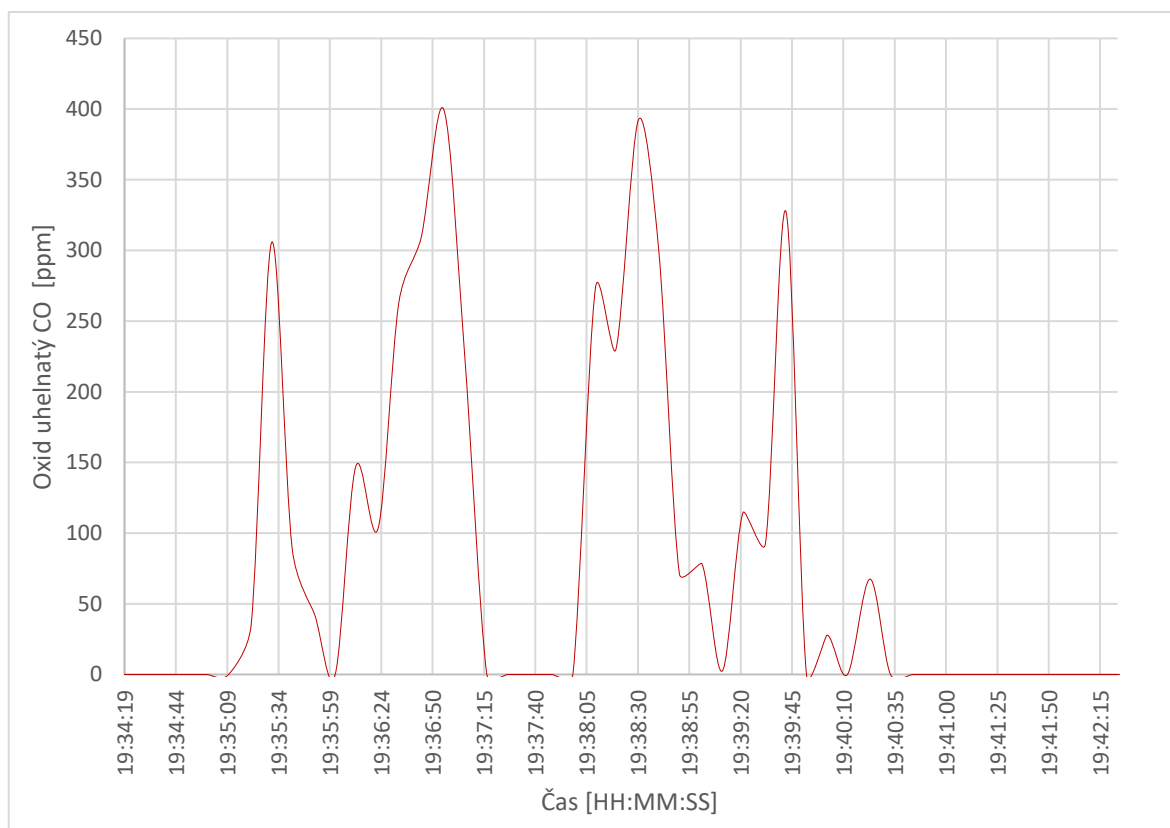
Obrázek 44 Průběh atmosférického tlaku při měření hořícího papíru



Obrázek 45 Průběh koncentrace pevných částic při měření hořícího papíru



Obrázek 46 Průběh koncentrace oxidu uhličitého při měření hořícího papíru



Obrázek 47 Průběh koncentrace oxidu uhelnatého při měření hořícího papíru

#### 9.4.1 Vyhodnocení měření

Měření hořícího papíru mělo za cíl zjistit, jaké pevné částice včetně látek jsou uvolněny během hoření. Během hoření lze počítat s nedokonalým spalováním, které může způsobit vznik oxidu uhelnatého. Průměrné hodnoty pro pevné částice PM10 byly  $5369,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zatímco pro PM2.5  $3401,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Maximální hodnota koncentrací u pevných částic dosahovala až k hodnotě  $65452,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Během hoření senzor zaznamenal také hodnoty koncentrace oxidu uhelnatého zobrazeném v grafu průběhu oxidu uhelnatého (Obrázek 47). Koncentrace oxidu uhelnatého dosahovala téměř až k hodnotě 400 ppm, přičemž průměrná hodnota byla 73,6 ppm. Při hoření papíru měřicí systém také zaznamenal prudce se měnící koncentrace oxidu uhličitého, který vzniká při hoření. Maximální koncentrace oxidu uhličitého dosahovaly hodnoty 731 ppm. Jiné nebezpečné plyny byly zanedbány, zejména kvůli nereálným výsledkům.

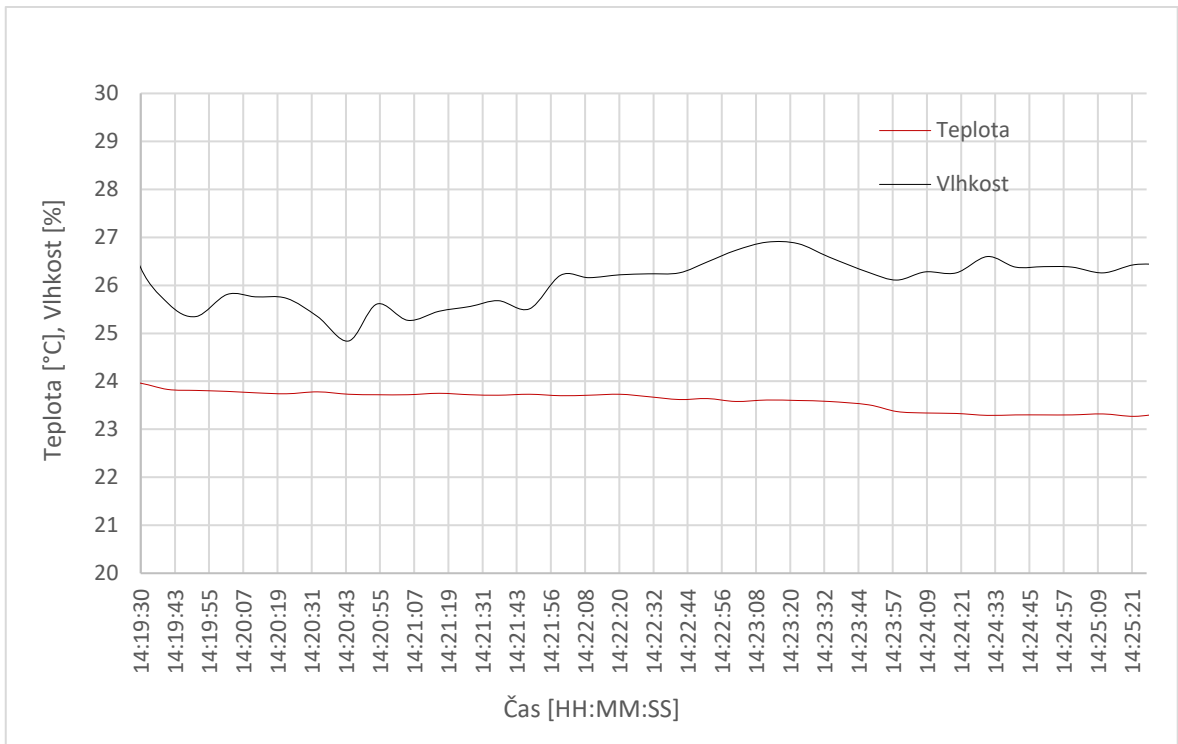
## 9.5 Měření cigaretového kouře

Měření probíhalo v otevřeném prostředí, kdy byl k trubici vyfukován cigaretový kouř ze zapálené cigarety. Měření s krátkodobým režimem započalo ve 14:16 a bylo ukončeno ve 14:29.

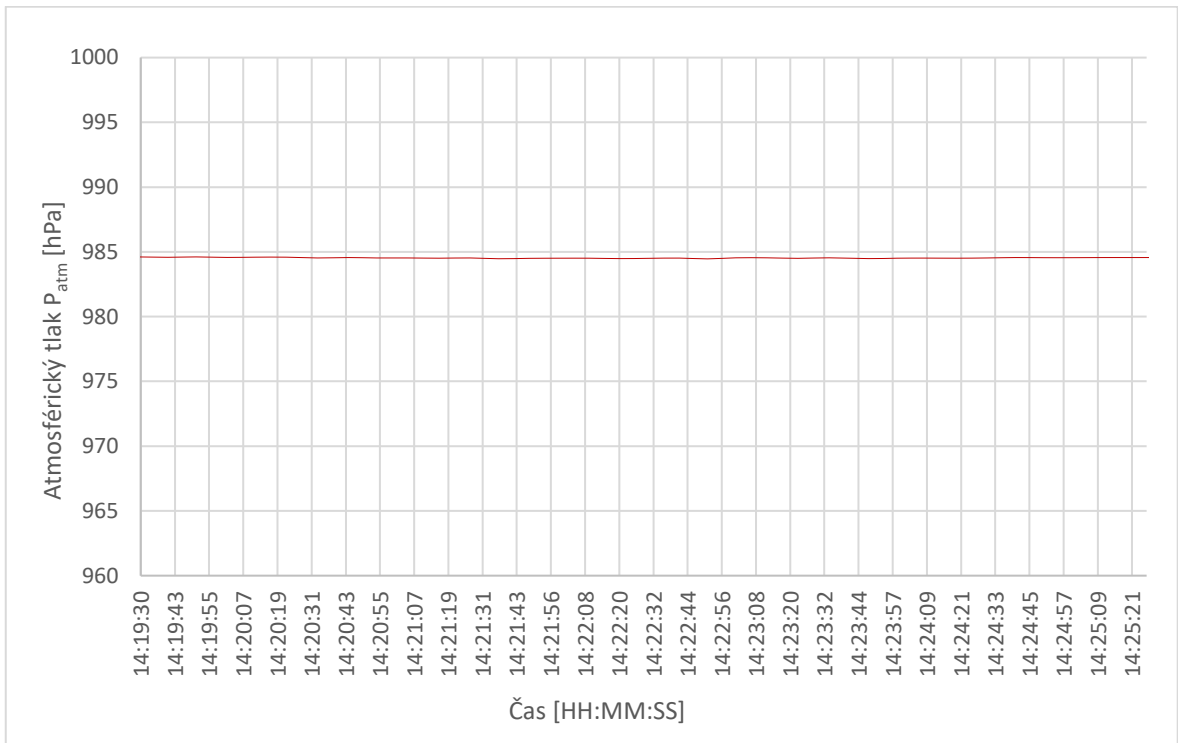
	Teplota	Vlhkost	Tlak	PM <sub>10</sub>	PM <sub>4</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>1,0</sub>	Měření cigaretového kouře	
	[°C]	[%]	[hPa]	[µg/m <sup>3</sup> ]					
<b>Minimum</b>	22,29	24,84	984,44	0,73	0,73	0,73	0,69		
<b>Maximum</b>	23,97	30,29	984,79	53578,50	45136,10	28528,60	7957,38		
<b>Průměr</b>	23,49	26,48	984,57	4405,78	3785,23	2564,50	1027,03		
<b>Směrodatná odchylka</b>	0,35	0,94	0,09	10581,00	8955,17	5770,05	1926,88		
<b>Směrodatná odchylka průměru</b>	0,01	0,01	0,00	153,35	129,79	83,62	27,93		
	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	CH <sub>4</sub>		O <sub>3</sub>
	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]		[µg/m <sup>3</sup> ]
<b>Minimum</b>	400,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00		70,69
<b>Maximum</b>	682,00	293,97	0,23	311,89	0,00	0,00	19731,80	237,53	
<b>Průměr</b>	464,60	7,54	0,21	47,81	0,00	0,00	2932,76	126,55	
<b>Směrodatná odchylka</b>	106,70	43,92	0,01	85,02	0,00	0,00	5301,74	62,64	
<b>Směrodatná odchylka průměru</b>	1,55	0,64	0,00	1,23	0,00	0,00	76,84	0,91	

Tabulka 9 Zpracovaná data – měření cigaretového kouře

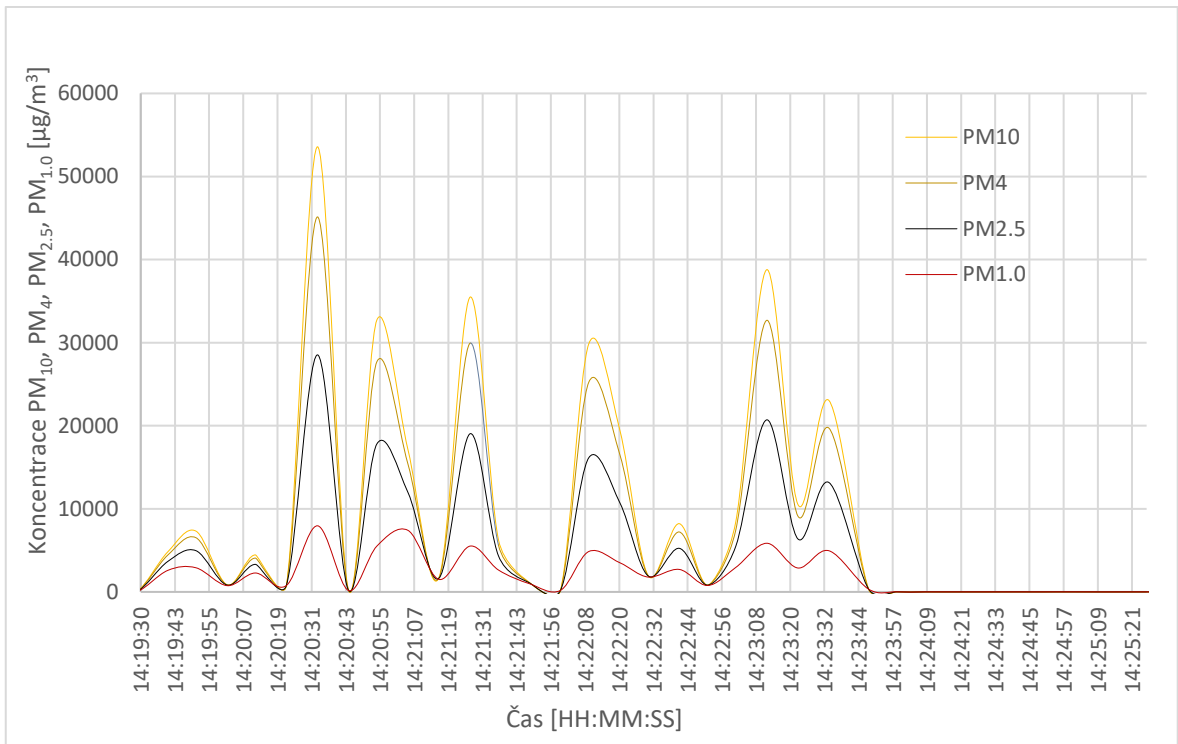




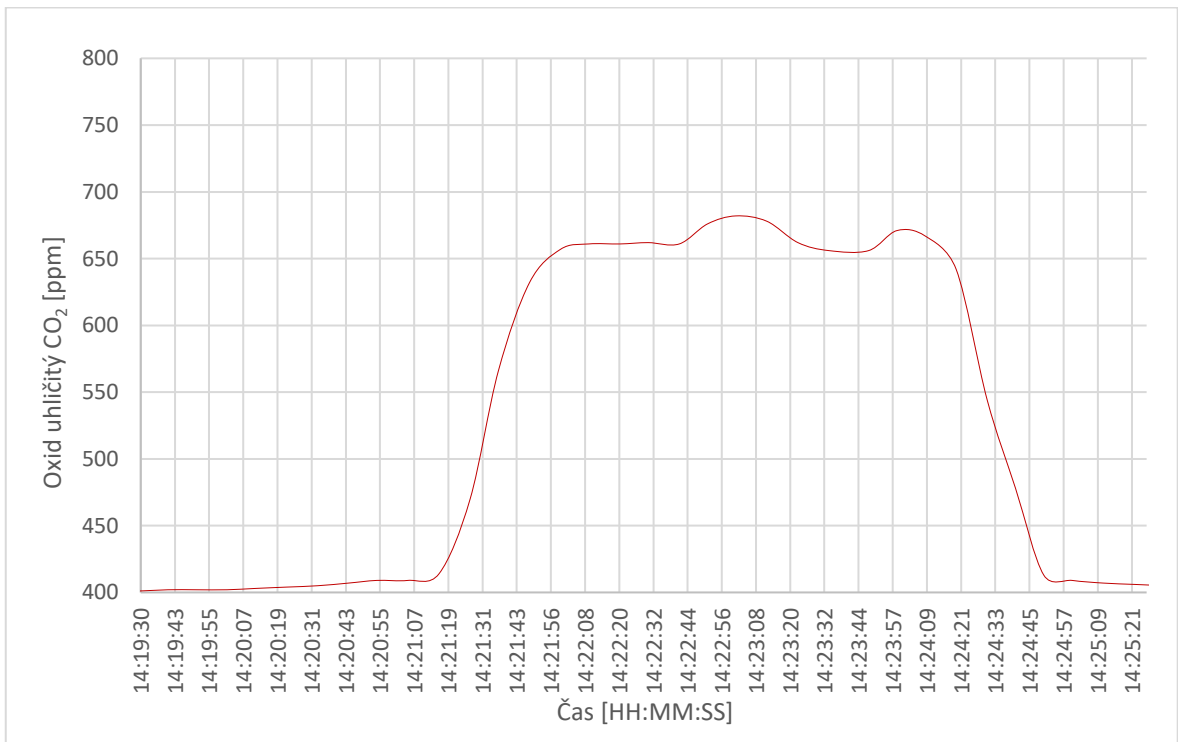
Obrázek 48 Průběh teploty a vlhkosti při měření cigaretového kouře



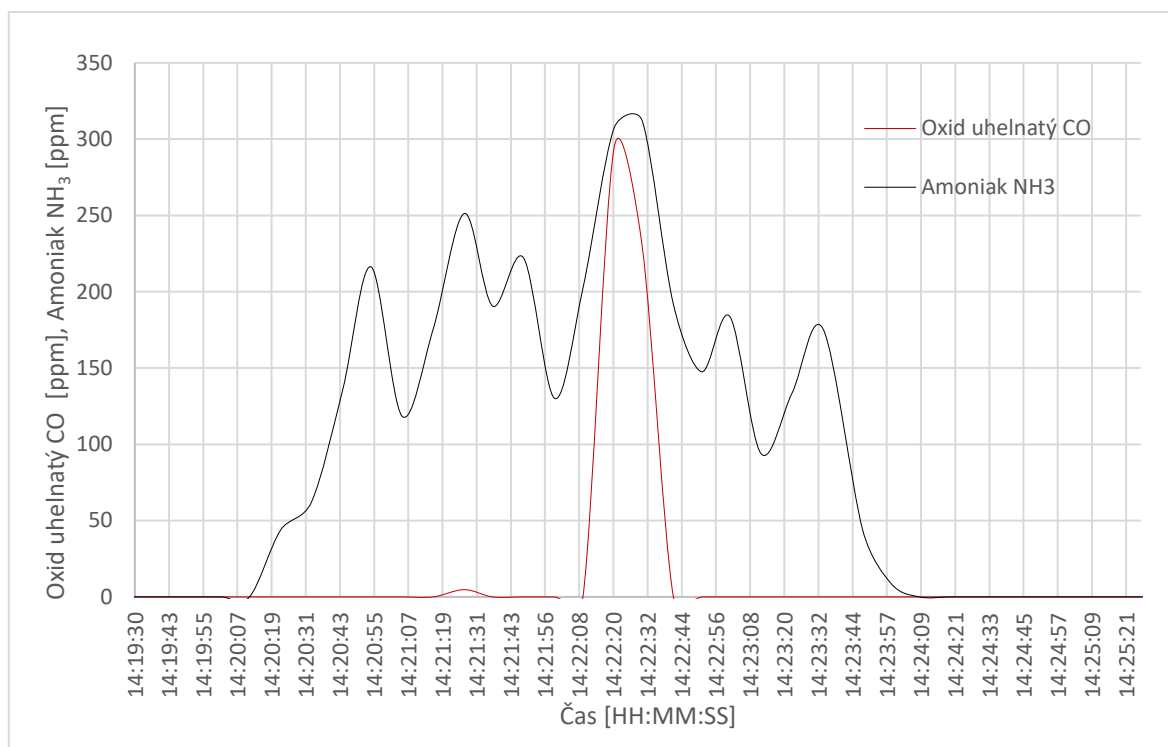
Obrázek 49 Průběh atmosférického tlaku při měření cigaretového kouře



Obrázek 50 Průběh koncentrace pevných částic při měření cigaretového kouře



Obrázek 51 Průběh koncentrace oxidu uhličitého při měření cigaretového kouře



Obrázek 52 Průběh koncentrace oxidu uhelnatého a amoniaku při měření cigaretového kouře

### 9.5.1 Vyhodnocení měření

Měření cigaretového kouře mělo za cíl zjistit, jaké nebezpečné plyny a pevné částice se mohou dostávat do nitra lidského organismu. Měřicí systém kvality ovzduší reagoval téměř okamžitě na příchozí cigaretový kouř a ihned zobrazil několik vysokých hodnot pevných částic PM<sub>10</sub>, PM<sub>4</sub>, PM<sub>2.5</sub> a PM<sub>1.0</sub>. Průměrné hodnoty se pohybovaly mezi 1000–4500 μg/m<sup>3</sup>. Největší koncentrace pevných částic byla u PM<sub>10</sub> a to 53578,5 μg/m<sup>3</sup>. V grafu, který zobrazuje průběh oxidu uhličitého (Obrázek 51), lze vidět nárůst koncentrace až do maximální hodnoty 682 ppm. Během měření cigaretového kouře zaznamenal měřicí systém kvality ovzduší také několik nebezpečných plynů, konkrétně se jednalo o amoniak a oxid uhelnatý. Oxid uhelnatý dosahoval v jednom okamžiku maximální hodnoty 294 ppm a amoniak 312 ppm. Během měření byly zanedbány další plyny jako např. CH<sub>4</sub> či NO<sub>2</sub>, které reagovaly na jiné látky, např. na oxidy síry, formaldehyd či přímo nikotin.

### 9.6 Vyhodnocení vlastností

Měřicí systém kvality ovzduší je schopen aktivně zaznamenávat měřené fyzikální veličiny a chemické látky do databáze v intervalu deseti sekund nebo jedné minuty. Je schopen poznat prašné, vydýchané či nebezpečné prostředí, které by mohlo jakkoli narušit zdraví

člověka. Měřicí systém kvality ovzduší je schopen detekovat jakýkoliv únik plynu v domácnosti, kouř či detekovat oxid uhelnatý, který je přezdíván jako tichý zabiják. Zařízení v neposlední řadě vyhodnocuje meteorologické fyzikální veličiny a zaznamenává aktuální teplotu, vlhkost a atmosférický tlak. Zařízení je schopno zaznamenávat i koncentrace ozonu  $O_3$ , ale z důvodu neúplných a nereálných dat nebyl vyhodnocen.

Zařízení je velmi jednoduché na obsluhu, je vybaveno pěti tlačítky, které slouží pro ovládání celého měřicího systému kvality ovzduší. Po dokončeném měření vždy zobrazuje naměřené veličiny na displeji, který se nachází nad tlačítky. Mimo jiné, displej zobrazuje také aktuální stavy tlačítek a stav Wi-Fi sítě.

Zařízení je nyní vhodné k umístění do prostor, kde hrozí riziko úniku nebezpečného plynu, např. metanu, který je vysoce hořlavý a výbušný. Zařízení může být vhodné pro použití v domácnosti ke kontrole polévatého prachu nebo vydýchaného vzduchu pro osoby trpící alergiemi či různými respiračními onemocněními. Dále v domácnosti může měřicí systém kvality ovzduší sloužit jako meteorologická stanice pro měření meteorologických fyzikálních veličin nebo jako detektor oxidu uhelnatého a případně tak ochránit život osob.

## ZÁVĚR

Cílem teoretické části bylo seznámit čtenáře se strukturou mikropočítače, způsoby jeho programování, použití operačního systému reálného času FreeRTOS a mimo jiné přiblížit také problematiku chemických senzorů a způsoby měření chemických látek. Teoretická část si také kladla za cíl čtenáři vytvořit základní přehled o nebezpečných chemických látkách, které jsou velmi nebezpečné pro lidský organismus, a také měla čtenáři dále přiblížit základní měřicí stanice pro environmentální monitorování ovzduší na území České republiky.

Úkolem praktické části bylo vybrání vhodných senzorů kvality ovzduší a řídicího mikropočítače a následný návrh hardwarové jednotky, který byl rozdělen na řídicí a měřicí desku plošných spojů. Další úkol praktické části byl založen na zhotovení celého měřicího systému kvality ovzduší, který je schopen měřit meteorologické fyzikální veličiny, poléťavý prach, koncentraci oxidu uhličitého a nebezpečné plyny narušující lidské zdraví. Dále bylo vytvořeno programové vybavení pro řídicí mikropočítač, kde se programové vybavení skládalo z hlavního programu založeném na operačním systému reálného času FreeRTOS a obslužné knihovny napsané v programovacím jazyce C++. Pro zapisování naměřených dat do databáze byl využit skript na straně serveru napsaný v programovacím jazyce PHP, který se staral o každé zapsání naměřených dat do MySQL databáze. Posledním úkolem bylo ověření funkce a testování měřicího systému kvality ovzduší.

Ověření funkce zařízení měřicího systému kvality ovzduší bylo založeno na měření hořícího papíru, výfukových plynů, cigaretového kouře a měření v čistém a zaprášeném prostředí. Při jednotlivých měřeních hořícího papíru a cigaretového kouře se prokázala skutečnost, že opravdu při nedokonalém spalování se uvolňuje oxid uhelnatý a desítky tisíc pevných částic, které pronikají do nitra lidského organismu. Během měření cigaretového kouře byla zaznamenána také koncentrace amoniaku. Během měření výfukových plynů měřicí systém kvality ovzduší zaznamenal mimo pevné částice i jiné plyny např. metan, amoniak, což mohlo být způsobeno např. polycyklickými aromatickými uhlovodíky nebo jinými látkami. Během měření v zaprášeném prostředí se hodnoty koncentrace pevných částic výrazně zvětšily oproti měření v čistém prostředí.

Měřicí systém kvality ovzduší je vhodný k umístění např. do domácnosti, kde hrozí jakýkoliv únik plynu a mohl by způsobit nebezpečné prostředí a ovlivnit tak zdraví osob. Může být vhodný do prostor, kde je potřeba kontrolovat kvalitu vzduchu, např. pro lidi s alergiemi či různými respiračními onemocněními. V domácnosti může dále měřicí systém

sloužit i jako meteorologická stanice, neboť dokáže vyhodnocovat aktuální teplotu, vlhkost a atmosférický tlak. Zařízení je vhodné také pro detekci zakouřeného prostoru a oxidu uhelnatého, např. při neočekávaném hoření.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KNOOP, Donald E. a LOESSEL, Mark C. Microcomputers: A Technique for Electronic Control. Online. IEEE Transactions on Industry Applications. 1976, roč. IA-12, č. 4, s. 354-358. ISSN 1939-9367. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/TIA.1976.349436>. [cit. 2024-01-06].
- [2] SHEA, Sharon. Microcomputer. TechTarget [online]. ©2024 [cit. 2024-01-07]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/microcomputer>
- [3] Mikropočítače. Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta [online]. 1998 [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/elektronika/kap9/mikropo.html>
- [4] CADY, Fredrick M. Microcontrollers and microcomputers: principles of software and hardware engineering. 2. ed. New York: Oxford University Press: Oxford University Press, 2010. ISBN 978-0-19-537161-1.
- [5] HRUŠKA, František. Technické prostředky integrované automatizace. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2012. ISBN 9788074542343. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/18664>.
- [6] RAFIQUZZAMAN, M. Fundamentals of Digital Logic and Microcomputer Design. Online. Fifth Edition. Wiley-Interscience, 2005. ISBN 9780471733492. Dostupné z: <https://www.perlego.com/book/2768393/fundamentals-of-digital-logic-and-microcomputer-design>. [cit. 2024-02-19].
- [7] PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače. Praha: BEN – technická literatura, 2004. ISBN 8073001101.
- [8] Using Nonvolatile Static RAMs. Analog Devices [online]. ©2024 [cit. 2024-01-22]. Dostupné z: <https://www.analog.com/en/design-notes/using-nonvolatile-static-rams.html>
- [9] STAFF, Newhaven. Serial vs Parallel Communication. Newhaven Display International [online]. 2023 [cit. 2024-01-22]. Dostupné z: <https://newhavendisplay.com/blog/serial-vs-parallel-communication/>

- [10] DUDÁČEK, Karel. Sériová rozhraní SPI, Microwire, I2C a CAN [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2002 [cit. 2024-01-24]. Dostupné z: [https://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova\\_rozhrani.pdf](https://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova_rozhrani.pdf)
- [11] CAMPBELL, Scott. BASICS OF UART COMMUNICATION. Circuit Basics [online]. [cit. 2024-01-25]. Dostupné z: <https://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/>
- [12] WANG, K.C. Embedded and Real-Time Operating Systems. Online. Cham: Springer International Publishing, 2017. ISBN 978-3-319-51516-8. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-51517-5>. [cit. 2024-01-29].
- [13] HOPKINS, Jessica. What is a Register in a CPU and How Does it Work? Online. Total Phase. ©2024. Dostupné z: <https://www.totalphase.com/blog/2023/05/what-is-register-in-cpu-how-does-it-work/>. [cit. 2024-02-05].
- [14] DYER, Stephen A. Survey of instrumentation and measurement. New York: Wiley, 2001. ISBN 047139484X.
- [15] GRÜNDLER, Peter. Chemical sensors: an introduction for scientists and engineers. New York: Springer, c2007. ISBN 9783540457428.
- [16] VOJÁČEK, Antonín. Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech - 2. Jak ji měřit? HW server s.r.o. [online]. © 1997-2022 [cit. 2024-02-12]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-2-jak-ji-merit.html>
- [17] CHANDRASEKHAR, Prasanna. Conducting polymers, fundamentals and applications : including carbon nanotubes and graphene. Second edition. Cham: Springer, 2018. ISBN 9783319693767.
- [18] MISHRA, Vivekanand; RASHMI a SUKRITI. Optical Gas Sensors. Online. In: DHARA, Soumen a DUTTA, Gorachand (ed.). Metal-Oxide Gas Sensors. IntechOpen, 2023. ISBN 978-1-80356-962-8. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.108971>. [cit. 2024-02-12].
- [19] WU, Jingwen; YUE, Gongcheng; CHEN, Weicheng; XING, Zhengkun; WANG, Jiaqi et al. On-Chip Optical Gas Sensors Based on Group-IV Materials. Online. ACS Photonics. 2020, roč. 7, č. 11, s. 2923-2940. ISSN 2330-4022. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.0c00976>. [cit. 2024-02-12].



- [20] Optical gas sensor. Online. Electricity – Magnetism. ©2024. Dostupné z: <https://www.electricity-magnetism.org/optical-gas-sensor/>. [cit. 2024-02-12].
- [21] HRUŠKA, František. Senzory fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití (e-book) [online]. 2. rozš. vyd. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011 [cit. 2024-02-14]. ISBN 9788074540967. 978-80-7454-096-7. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/18582>
- [22] BARRY, Richard. Mastering the FreeRTOS™ Real Time Kernel [online]. Real Time Engineers, 2016 [cit. 2024-02-14]. Dostupné z: [https://www.freertos.org/fr-content-src/uploads/2018/07/161204\\_Mastering\\_the\\_FreeRTOS\\_Real\\_Time\\_Kernel-A\\_Hands-On\\_Tutorial\\_Guide.pdf](https://www.freertos.org/fr-content-src/uploads/2018/07/161204_Mastering_the_FreeRTOS_Real_Time_Kernel-A_Hands-On_Tutorial_Guide.pdf)
- [23] WEBSTER, John G. The measurement, instrumentation, and sensors handbook. Boca Raton : Heidelberg: CRC Press ; Springer, 1999. ISBN 3540648305.
- [24] SYNÁČKOVÁ, Marcela. Voda a ovzduší 40: ochrana vody a ovzduší. Paha: České vysoké učení technické, 2000. ISBN 8001022285.
- [25] GODISH, Thad a FU, Joshua S. Air quality. Fifth edition. Boca Raton ; London ; New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014. ISBN 9781466584440.
- [26] Ochrana ovzduší. Online. Ministerstvo životního prostředí. © 2008–2023. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/cz/ovzdusi>. [cit. 2024-02-16].
- [27] Zdroje znečištění ovzduší. Online. Ministerstvo životního prostředí. © 2008–2023. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/zdroje\\_znecistovani\\_ovzdusi](https://www.mzp.cz/cz/zdroje_znecistovani_ovzdusi). [cit. 2024-02-16].
- [28] Ovzduší. Online. Asociace pro rozvoj infrastruktury. © 2019-2024. Dostupné z: <https://www.zelena-mesta.cz/temata/ovzdusi/#popis>. [cit. 2024-02-16].
- [29] AUSTIN, Jill; BRIMBLECOMBE, Peter a STURGES, W. T. (ed.). Air pollution science for the 21st century. Developments in environmental science. Amsterdam: Elsevier, 2002. ISBN 008044119X.
- [30] Nebezpečné chemické látky. Online. Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. 2023. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/prostredky-individualni->

- ochrany-nebezpecne-chemicke-latky.aspx?q=Y2hudW09Mg%3D%3D. [cit. 2024-02-16].
- [31] 10 nejškodlivějších znečišťujících látek, které dýcháte každý den. Online. GETON s. r. o. 2020. Dostupné z: <http://www.geton.cz/clanky/cisticky-vzduchu-iqair-skodlive-vzdusne-castice/>. [cit. 2024-02-16].
- [32] TAJBROVÁ, Lenka. Znečišťující látky v ovzduší škodí zdraví i přírodě. Online. Český kutil. 2020. Dostupné z: <https://ceskykutil.cz/clanek-146246-zbavte-ovzdusi-znecistujicich-latek>. [cit. 2024-02-16].
- [33] NEUŽIL, Vladimír. Znečišťování ovzduší : znečištění ovzduší. Praha: Koneko, 1991.
- [34] BRZEZINA, Jáchym. Není ozon, jako ozon. Online. ČHMÚ Brno - Česká hydrometeorologický ústav Brno. © 2024. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2018/08/01/neni-ozon-jako-ozon/>. [cit. 2024-02-16].
- [35] Co je to PMx | polétavý prach | polétavé částice. Online. Funkční nátěry FN NANO, Nano nátěry, fotokatalytické nátěry. ©2024. Dostupné z: <https://nano4house.cz/pojem/pm/>. [cit. 2024-02-17].
- [36] Polétavý prach PM10, PM2,5, PM1,0. Čisté nebe o.p.s. [online]. [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.cistenebe.cz/stav-ovzdusi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu/16cs-poletavy-prach-pm10-pm25-pm10>
- [37] The smaller the particles the deeper they go in the lungs. In: Safera [online]. [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.safera.com/fine-particles-pm25-are-significant-health-risk/>
- [38] Block Diagram of a Microcomputer. Online. In: JavaTpoint. ©2011-2021. Dostupné z: <https://www.javatpoint.com/microprocessor-introduction>. [cit. 2024-02-17].
- [39] BISWAL, Sanskar. UART Operational Structure. In: Medium [online]. Nov 24 2020. [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://medium.com/vicara-hardware-university/setting-up-uart-in-nrf52xx-d127242cc5e>

- [40] Zákon č. 201/2012 Sb. - Zákon o ochraně ovzduší. Online. In: Zákony pro lidi. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201?text=201%2F2012>. [cit. 2024-02-16].
- [41] Matt. Impact of Volatile Organic Compounds on the Human body. In: Everkem Diversified Products [online]. 2021 [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://everkemproducts.com/volatile-organic-compounds-in-the-built-environment/>
- [42] World's most polluted countries & regions. Online. IQAir. ©2024. Dostupné z: <https://www.iqair.com/world-most-polluted-countries>. [cit. 2024-02-19].
- [43] Bus structure of a microcomputer. Online. In: EEGGUIDE. © 2014-2024. Dostupné z: <https://www.eeguide.com/bus-interface-in-microprocessor/>. [cit. 2024-03-04].
- [44] VOJÁČEK, Antonín. Struktura většiny ampérometrických senzorů kyslíku je založena na tzv. kyslíkové Clarkově elektrodě (Clarkově senzoru). Online. In: HW server s.r.o. 2017. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mereni-obsahu-kysliku-v-plynech-i-kapalinach.html>. [cit. 2024-03-07].
- [45] Skleněná elektroda. In: WikiSkripta [online]. [cit. 2024-03-07]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Sklen%C4%9Bn%C3%A1\\_elektroda](https://www.wikiskripta.eu/w/Sklen%C4%9Bn%C3%A1_elektroda)
- [46] WANG, Aili; ZHU, Yeyuan; ZOU, Liang; ZHU, Hong; CAO, Ruge et al. Combination of machine learning and intelligent sensors in real-time quality control of alcoholic beverages. Online. Food Science and Technology. 2022, roč. 42. ISSN 1678-457X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1590/fst.54622>. [cit. 2024-03-07].
- [47] BRZEZINA, Jáchym. Imisní limity pro ochranu zdraví a ekosystémů. Online. Infoviz.cz. ©2024. Dostupné z: <https://www.infoviz.cz/graphic.php?ID=151>. [cit. 2024-03-07].
- [48] BRZEZINA, Jáchym. Typy a klasifikace stanic imisního monitoringu. Online. Chmibrno.cz. ©2024. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2018/11/25/typy-stanic-imisniho-monitoringu/>. [cit. 2024-03-07].
- [49] BRZEZINA, Jáchym. Stanice imisního monitoringu. Online. Infoviz.cz. 2022. Dostupné z: <https://www.infoviz.cz/graphic.php?ID=125>. [cit. 2024-05-19]

- [50] ISKO: Aktuální hodinový přehled dat z automatizovaných stanic. Online. Chmi.cz. 2024. Dostupné z: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web\\_generator/actual\\_hour\\_data\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/actual_hour_data_CZ.html). [cit. 2024-05-19].
- [51] ISKO: Aktuální přehled dat z automatizovaných stanic. Online. Chmi.cz. 2024. Dostupné z: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web\\_generator/aqindex\\_slide4/mp\\_ZZLNA\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/aqindex_slide4/mp_ZZLNA_CZ.html). [cit. 2024-05-19].
- [52] PHP MySQL Connect to database. Online. W3Schools. ©1999-2024. Dostupné z: [https://www.w3schools.com/php/php\\_mysql\\_connect.asp](https://www.w3schools.com/php/php_mysql_connect.asp). [cit. 2024-05-21].
- [53] BARÁŠEK, Jan. Metody odesílání dat (GET a POST). Online. Český PHP manuál. 2019. Dostupné z: <https://php.baraja.cz/metody-odesilani-dat>. [cit. 2024-05-21].
- [54] PHP MySQL Prepared Statements. Online. W3Schools. ©1999-2024. Dostupné z: [https://www.w3schools.com/php/php\\_mysql\\_prepared\\_statements.asp](https://www.w3schools.com/php/php_mysql_prepared_statements.asp). [cit. 2024-05-21].

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

A	Accumulator
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
AIM	Automatický Imisní Monitoring
ALU	Arithmetic Logic Unit
AP	Access Point
AR	Address Register
CAN	Controller Area Network
CPU	Central Processing Unit
CR	Control register
DR	Data Register
DRAM	Dynamic Random Access Memory
EPROM	Erasable Programmable Read-Only Memory
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
GPIO	General-Purpose Input/Output
IIC	Inter-Integrated Circuit Bus
IoT	Internet of Things
IR	Instruction Register
ISE	Ion-Selective Electrode
ISKO	Informační Systém Kvality O vzduší
LSB	Least Significant Bit
MIM	Manuální Imisní Monitoring
MISO	Master In, Slave Out
MOS	Metal Oxide Semiconductors
MOSI	Master Out, Slave In
MROM	Mask Read-Only Memory

---

MSB	Most Significant Bit
n	Látkové množství
PC	Program Counter
pH	Potenciál vodíku
PM	Particulate Matter
PROM	Programmable Read-Only Memory
PSRAM	Pseudostatic Random Access Memory
PVC	Polyvinylchlorid
PWM	Pulse Width Modulation
Q	Elektrický náboj
RAM	Random Acces Memory
ROM	Read-Only Memory
RTOS	Real Time Operating Systém
SCK	Serial Clock
SDA	Synchronous Data
SMD	Surface Mount Device
SP	Stack Pointer
SPI	Serial Peripheral Interface
SR	Status Register
SRAM	Static Random Access Memory
SS	Slave Select
SSIM	Státní Síť Imisního Monitoringu
UART	Universal Asynchronous Receiver – Transmitter
VLSI	Very Large-Scale Integration
VOC	Volatile Organic Compound
WHO	World Health Organization

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Von Neumannova architektura [4].....	13
Obrázek 2 Harvardská architektura [4].....	13
Obrázek 3 Struktura mikropočítače [43] .....	14
Obrázek 4 Struktura mikroprocesoru [38].....	15
Obrázek 5 Sériová sběrnice SPI [10].....	19
Obrázek 6 Sériová sběrnice UART [39].....	20
Obrázek 7 Sériová sběrnice IIC [10] .....	21
Obrázek 8 Životní cyklus úloh v operačním systému FreeRTOS [22].....	24
Obrázek 9 Struktura chemického senzoru [14].....	26
Obrázek 10 Struktura Clarkovy elektrody [44] .....	27
Obrázek 11 Skleněná elektroda [45].....	29
Obrázek 12 Struktura polovodiče na bázi oxidů kovů (MOS) [46].....	30
Obrázek 13 Základní formy interakce mezi zářením a měřeným analytem - absorpce, lom, odraz a rozptyl [15].....	31
Obrázek 14 Vliv pevných částic na zdraví člověka [37] .....	35
Obrázek 15 Vliv těkavých organických látek na lidské tělo [41].....	36
Obrázek 16 Automatická stanice ve Zlíně na Jižních Svazích [51] .....	39
Obrázek 17 Blokové schéma měřicího systému kvality ovzduší .....	44
Obrázek 18 Základní zapojení mikropočítače ESP32-DevkitC .....	45
Obrázek 19 Napájecí část řídicí desky plošných spojů.....	46
Obrázek 20 Zpracování signálů na řídicí desce plošných spojů.....	46
Obrázek 21 Navrhnutá řídicí deska plošných spojů .....	47
Obrázek 22 Osazená řídicí deska plošných spojů.....	48
Obrázek 23 Zapojení jednotlivých senzorů na měřicí desce plošných spojů .....	49
Obrázek 24 Návrh měřicí desky plošných spojů .....	49
Obrázek 25 Osazená měřicí deska plošných spojů.....	50
Obrázek 26 Přední strana měřicího systému kvality ovzduší.....	51
Obrázek 27 Vnitřní zapojení měřicího systému kvality ovzduší.....	51
Obrázek 28 Boční strana měřicího systému kvality ovzduší.....	52
Obrázek 29 MySQL databáze.....	57
Obrázek 30 Průběh teploty a vlhkosti při měření v čistém prostředí.....	59
Obrázek 31 Průběh atmosférického tlaku při měření v čistém prostředí.....	59
Obrázek 32 Průběh koncentrace pevných částic při měření v čistém prostředí .....	60
Obrázek 33 Průběh koncentrace oxidu uhličitého při měření v čistém prostředí.....	60

Obrázek 34 Průběh teploty a vlhkosti při měření v zaprášeném prostředí .....	62
Obrázek 35 Průběh atmosférického tlaku při měření v zaprášeném prostředí .....	62
Obrázek 36 Průběh koncentrace pevných částic při měření v zaprášeném prostředí .....	63
Obrázek 37 Průběh koncentrace oxidu uhličitého při měření v zaprášeném prostředí.....	63
Obrázek 38 Průběh teploty a vlhkosti při měření výfukových plynů .....	65
Obrázek 39 Průběh atmosférického tlaku při měření výfukových plynů .....	65
Obrázek 40 Průběh koncentrace pevných částic při měření výfukových plynů.....	66
Obrázek 41 Průběh koncentrace oxidu uhličitého při měření výfukových plynů .....	66
Obrázek 42 Průběh koncentrace oxidu dusičitého při měření výfukových plynů .....	67
Obrázek 43 Průběh teploty a vlhkosti při měření hořícího papíru.....	69
Obrázek 44 Průběh atmosférického tlaku při měření hořícího papíru.....	69
Obrázek 45 Průběh koncentrace pevných částic při měření hořícího papíru.....	70
Obrázek 46 Průběh koncentrace oxidu uhličitého při měření hořícího papíru .....	70
Obrázek 47 Průběh koncentrace oxidu uhelnatého při měření hořícího papíru.....	71
Obrázek 48 Průběh teploty a vlhkosti při měření cigaretového kouře .....	73
Obrázek 49 Průběh atmosférického tlaku při měření cigaretového kouře.....	73
Obrázek 50 Průběh koncentrace pevných částic při měření cigaretového kouře .....	74
Obrázek 51 Průběh koncentrace oxidu uhličitého při měření cigaretového kouře.....	74
Obrázek 52 Průběh koncentrace oxidu uhelnatého a amoniaku při měření cigaretového kouře .....	75



**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Nejvíce znečištěné státy a oblasti na planetě Zemi [42].....	33
Tabulka 2 Imisní limity škodlivin v ovzduší dle zákona 201/2012 Sb. [40] .....	37
Tabulka 3 Informační systém kvality ovzduší – data pro Zlínský kraj [50].....	38
Tabulka 4 Seznam svorkovnic řídicí jednotky .....	47
Tabulka 5 Zpracovaná data – měření v čistém prostředí .....	58
Tabulka 6 Zpracovaná data – měření v zaprášeném prostředí.....	61
Tabulka 7 Zpracovaná data – měření výfukových plynů .....	64
Tabulka 8 Zpracovaná data – měření hořícího papíru .....	68
Tabulka 9 Zpracovaná data – měření cigaretového kouře .....	72

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Schéma řídicí desky plošných spojů

Příloha P II: Motiv řídicí desky plošných spojů

Příloha P III: Osazovací plán horní strany řídicí desky plošných spojů

Příloha P IV: Osazovací plán spodní strany řídicí desky plošných spojů

Příloha P V: Schéma měřicí desky plošných spojů

Příloha P VI: Motiv měřicí desky plošných spojů

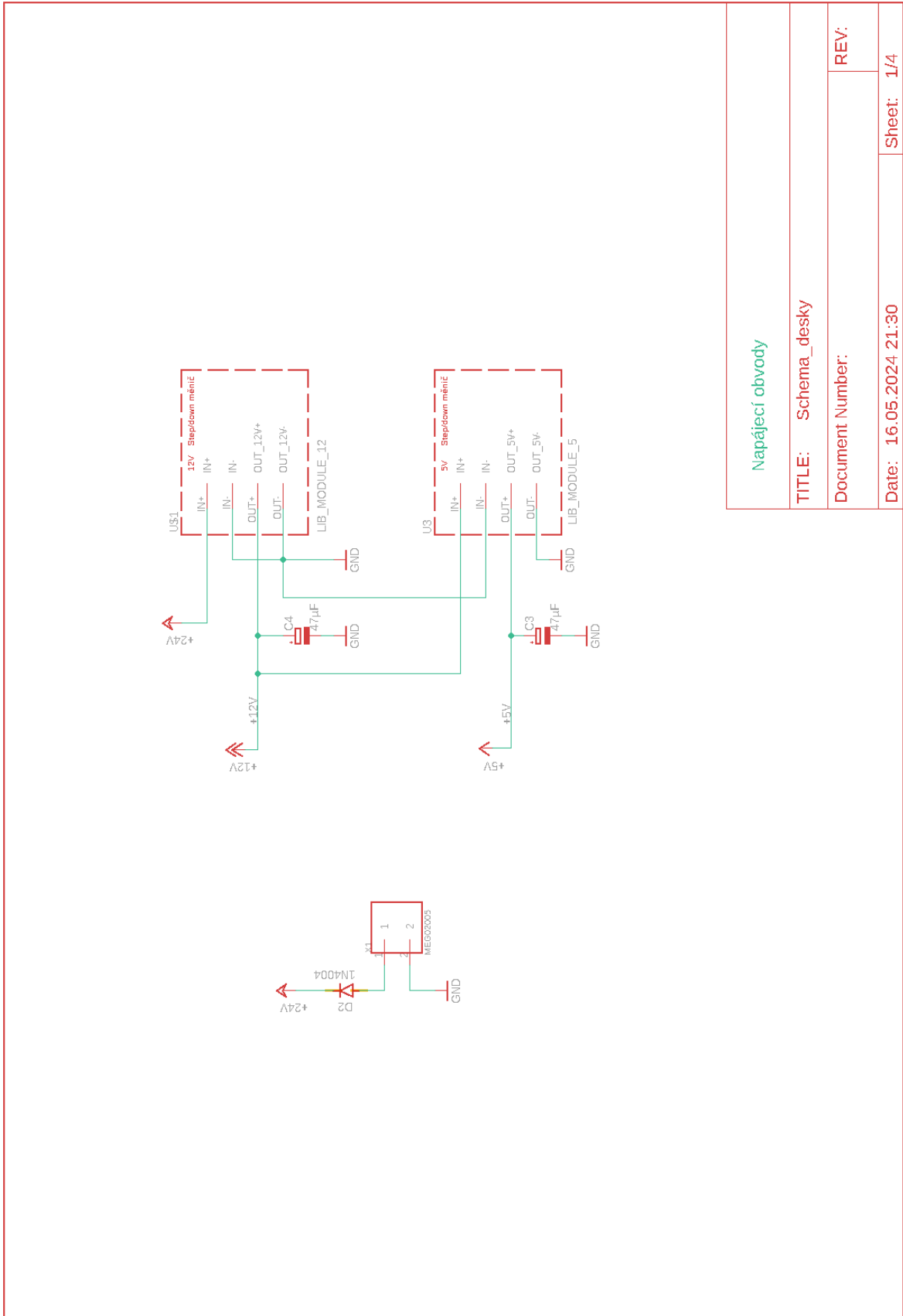
Příloha P VII: Osazovací plán horní strany měřicí desky plošných spojů

Příloha P VIII: Osazovací plán spodní strany měřicí desky plošných spojů

Příloha P IX: Schéma zapojení měřicího systému

Příloha P X: Seznam použitých elektronických součástek

## PŘÍLOHA P I: SCHÉMA ŘÍDICÍ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ



Napájecí obvody

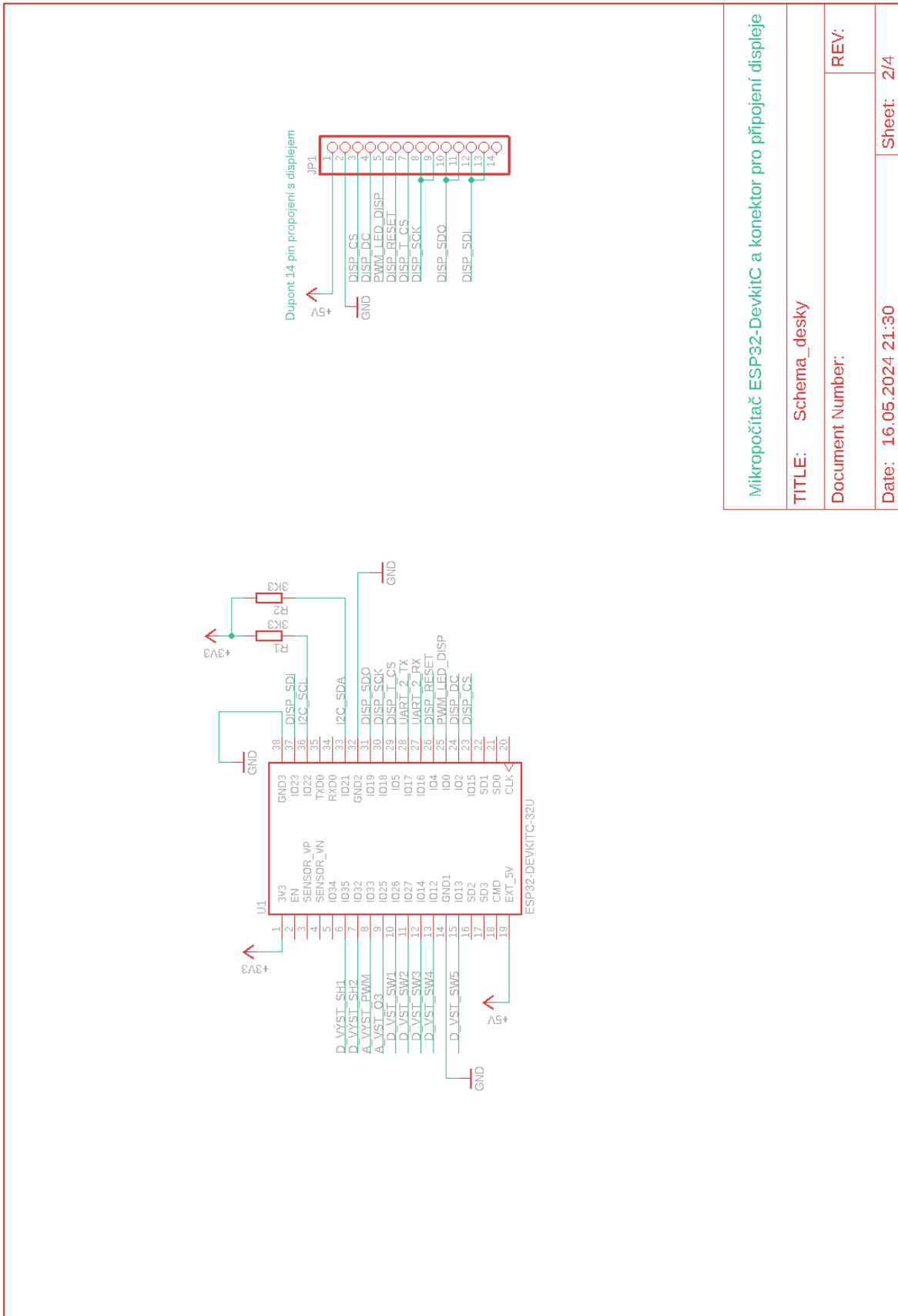
TITLE: Schema\_desky

Document Number:

REV:

Date: 16.05.2024 21:30

Sheet: 1/4

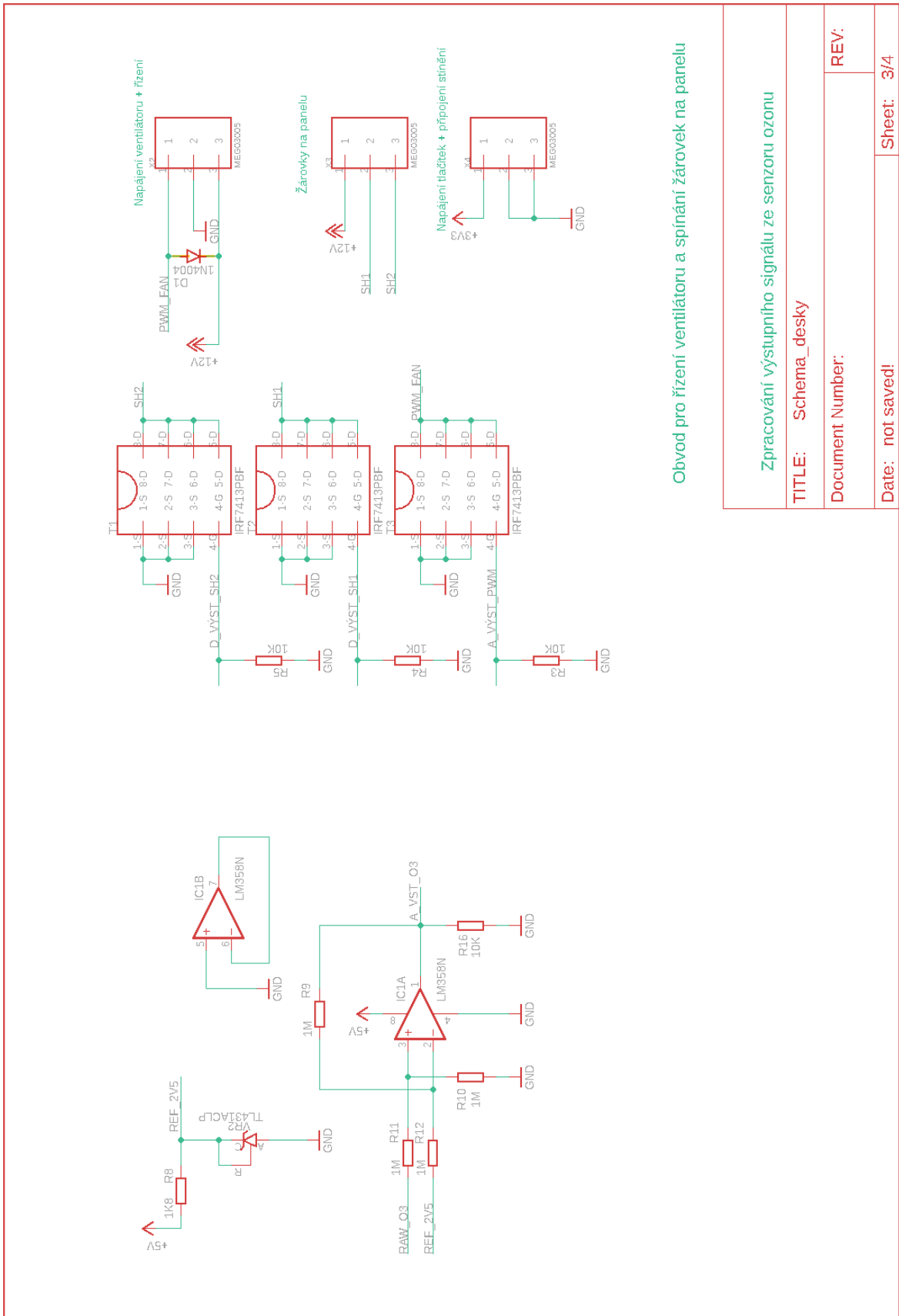


Mikropočítač ESP32-DevKitC a konektor pro připojení displeje

TITLE: Schema\_desky

Document Number: REV:

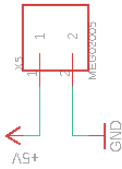
Date: 16.05.2024 21:30 Sheet: 2/4



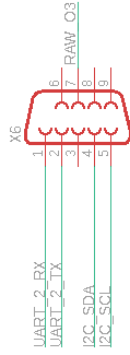
Obvod pro řízení ventilátoru a spínání žárovek na panelu

Zpracování výstupního signálu ze senzoru ozonu	
TITLE: Schema_desky	REV:
Document Number:	
Date: not saved!	Sheet: 3/4

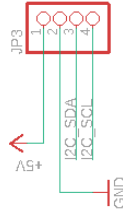
Napájení senzoru - odděleno od sběrnice a analogového signálu



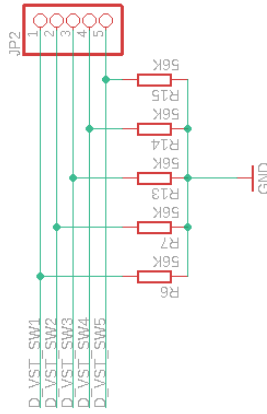
Konektor propojující senzory



Dupont 4pin propojení se senzorem BME280



Tlačítka na panelu - DUPONT konektor



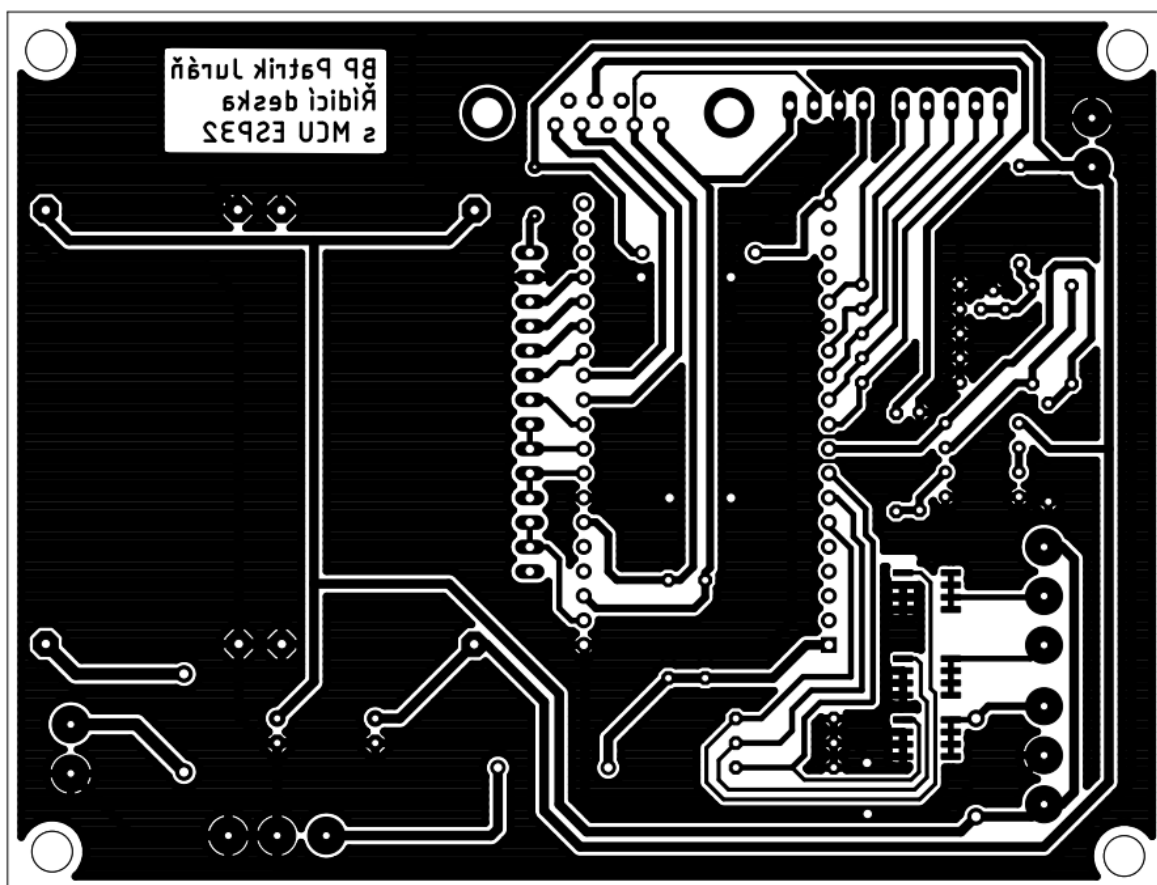
Vstupní a výstupní konektory  
Vstupy tlačítek, propojení se senzory

TITLE: Schema\_desky

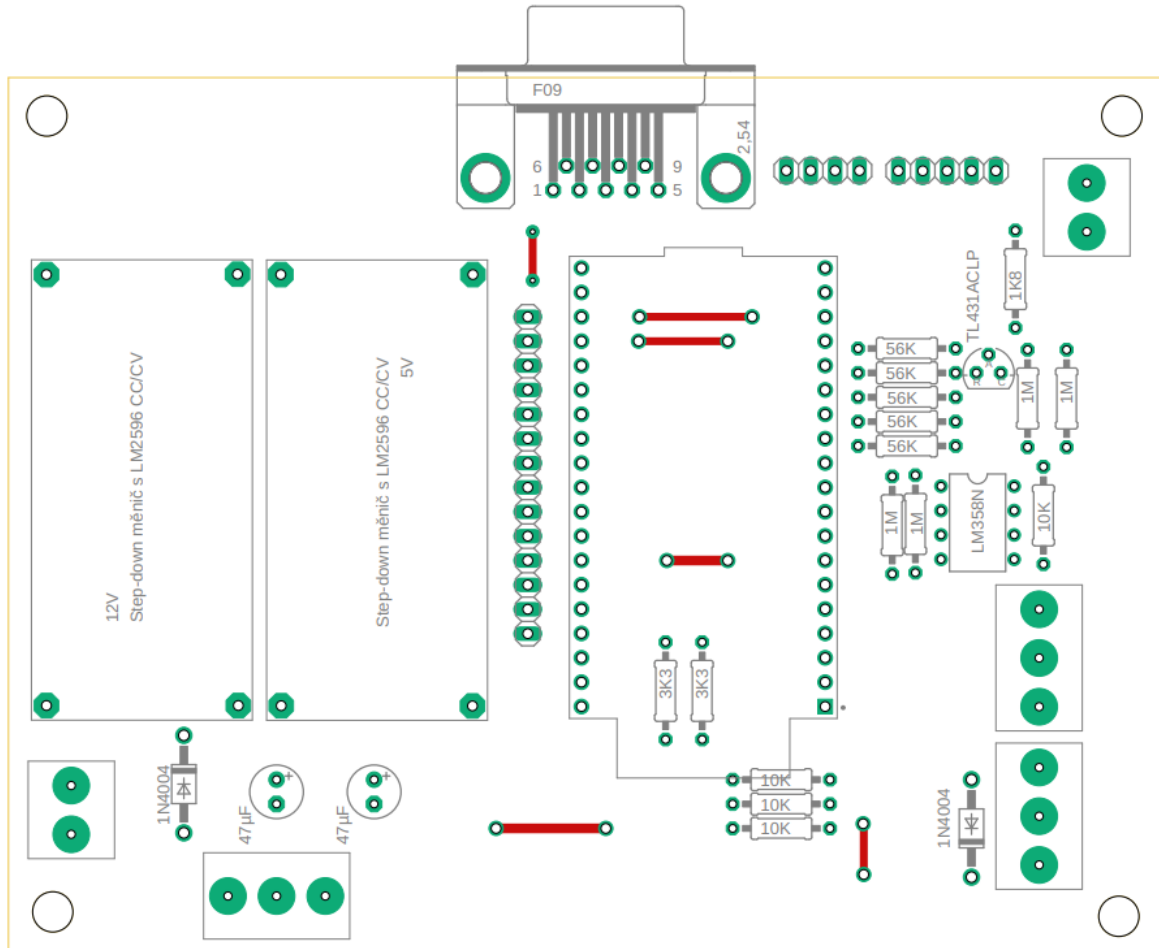
Document Number: REV:

Date: 16.05.2024 21:30 Sheet: 4/4

## PŘÍLOHA P II: MOTIV ŘÍDICÍ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

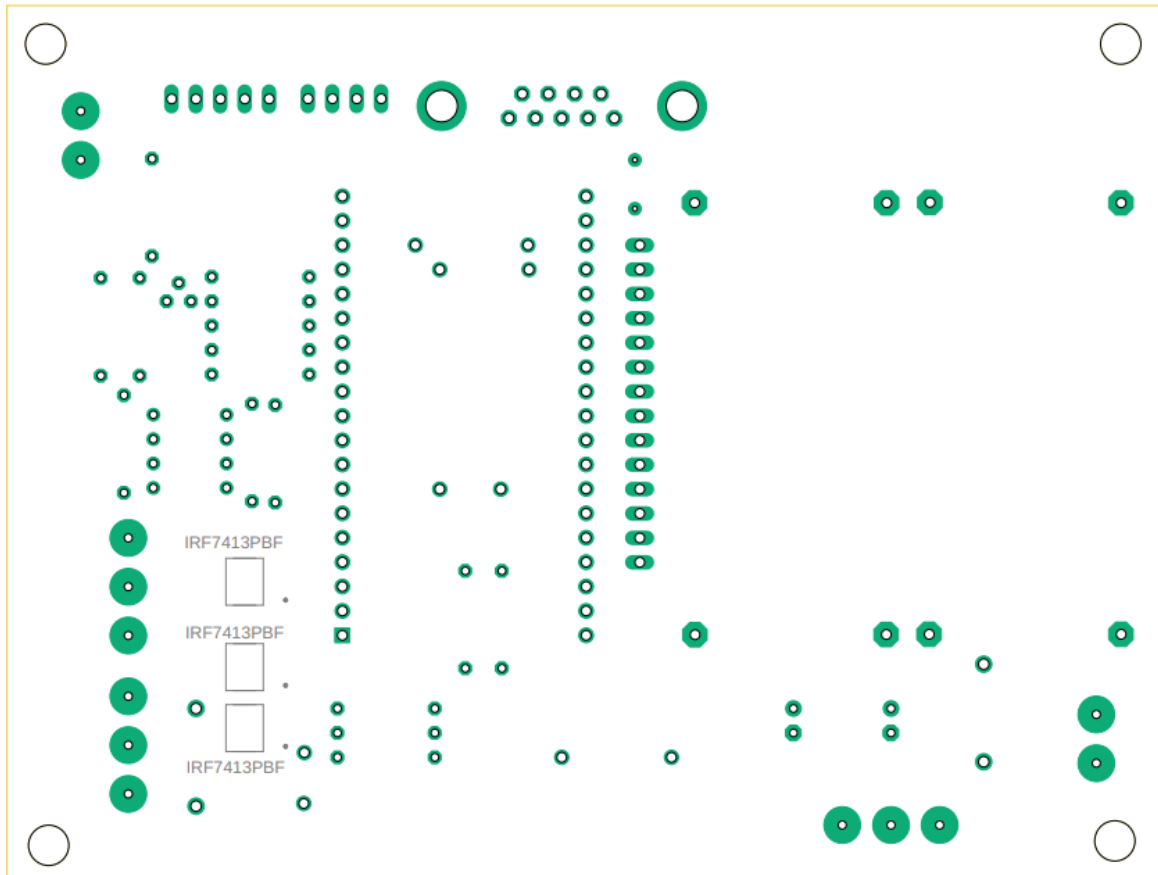


## PŘÍLOHA P III: OSAZOVACÍ PLÁN HORNÍ STRANY ŘÍDÍCÍ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ





## PŘÍLOHA P IV: OSAZOVACÍ PLÁN SPODNÍ STRANY ŘÍDÍCÍ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ



## PŘÍLOHA P V: SCHÉMA MĚŘICÍ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

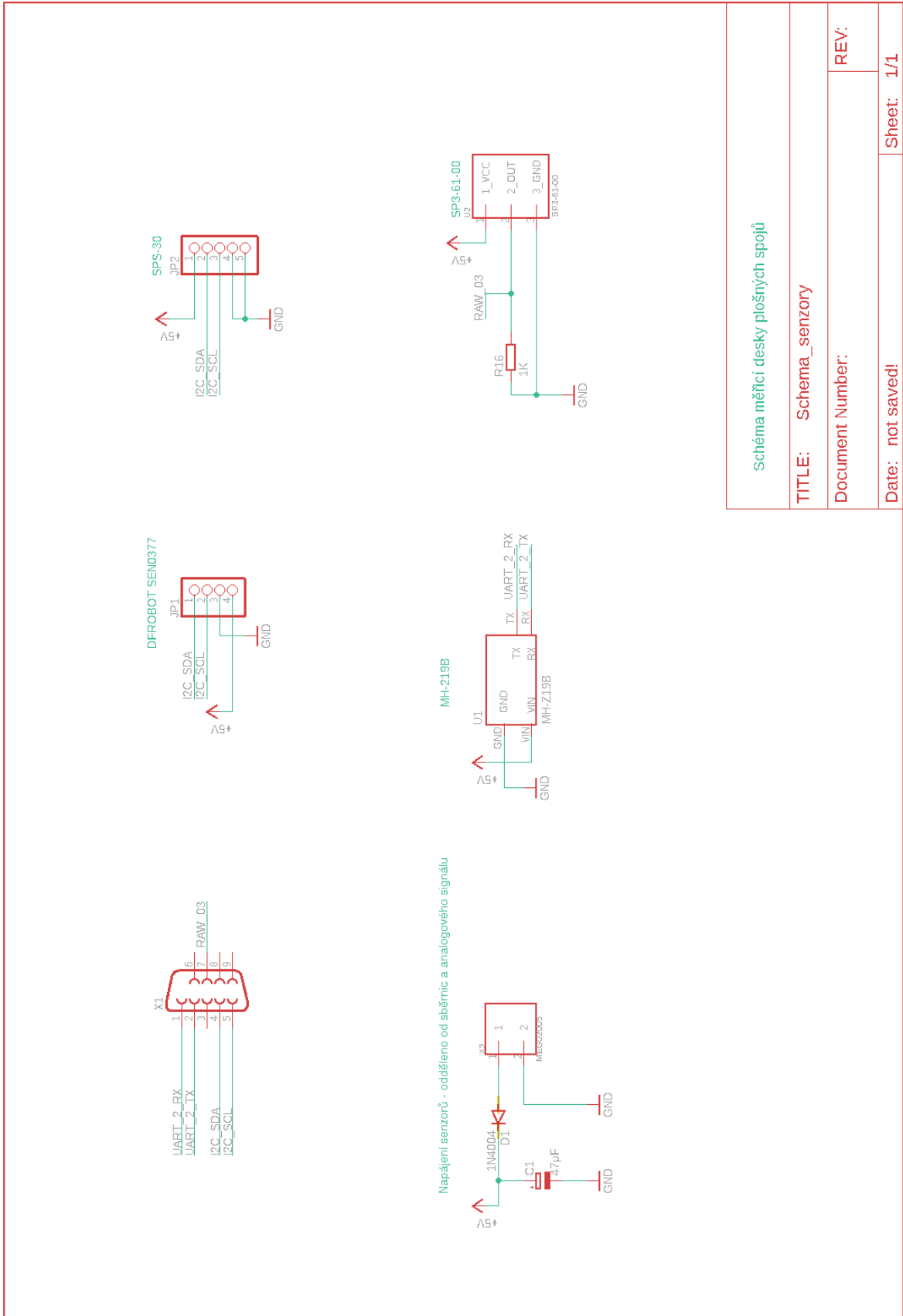
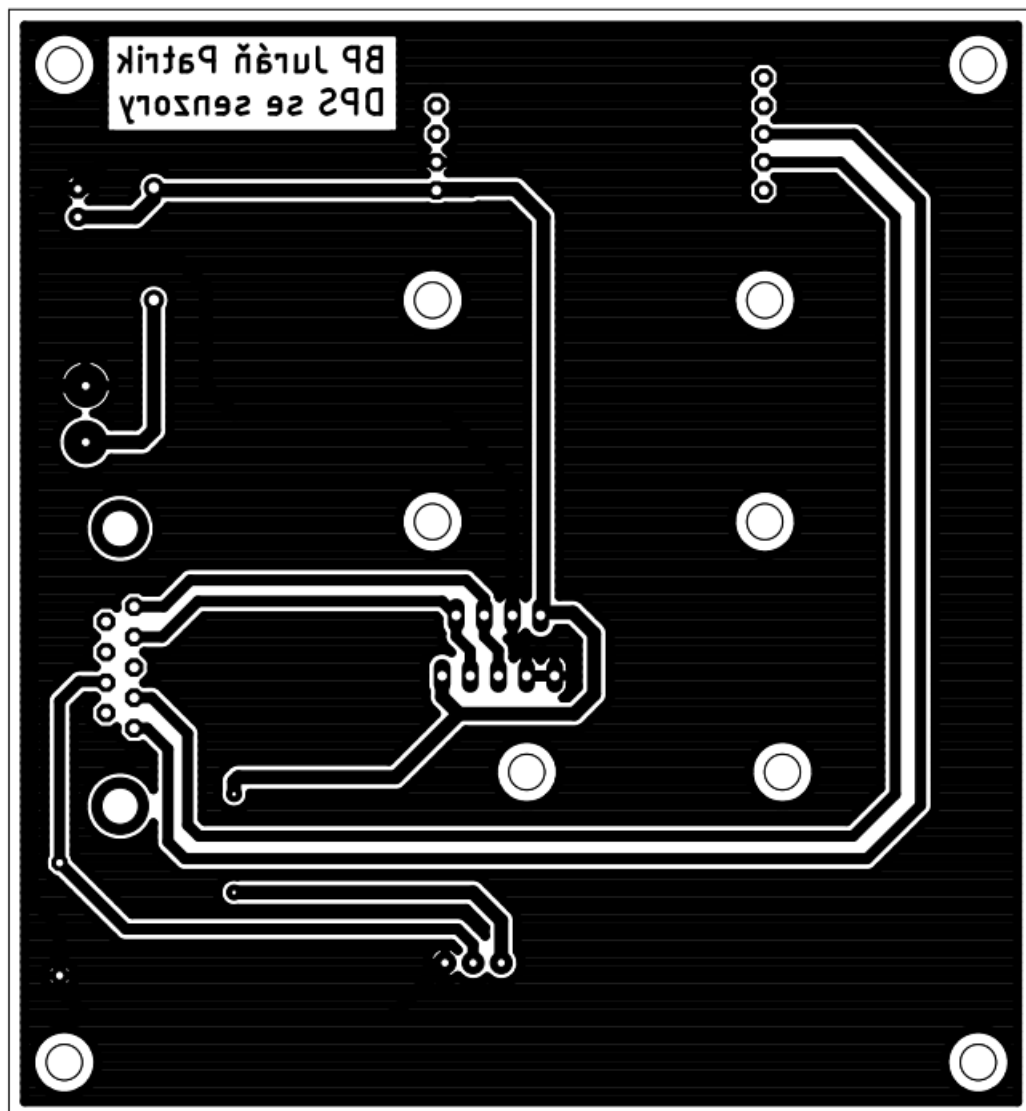
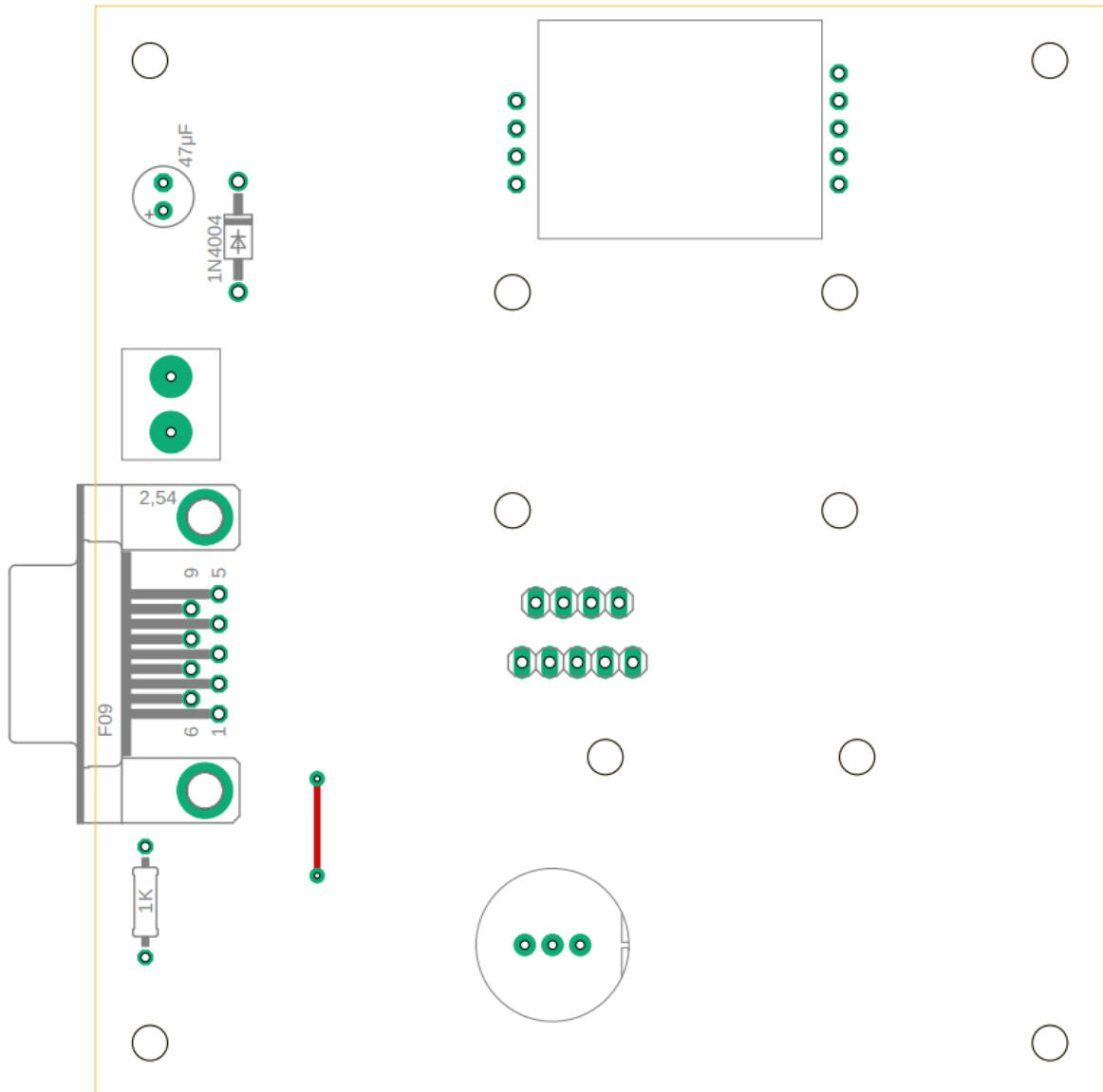


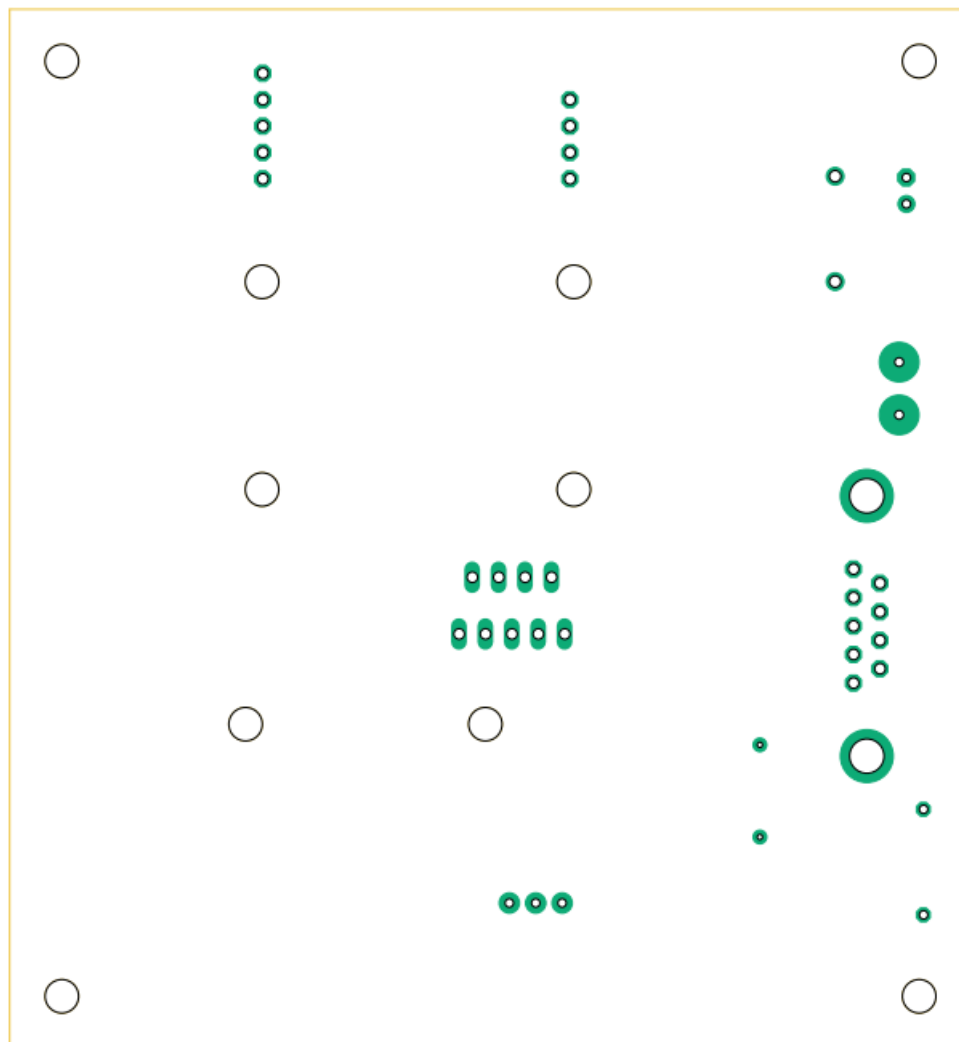
Schéma měřicí desky plošných spojů	
TITLE:	Schema_senzory
Document Number:	
REV:	
Date:	not saved!
Sheet:	1/1

## PŘÍLOHA P VI: MOTIV MĚŘICÍ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

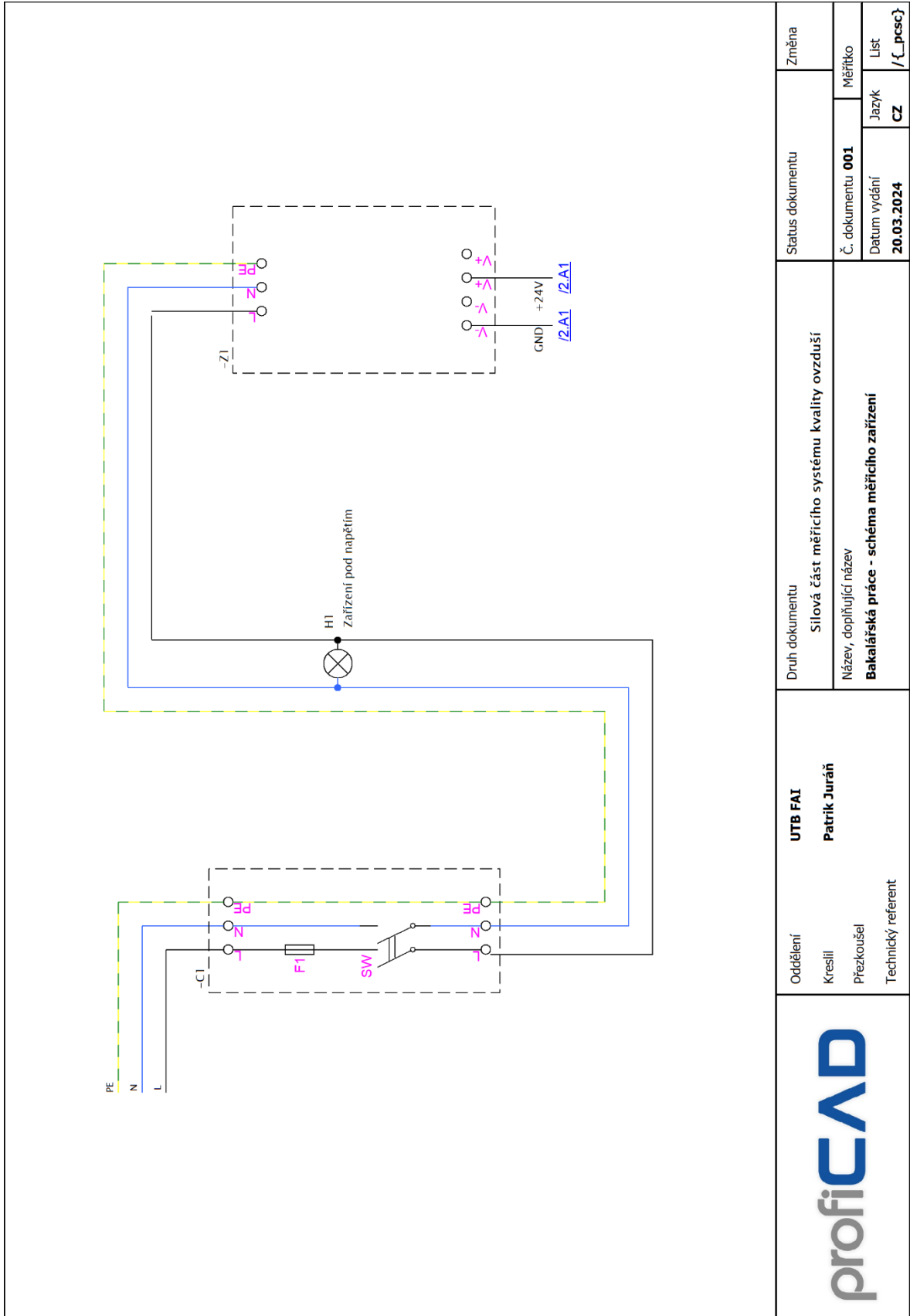


## PŘÍLOHA P VII: OSAZOVACÍ PLÁN HORNÍ STRANY MĚŘICÍ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ



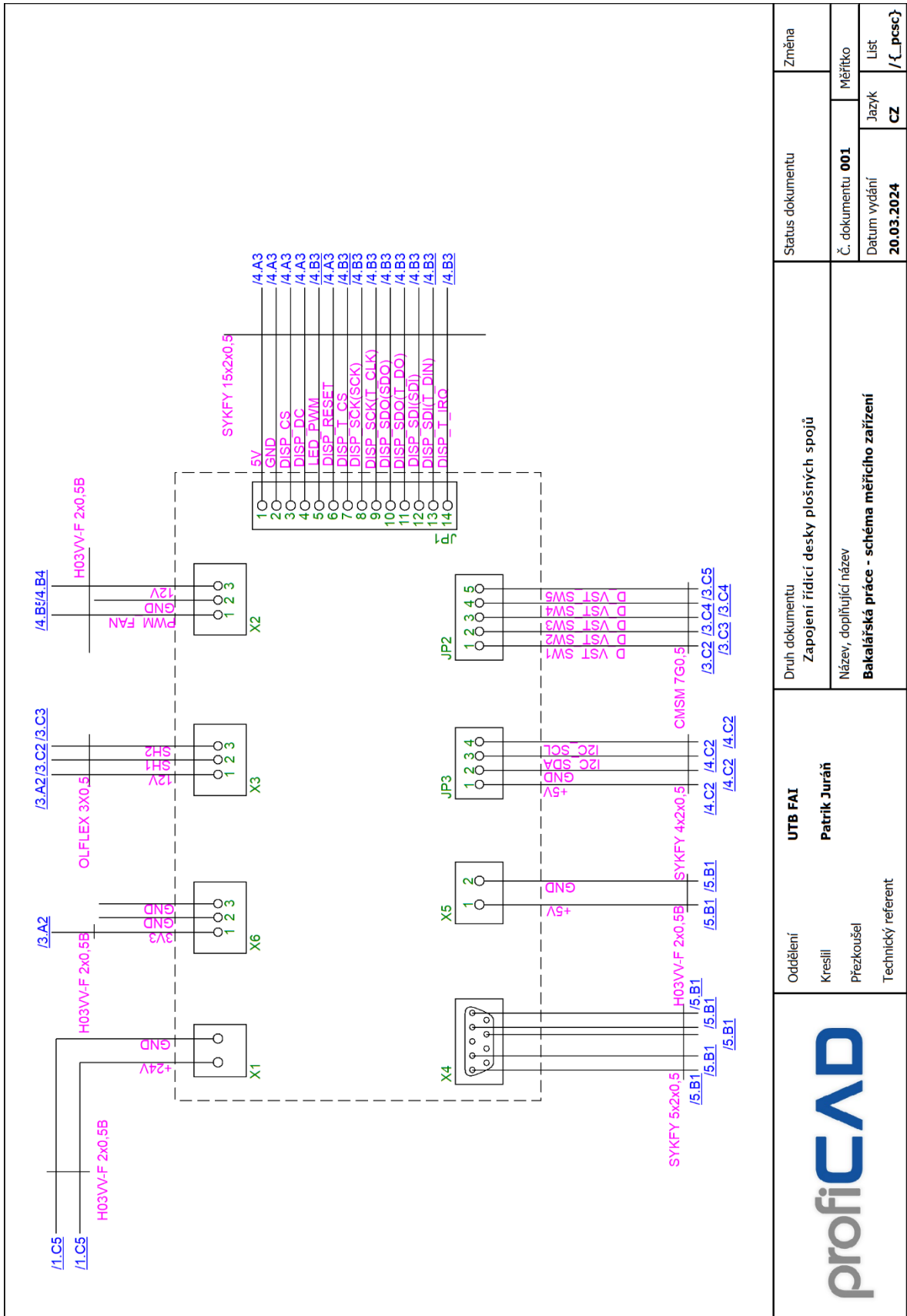
**PŘÍLOHA P VIII: OSAZOVACÍ PLÁN SPODNÍ STRANY MĚŘICÍ  
DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ**


PŘÍLOHA P IX: SCHÉMA ZAPOJENÍ MĚŘICÍHO SYSTÉMU

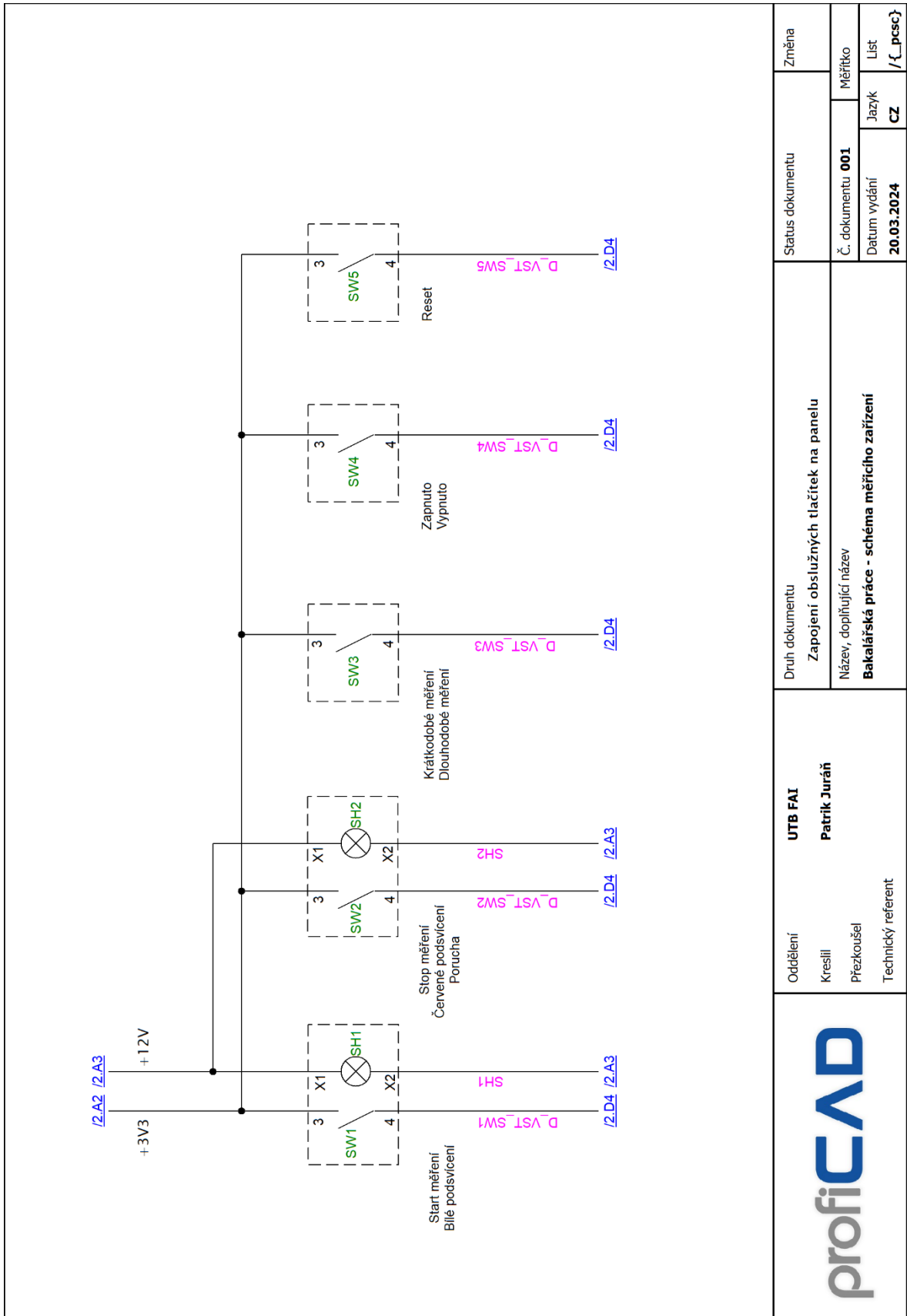



Oddělení Kreslil Přezkoušel Technický referent	Druh dokumentu Silová část měřicího systému kvality ovzduší Název, doplňující název <b>Bakalářská práce - schéma měřicího zařízení</b>	Status dokumentu		Změna
		Č. dokumentu <b>001</b>		Měřičko
UTB FAI Patrik Juráň	Datum vydání <b>20.03.2024</b>		Jazyk <b>CZ</b>	List /{ _pcsc }



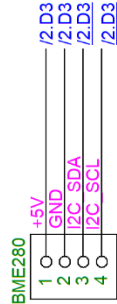
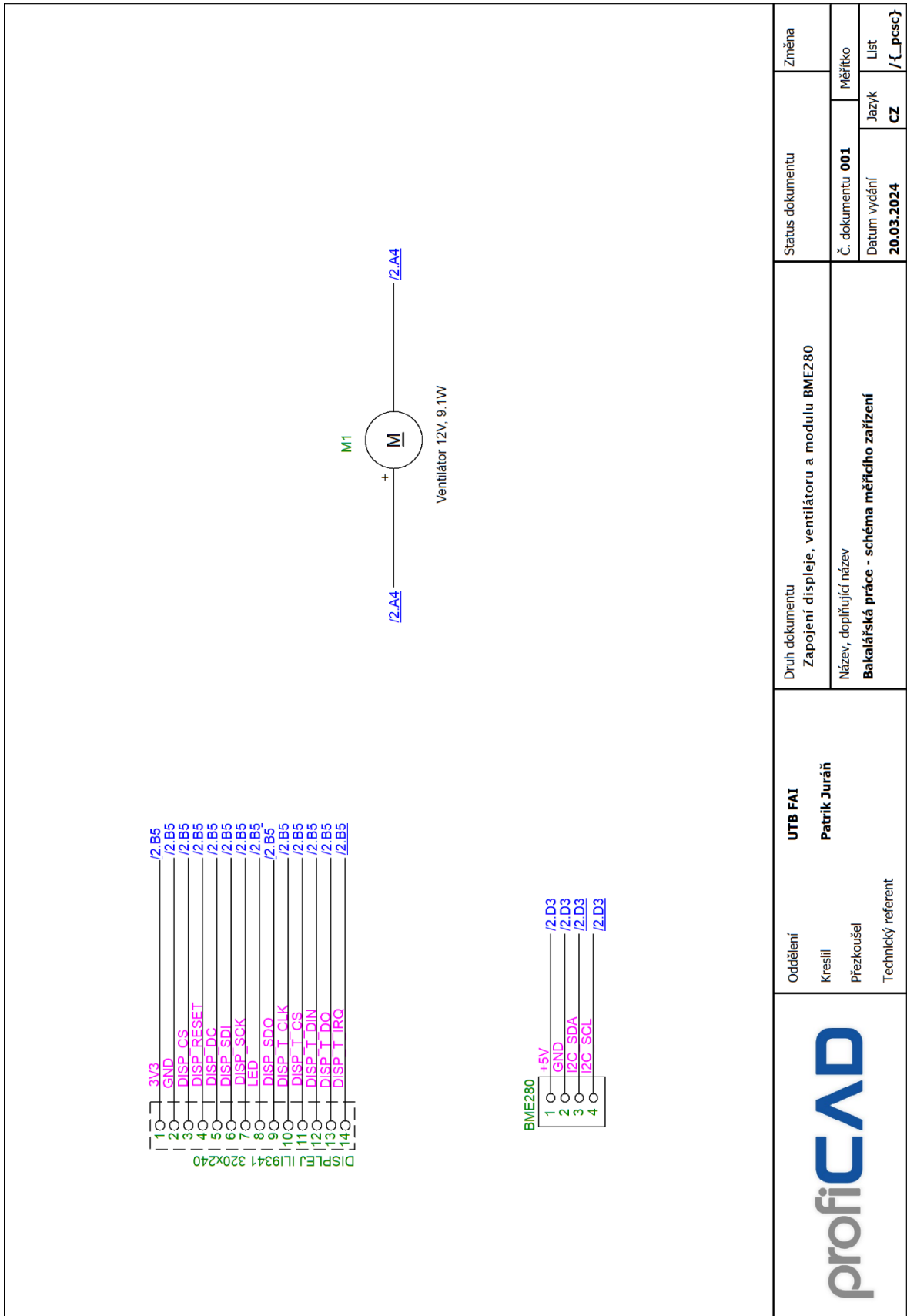



	Oddělení Kreslil Přezkoušel Technický referent	<b>UTB FAI</b> <b>Patrik Juráň</b>	Druh dokumentu Zapojení řídicí desky plošných spojů Název, doplňující název <b>Bakalářská práce - schéma měřičního zařízení</b>	Status dokumentu Č. dokumentu <b>001</b> Datum vydání <b>20.03.2024</b>	Změna Měřičko List /{ _pcsc }

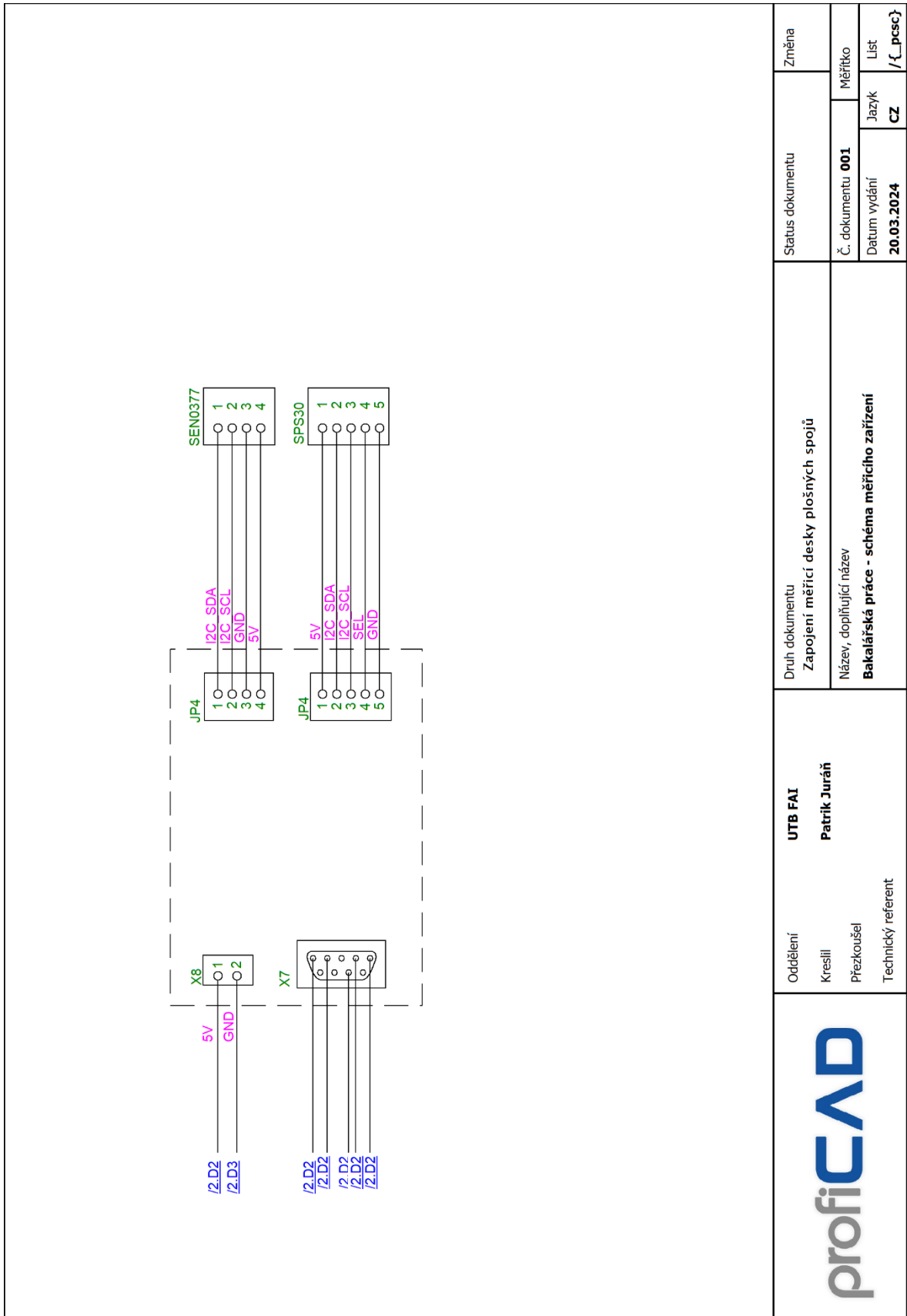



	Oddělení Kreslil Přezkoušel Technický referent	UTB FAI Patrik Juráň	Druh dokumentu Zapojení obslužných tlačítek na panelu Název, doplňující název <b>Bakalářská práce - schéma měřičho zařízení</b>	Status dokumentu Změna
			Č. dokumentu <b>001</b> Datum vydání <b>20.03.2024</b>	Měřičko Jazyk <b>CZ</b> List /{ _pcsc }





	Oddělení Kreslil Přezkoušel Technický referent	UTB FAI Patrik Juráň	Druh dokumentu Zapojení displeje, ventilátoru a modulu BME280 Název, doplňující název <b>Bakalářská práce - schéma měřičho zařízení</b>	Status dokumentu Změna
	Č. dokumentu <b>001</b> Datum vydání <b>20.03.2024</b>	Měřičko Jazyk <b>CZ</b> List /{ _pcsc }		



	Oddělení Kreslil Přezkoušel Technický referent	<b>UTB FAI</b> <b>Patrik Juráň</b>	Druh dokumentu Zapojení měřicí desky plošných spojů Název, doplňující název <b>Bakalářská práce - schéma měřícího zařízení</b>	Status dokumentu Změna
	Č. dokumentu <b>001</b> Datum vydání <b>20.03.2024</b>	Měřičko Jazyk <b>CZ</b> List /{ _pcsc }		

**PŘÍLOHA P X: SEZNAM POUŽITÝCH ELEKTRONICKÝCH  
SOUČÁSTEK**

Součástka	Počet
Usměřňovací dioda 1N4004	3
Svorkovnice MEG2005	3
Kondenzátor 47uF	3
DC/DC měnič	2
Rezistor 1K	1
Rezistor 3K3	2
Rezistor 1K8	1
Napěťová reference TL431ACL	1
Rezistor 1M	4
Rezistor 10K	4
Rezistor 56K	5
Operační zesilovač LM358	1
PinHead 4pin	2
Dutinková lišta 20-pin	2
Pinhead 14pin	1
Pinhead 5pin	2
IRF7413PDBF	3
F09HP	2
Svorkovnice MEG3005	3
Mikropočítač ESP32-DevkitC	1