



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY**

**A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## **SBĚR ENVIRONMENTÁLNÍCH DAT**

ENVIRONMENTAL DATA COLLECTION

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Martin Krásl**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.**

**BRNO 2023**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektronika a komunikační technologie**

Ústav radioelektroniky

**Student:** Bc. Martin Krásl

**ID:** 203266

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2022/23

**NÁZEV TÉMATU:**

## Sběr environmentálních dat

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem projektu je sestavit systém, který bude schopen monitorovat vybrané meteorologická, případně hydroopedologická data a odesílat je na servery pro IoT jako např. Thing Network, ThingSpeak, ubidots, aj. Snahou bude získaná data nejen archivovat, ale poskytnout je některé z předpovědních sítí jako OpenWeather, Weather Underground apod.

Prostudujte dostupné koncepce pro měření vybraných meteorologických veličin. Prostudujte možnosti řídicího prvku měřicího systému např. AVR, Raspberry Pi, STM32, ESP, aj. a zvolte ideální variantu. Prostudujte vhodné komunikační rozhraní pro přenos dat. Vyberte veškeré komponenty, navrhnete blokové schéma zařízení, sestavte obvodové zapojení, DPS a realizujte je. Při návrhu dbejte na nízkou spotřebu finálního zařízení a odolnost ve venkovním prostředí.

Zařízení zkompletujte, oživte, naprogramujte obslužné firmwary a zprovozněte sběr dat. Provedte detailní testování celého systému a porovnejte jej s jinými řešeními. Měřená data poskytněte některé ze sítí pro sběr a předpověď počasí.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] KOUSAL, Martin. IoT monitoring ovzduší. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2022, 68 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

**Termín zadání:** 6.2.2023

**Termín odevzdání:** 22.5.2023

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

**doc. Ing. Lucie Hudcová, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá návrhem meteorologické stanice pro sběr environmentálních dat, která měří neelektrické veličiny charakterizující parametry prostředí. Stanice je navržena pro odesílání získaných dat na server pro další zpracování. Návrh stanice je uzpůsoben nízké spotřebě z důvodu možnosti napájení z fotovoltaického panelu. Realizace stanice zahrnuje použití mikroprocesoru STM32, LTE modulu, Wifi a kamery a sady senzorů. Mezi vybrané sledované děje pomocí senzorů patří měření teploty, tlaku, rychlosti a směru větru, srážek, ambientní světelné záření, UV index, oxidy dusíku, oxidu uhelnatého a výskyt prachových částic. Tato práce se dále zabývá vzdálenou archivací naměřených dat na serveru a poskytováním naměřených dat formou uživatelského webového rozhraní.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

meteorologická stanice, environmentální data, ESP32, STM32, integrované senzory, radiční štít, LTE modul, kamera, nízká spotřeba

## **ABSTRACT**

The thesis focuses on the design of a meteorological station for collecting environmental data that measures non-electrical quantities characterizing environmental conditions. The station is designed to send the collected data to a server for further processing. The design of the station is adapted to low consumption thanks to the possibility of power supply from a photovoltaic panel. The implementation of the station involves the use of an STM32 microprocessor, LTE phone module, Wifi, camera and a set of sensors. Among the selected phenomena monitored by the sensors are measurements of temperature, pressure, wind speed and direction, precipitation, ambient light radiation, UV index, nitrogen oxides, carbon monoxide and dust particles. This thesis also focuses on remote archiving of measured data on the server and providing measured data in the web user interface.

## **KEYWORDS**

Překlad klíčových slov weather station, environmental data, ESP32, STM32, integrated sensors, radiation shield, LTE module, camera, low power consumption

KRÁSL, Martin. *Sběr environmentálních dat*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 22.5.2023, 104 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D

## Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení autora:** Bc. Martin Krásl  
**VUT ID autora:** 203266  
**Typ práce:** Diplomová práce  
**Akademický rok:** 2022/23  
**Téma závěrečné práce:** Sběr environmentálních dat

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora\*

---

\*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Tomáši Frýzovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

# Obsah

Úvod	14
<b>1 Struktury meteorologických stanic</b>	<b>15</b>
1.1 Měření teploty	15
1.1.1 Dilatační teploměry	15
1.1.2 Termoelektrické teploměry	16
1.1.3 Odporové teploměry	16
1.1.4 Diodové senzory	17
1.1.5 Integrované senzory	17
1.1.6 Analogové integrované obvody	17
1.1.7 Digitální integrované obvody	18
1.2 Štít proti slunečnímu záření	19
1.2.1 Pasivní radiační štít	20
1.2.2 Aktivní radiační štít	21
1.3 Měření tlaku	21
1.3.1 Hydrostatické měření tlaku	22
1.3.2 Deformační měření tlaku	23
1.3.3 Tlakoměry se silovým účinkem	23
1.3.4 Elektrické tlakoměry	24
1.3.5 Senzory s odporovými tenzometry	24
1.3.6 Senzory tlaku piezoelektrické	25
1.3.7 Senzory tlaku kapacitní	25
<b>2 Napájení stanice pomocí fotovoltaiky</b>	<b>26</b>
2.1 Návrh snižujícího měniče	26
2.2 Měření proudu a napětí	26
2.3 Gate driver	27
2.4 Ochrana proti přebití akumulátoru	28
2.5 Systém pro správu nabíjení akumulátorů	29
2.6 Komunikační sběrnice	29
<b>3 Realizace stanice</b>	<b>30</b>
3.1 Hlavní obslužná deska	30
3.1.1 Napájení	31
3.1.2 Mikroprocesor STM32	32
3.1.3 USB Rozhraní	32
3.1.4 LTE Modul	32

3.2	Čipové senzory . . . . .	34
3.2.1	Senzory plynů . . . . .	34
3.2.2	Senzor prachových částic . . . . .	35
3.2.3	Senzory ambientního osvětlení a UV indexu . . . . .	36
3.2.4	Senzor tlaku a teploty . . . . .	37
3.2.5	Senzor vlhkosti a teploty . . . . .	37
3.2.6	Kamera . . . . .	39
3.2.7	Externí paměť pro snímky z kamery . . . . .	40
3.3	Mechanické senzory . . . . .	40
3.3.1	Směr větru . . . . .	40
3.3.2	Rychlost větru . . . . .	42
3.3.3	Srážkoměr . . . . .	43
3.4	Konstrukce krabice . . . . .	43
<b>4</b>	<b>Firmware</b>	<b>47</b>
4.1	Ovladače STM32 . . . . .	47
4.2	Obsluha čipových sensorů . . . . .	48
4.3	Systém reálného času FreeRTOS . . . . .	48
4.4	Komunikační část . . . . .	49
4.5	Ethernet . . . . .	49
4.6	ESP32 . . . . .	50
4.6.1	Firmware . . . . .	50
4.6.2	Komunikační protokol po SPI . . . . .	51
4.7	GSM/LTE . . . . .	52
4.8	Storage . . . . .	52
<b>5</b>	<b>Software</b>	<b>54</b>
5.1	Webový server . . . . .	54
5.2	SQLite databáze . . . . .	54
5.3	Formát příjmu HTTP POST zpráv z meteostanice . . . . .	56
5.3.1	Příjem naměřených dat . . . . .	56
5.3.2	Příjem binárních dat (JPEG obrázků z kamery) . . . . .	57
5.4	Odesílání dat třetím stranám . . . . .	57
5.5	Webové rozhraní . . . . .	58
	<b>Závěr</b>	<b>60</b>
	<b>Literatura</b>	<b>62</b>
	<b>Seznam symbolů a zkratk</b>	<b>66</b>

<b>Seznam příloh</b>	<b>67</b>
<b>A Schéma - MPPT</b>	<b>69</b>
<b>B Schéma - MPPT Balanční obvody</b>	<b>70</b>
<b>C Schéma - Hlavní mikrokontrolér</b>	<b>71</b>
<b>D Schéma - Zdroje napětí</b>	<b>72</b>
<b>E Schéma - Kamera a paměť</b>	<b>73</b>
<b>F Schéma - LTE modul</b>	<b>74</b>
<b>G Schéma - ESP32 Wifi modul</b>	<b>75</b>
<b>H Schéma - Ethernet</b>	<b>76</b>
<b>I Schéma - Konektory pro senzory</b>	<b>77</b>
<b>J Schéma - Senzory plynů</b>	<b>78</b>
<b>K Schéma - Senzory světla</b>	<b>79</b>
<b>L Schéma - Senzory tlaku, vlhkosti a teploty</b>	<b>80</b>
<b>M Hlavní deska</b>	<b>81</b>
M.1 Horní strana spojů . . . . .	82
M.2 Spodní strana spojů . . . . .	83
<b>N Senzory plynů</b>	<b>84</b>
N.1 Horní strana spojů . . . . .	85
N.2 Spodní strana spojů . . . . .	86
<b>O Senzory tlaku, vlhkosti a teploty</b>	<b>87</b>
O.1 Horní strana spojů . . . . .	88
O.2 Spodní strana spojů . . . . .	89
<b>P Senzory světla</b>	<b>90</b>
P.1 Horní strana spojů . . . . .	91
P.2 Spodní strana spojů . . . . .	92
<b>Q Výsledky dlouhodobého testu</b>	<b>93</b>
<b>R Ukázka snímků z kamery</b>	<b>101</b>



# Seznam obrázků

1	Blokové schéma . . . . .	14
1.1	Základní zapojení IO LM35 [6, 7] . . . . .	18
1.2	Základní zapojení integrovaného obvodu DS1621 [6, 7] . . . . .	19
1.3	Komerčně dostupný pasivní radiační štít k meteostanici WH1080 . . . . .	20
1.4	Schéma aktivního radiačního štítu [10, 12] . . . . .	22
2.1	Gate driver . . . . .	28
3.1	Blokové schéma hlavní desky . . . . .	30
3.2	Fotografie hlavní desky . . . . .	31
3.3	Fotografie desky senzorů plynů . . . . .	35
3.4	Fotografie senzoru prachových částic . . . . .	35
3.5	Fotografie světelných senzorů . . . . .	36
3.6	Fotografie světelných senzorů (spodní část) . . . . .	37
3.7	Fotografie desky senzorů tlaku, vlhkosti a teploty . . . . .	38
3.8	Fotografie desky senzorů tlaku, vlhkosti a teploty (spodní část) . . . . .	38
3.9	Kamera OV2640 . . . . .	39
3.10	Fotografie senzoru směru větru . . . . .	41
3.11	Fotografie anemometru . . . . .	42
3.12	Fotografie srážkoměru . . . . .	43
3.13	Vnitřní část srážkoměru . . . . .	43
3.14	Model spodní části krabice . . . . .	44
3.15	3D render spodní části krabice . . . . .	45
3.16	Fotografie sestavené stanice . . . . .	46
4.1	Zjednodušené blokové schéma firmwaru . . . . .	47
5.1	Uživatelská webová stránka . . . . .	59

# Seznam tabulek

3.1	Přepočítané napětí na směr větru . . . . .	41
4.1	Seznam ovladačů . . . . .	48

# Seznam výpisů

4.1	Struktura definující registrové rozhraní . . . . .	52
5.1	Nastavení webového serveru Flask . . . . .	54
5.2	Nastavení databáze SQLite . . . . .	55
5.3	Ukázka HTTP POST požadavku (data ze senzorů) . . . . .	56
5.4	Ukázka HTTP POST požadavku (data z kamery) . . . . .	57
5.5	Packovaná struktura . . . . .	57
5.6	Nastavení odesílání třetím stranám . . . . .	58
5.7	Klientský HTTP-POST požadavek . . . . .	58
5.8	Klientský HTTP-POST požadavek . . . . .	58

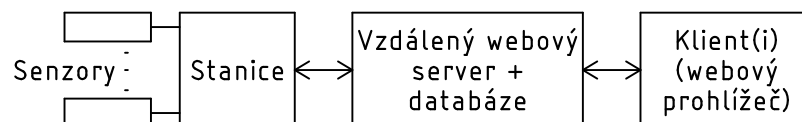
# Úvod

Diplomová práce se zabývá návrhem meteorologické stanice pro sběr environmentálních dat. Stanice se skládá z hlavní obslužné desky a externích senzorů, které se nacházejí na samostatných deskách plošných spojů vlastní konstrukce. Externí senzory měří neelektrické veličiny jako je teplota, vlhkost, tlak, rychlost a směr větru, množství napadaných srážek, ambientní světelné záření, UV index, oxidy dusíku, oxid uhelnatý a výskyt prachových částic. Základem hlavní obslužné desky je mikrokontrolér STM32, který zabezpečuje nejen komunikaci se senzory, ale taktéž dočasné shromažďování naměřených dat, které jsou následně odesílány na vzdálený server po internetové síti pro další zpracování. Mezi další ze senzorů lze zařadit kameru OV2640, která je určena pro sledování oblohy. Většina komponent byla vybavena možností šetření spotřeby elektrické energie a to odpojením od napájení. Díky tomu je možné využití alternativního zdroje napájení ve formě fotovoltaického panelu, pro který byl navržen spínaný zdroj.

Připojení k internetu může být zajištěno celkem třemi způsoby: Ethernetové připojení, WiFi nebo LTE. Připojení k internetu pomocí WiFi zajišťuje modul obsahující mikrokontrolér ESP32. Pro tento mikrokontrolér byl vytvořen firmware, který umožňuje rychlou komunikaci po sériovém rozhraní SPI ve formě registrované komunikace. Většina komplexních procesů zajišťující připojení a komunikaci se serverem je v tomto případě z větší části součástí tohoto firmwaru, díky tomu byla zjednodušena práce s tímto WiFi modulem na straně hlavního mikrokontroléru STM32.

Přijatá data vzdáleným serverem jsou následně archivována pomocí SQLite databáze. Server rovněž poskytuje webové rozhraní, které umožňuje si prohlédnout vývoj naměřených hodnot ze senzorů v čase. Data přijatá na server jsou taktéž dále přeposílána třetí straně pro předpověď počasí Weather Underground.

Výsledné zařízení bylo umístěno do krabice, která byla vytištěna pomocí 3D tisku. Zařízení bylo podrobena dlouhodobému testování po dobu 18 dní v laboratorních podmínkách. Výsledky měření lze nalézt v přílohách.



Obr. 1: Blokové schéma systému pro sběr environmentálních dat

# 1 Struktury meteorologických stanic

Mezi základní struktury meteorologických stanic pro sběr environmentálních dat patří senzory neelektrických veličin. Senzory mohou detekovat nejen základní meteorologické parametry, jako je teplota a tlak, ale také stav kvality ovzduší na základě přítomnosti škodlivých plynů nebo částic. Dalším důležitým aspektem do celkového stavu prostředí je intenzita slunečního záření, která se mění s denním cyklem.

## 1.1 Měření teploty

Nedílnou součástí meteorologického zařízení je v rámci sběru dat měření teploty. Měření teploty lze provádět několika způsoby. Existují různé druhy senzorů teploty na různé aplikace v průmyslu a v jiných odvětvích. Tyto senzory lze rozdělit na [1]:

- dilatační
- termoelektrické
- odporové
- diodové senzory teploty
- integrované senzory teploty

### 1.1.1 Dilatační teploměry

Jedná se o teplotní senzory nebo také teploměry na bázi měření délkové roztažnosti látek plyných, kapalných i tuhých s rostoucí teplotou. Do této kategorie bývají často řazeny i teploměry tlakové, které jsou založeny na rozpínavosti látek s rostoucí teplotou, nebo také teploměry postavené na zvyšujícím se tlaku nasycených par nad kapalinou s rostoucí teplotou. Dilatační teploměry mohou být těchto druhů: [2, 3, 4]

- plynový
- tenzní
- kovový
- kapalinový

Plynové dilatační teploměry mají svůj systém napuštěn chemicky inertním plynem, kdy nejčastěji používaná látka je helium nebo dusík. Závislost tlaku na teplotě je podobná jako například u kapalinových dilatačních lineárních teploměrů [2, 3, 4].

Tenzní dilatační teploměry jsou postaveny na principu tenze par na teplotě. To znamená, že využívají závislost mezi teplotou a tlakem v rovnovážném stavu v soustavě, která je tvořena jednou složkou o dvou fázích [2, 3, 4].

Kovové dilatační teploměry fungují na bázi toho, že využívají teplotní délkové roztažnosti pevných látek. Tyto teploměry však nejsou příliš přesné, typicky jsou

používány při hrubé regulaci. Tyto teploměry se často dělí na jednovodové a dvouvodové [2, 3, 4].

Kapalinové dilatační teploměry fungují na principu teplotní objemové roztažnosti různých kapalin, u kterých při zvyšující se teplotě kapaliny narůstá objem, což se následně projevuje navyšující výškou sloupce dané kapaliny v kapiláře (tenká trubička), která má v celé své délce neměnný průřez. Nejčastěji je v kapalinovém dilatačním teploměru používána rtuť nebo může být také použit obarvený líh. Nevýhodou těchto teploměrů je v případě poškození nádoby toxicita rtuti [2, 3, 4].

### 1.1.2 Termoelektrické teploměry

Tyto teploměry fungují na principu měření teploty pomocí termoelektrických článků. Termoelektrický článek jako takový je tvořen spojením dvou kovových vodičů, přičemž každý z těchto kovových vodičů je tvořen jiným materiálem. Tyto kovové vodiče jsou společně na obou koncích vodivě spojeny.

V případě, že je teplota v rámci spoje u prvního vodiče jiná než u druhého vodiče, vzniká na rozhraní těchto vodičů termoelektrické napětí a obvodem prochází tzv. termoelektrický proud. Při měření teploty metodou termoelektrického napětí se při měření za účelem dosažení větší přesnosti využívá dvou stejných spojů. Spoj studený (srovnávací) je pak umístěn v místě se známou teplotou a spoj měřící je umístěn v místě, kde dochází k měření požadované teploty. Typické materiály použité u termočlánku jsou například železo a konstantan nebo měď a nikl nebo niklchrom a niklhlinit. Parametry, na kterých v rámci jednotlivých typů termočlánků také záleží, jsou například odolnost v oxidačním prostředí nebo odolnost v redukčním prostředí. Tyto parametry totiž následně určují možnost jejich použití v různých prostředích a podmínkách [2, 3].

### 1.1.3 Odporové teploměry

Tyto teploměry lze rozdělit na dvě skupiny, a to na kovové odporové a polovodičové odporové. V případě odporových teploměrů se jedná především o čisté kovy. Požadavkem na ně je, aby byl jejich teplotní součinitel stálý a ideálně co největší. Typicky používanými materiály pro kovové odporové teploměry jsou pak měď, platina nebo nikl. Platina je z těchto materiálů tím nejvyužívanějším, protože se standardně vyrábí v čistém stavu a je chemicky i fyzikálně stabilní. Polovodičové senzory podobně jako kovové jsou postaveny na principu závislosti odporu na teplotě.

Typickými zástupci polovodičových odporových teploměrů jsou PTC a NTC termistory a také monokrystalické senzory teploty. V případě NTC termistoru je závislost odporu na teplotě nelineární a elektrický odpor s teplotou klesá. Tyto termistory jsou vyráběny tak, že dochází ke sloučení oxidů NiO, CuO nebo BaO.

V případě PTC termistorů se jedná o polovodičové součástky, které mají kladný teplotní součinitel odporu. Jejich typické materiálové složení je polykrystalická feroelektrická keramika (např. BaTiO<sub>3</sub>). Polovodičové senzory se vyrábějí z typických materiálů používaných pro výrobu polovodičových součástek, a to křemík, indium nebo germanium. Nejvhodnější použití monokrystalického křemíku k měření teploty je pro teploty v rozsahu od  $-50\text{ °C}$  do  $+160\text{ °C}$  [2, 3, 5].

#### **1.1.4 Diodové senzory**

U těchto teplotních senzorů dochází zejména k využití reakce a následné změny vlastností PN přechodu v závislosti na teplotě. Typicky se v aplikacích objevují křemíkové či germaniové diody, případně tranzistory. Pro nízké teploty ( $-190\text{ °C}$ ) se obvykle používají germaniové senzory, pro rozsah od  $150\text{ °C}$  do  $-50\text{ °C}$  je výhodné použít křemíkové senzory. Tento typ senzorů je velice výhodný z pohledu velice dobrých dynamických vlastností. Časové konstanty se totiž typicky pohybují v řádech desetin sekundy a navíc jsou diodové senzory velice dobře časově stálé [2].

#### **1.1.5 Integrované senzory**

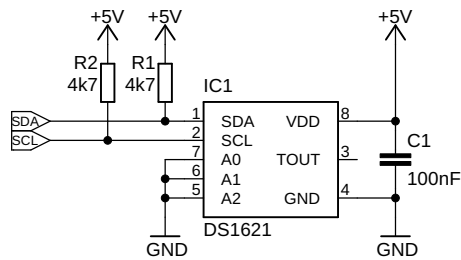
V rámci těchto senzorů teploty je monolitický obvod sestaven z elektronického převodníku a vlastního senzoru tvořeného PN přechodem. Senzory se vyrábějí v celkem dvou konfiguracích, a to s napěťovým nebo proudovým výstupem. Výstup se chová jako lineární funkce teploty, kdy velkou výhodou tohoto řešení je lineární výstup v závislosti na teplotě. Obvyklý rozsah pracovních teplot u integrovaných senzorů bývá od  $-55\text{ °C}$  do  $+150\text{ °C}$  [2, 6].

#### **1.1.6 Analogové integrované obvody**

Jedním ze zástupců analogových integrovaných senzorů teploty je levný a jednoduchý integrovaný obvod LM35, který funguje jako lineární převodník teploty na napětí. Tento integrovaný obvod typicky pracuje v rozsahu teplot od  $-55\text{ °C}$  do  $+150\text{ °C}$ . Na obrázku 1.1 je možné vidět jeho základní zapojení [6, 7].

Senzor je již ve výrobě kalibrován na výstupní hodnoty ve stupních Celsia. Senzor je navíc vhodný pro vzdálené aplikace. Jeho nízká cena je dána hlavně tím, že k dostavování dochází již na úrovni waferu. Typické pracovní napětí je v rozsahu od  $4\text{ V}$  do  $30\text{ V}$  a výhodou tohoto senzoru je pak navíc také to, že jeho ztrátový výkon je velice malý, tudíž nepotřebuje žádné dodané chlazení [6, 7].





Obr. 1.2: Základní zapojení integrovaného obvodu DS1621 [6, 7]

## 1.2 Štít proti slunečnímu záření

Radiační štít je zařízení, které se používá zejména u meteostanic, které jsou komerčně dostupné, nebo u těch, které jsou realizovány svépomocí v domácích podmínkách. Mimo meteostanice lze radiační štít použít také u jiných zařízení, které slouží k přesnému měření teploty. Radiační štíty jsou obecně používány u všech teplotních senzorů, u kterých je požadováno, aby bylo měření odrušeno od všech okolních nežádoucích vlivů, které by mohly mít negativní vliv na přesnost měření, jako například slunce, topení nebo déšť. V závislosti na mechanické konstrukci jsou radiační štíty děleny na dva typy: aktivní a pasivní. Pasivní radiační štíty jsou používány u aplikací, u kterých není jednoduché nebo je úplně nemožné připojit zdroj elektrické energie, který by následně mohl pohánět elektrický ventilátor uvnitř štítu. Nevýhodou pasivních štítů je vyšší nepřesnost měření teploty, protože jsou závislé na proudění okolního vzduchu. V případě, že se měřicí zařízení s pasivním radiačním štítem nachází v oblasti, kde je dlouhodobě bezvětrí, pak prostorem štítu neprochází žádný vzduch, a tím pádem dochází ke zkreslení přesnosti měření teploty [8].

Při realizaci radiačního štítu v domácích podmínkách je potřeba dbát na materiál, ze kterého je radiační štít postaven, protože existují požadavky na materiál, které musí být splněny. Jednou z podmínek, kterou musí materiál radiačního štítu splnit je to, že povrch štítu musí být schopen odrazit co možná největší část tepelné energie ze záření, které na něj dopadá. V případě, že nedojde k odrazu, dojde k opačnému jevu. Tím je absorpce tepelné energie ze záření, které má za následek nahřívání celého štítu. V případě, že dojde k nechtěné absorpci tepelné energie ze záření na povrchu štítu, je potřeba, aby bylo co možná nejmenší množství této tepelné energie přeneseno do vnitřního prostoru, kde se nachází čidlo pro měření teploty. Materiál by měl být tudíž tepelný izolant s co nejmenší tepelnou vodivostí. Materiál, ze kterého je radiační štít vyroben, musí být zároveň z materiálu, který je schopen odolávat různým povětrnostním podmínkám. Jak od nízkých teplot, tak až po ty vysoké, případně jejich prudkým změnám. Zároveň musí být štít schopen odolat UV záření. Typicky jsou radiační štíty vyráběny z plastů, které mají na svém

povrchu ochrannou vrstvou laku, který zvyšuje jejich odolnost vůči UV záření a zároveň zvyšuje odrazivost štítu [8, 9, 10].

### 1.2.1 Pasivní radiační štít

Tyto štíty, ať již komerčně dostupné nebo vyráběné v domácích podmínkách, se obvykle skládají ze skupiny disků. Tyto disky mají nejčastěji tvar klobouku. Tento tvar je záměrný, jelikož slouží primárně k tomu, aby mohl útroby štítu volně cirkulovat vzduch a zároveň, aby bylo eliminováno tepelné záření dopadající na povrch štítu. Pasivní radiační štít je obvykle sestaven tak, aby jak z dolní strany, tak z horní strany byly umístěny alespoň tři disky, mezi kterými může volně cirkulovat vzduch. Zástavba je takto navržena z toho důvodu, aby bylo zabráněno záření jak ze spodní strany, které je způsobeno zářením povrchu země, tak z horní strany, které je způsobeno zářením ze slunce. Díky těmto ochranným vrstvám následně nedochází k ovlivňování měření, které by jinak bylo způsobeno zahříváním čidla v situaci, kdy země vyzařuje energii vůči čidlu. K tomuto obvykle dochází v noci, kdy na povrchu země dochází k akumulaci energie v průběhu dne. Mezi těmito ochrannými disky je vloženo několik mechanicky upravených disků, které obvykle uprostřed mívají prostor na senzor teploty. Typicky jsou pak jednotlivé disky spojeny třemi závitovými tyčemi. Příkladem komerčně dostupného radiačního štítu může být například štít k meteostanici WH1080, vyobrazený na obrázku 1.3. Vzhledem k vnější konstrukci úchopového dílu štítu je štít možné umístit na venkovní rovnou či oblou plochu, jako je například zeď nebo stožár [10, 11, 13].



Obr. 1.3: Komerčně dostupný pasivní radiační štít k meteostanici WH1080

## 1.2.2 Aktivní radiační štít

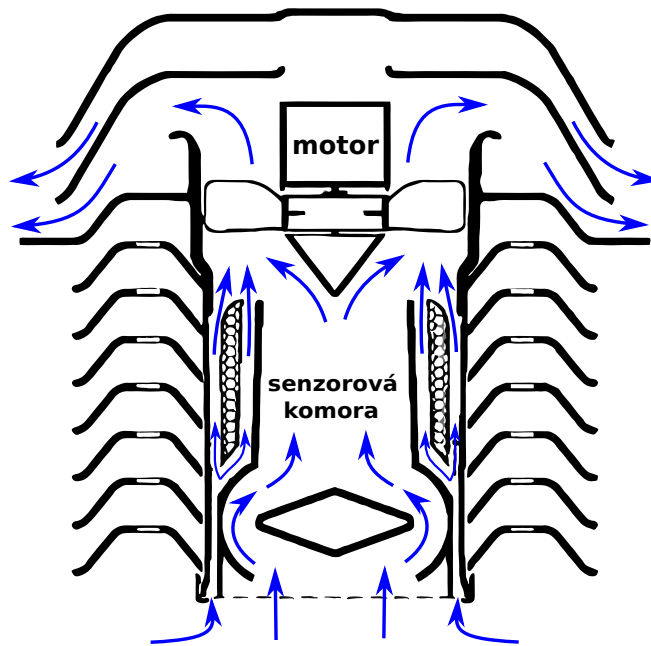
Aktivní radiační štíty se od těch pasivních liší zejména tím, že součástí jejich řešení je elektronický ventilátor. Tento ventilátor má za účel udržovat konstantní cirkulaci vzduchu uvnitř téměř uzavřeného prostoru štítu tak, aby bylo udrženo co možná nejvíce homogenní prostředí v okolí teplotního senzoru pro dosažení co možná nej- přesněji naměřených hodnot.

U pasivních štítů je cirkulace vzduchu závislá na okolních podmínkách. Podobně jako u pasivních štítů jsou voleny pro realizaci dílčích částí speciální materiály a ná- nosy laku na povrchu štítu ke snížení dopadů tepelného záření. Do aktivních štítů je přivedena elektrická energie k tomu, aby bylo možné pohánět elektrický ventilátor, tudíž je potřeba dbát na vhodné krytí přivedeného kabelu speciální vodotěsnou prů- chodkou tak, aby nedošlo k zatečení vody do prostoru štítu v případě srážek nebo kondenzace vody na povrchu kabelu. Přívod kabelu elektrické energie od zdroje je často řešen společně s vodičem pro přenos dat z teplotních senzorů.

V případě použití bezdrátového teplotního čidla je vhodnou alternativou k pří- vodu elektrické energie po kabelu použit fotovoltaický panel společně s akumulací jednotkou. Do této akumulací jednotky je elektrická energie ukládána a zároveň taktéž slouží jako záložní zdroj energie v době, kdy není dostatek slunečního záření pro výrobu nové elektrické energie z fotovoltaických panelů. To se může například stát v noci. V případě použití dostatečně velkého fotovoltaického panelu k vyrobení potřebné elektrické energie a dostačujícího akumulátoru pro startovací proudy elek- trického větráku je toto řešení výhodné pro svoji energetickou nezávislost a možnost decentralizace samotné meteostanice. Dříve používaným řešením aktivních radiač- ních štítů bylo umístění větráku a teplotního senzoru do trubky s dolním ohybem. Toto řešení již v dnešní době není komerčně dostupné, jelikož ho výrobci v dů- sledku špatných výsledků měření teploty opustili, a navíc bylo toto řešení celkově nákladnější na provoz. Taktéž bylo potřeba použít výkonnější větrák s větší spo- třebou elektrické energie. Avšak toto řešení je stále vhodnější než pasivní radiační štíty. Na obrázku 1.4. je možné vidět schematické zapojení aktivního radiačního štítu [10, 12].

## 1.3 Měření tlaku

Součástí pokročilejších meteostanic používaných například na civilních letištích nebo výzkumných provozech je také měření atmosférického tlaku, které slouží zejména k předpovědi počasí v daném místě na nejbližší dobu. Nejobvyklejší název pro měření tlaku je manometr. Snímače tlaku se však vyrábějí i pod jinými názvy, jako například čidla tlaku nebo tlakové senzory. Manometry mohou měřit jak přetlak, tak absolutní



Obr. 1.4: Schéma aktivního radiačního štítu [10, 12]

tlak. Dělí se na analogové a digitální a vyrábějí se v široké škále tlakových rozsahů. Zařízení pro měření tlaku lze rozdělit na několik druhů: [15]

- hydrostatické
- deformační
- tlakoměry se silovým účinkem
- elektrické tlakoměry
- inteligentní převodníky tlaku

### 1.3.1 Hydrostatické měření tlaku

Tyto senzory slouží k takovému měření tlaku, při kterém vyvíjí daná kapalina určitý tlak na senzor, který je umístěn pod úrovní hladiny. Velikost hydrostatického tlaku je pak přímo závislá na úrovni sloupce kapaliny, který je v nádobě nad sondou. Velikost hydrostatického tlaku je pak přímo úměrná hloubce, do které je sonda ponořena, a díky tomu je následně možné tento tlak přepočítat jednoduchou matematickou operací na velikost hloubky ponoření sondy. Toto však platí pouze v tom případě, je-li výška hladiny konstantní a hodnoty sondy umístěné v nádobě s kapalinou jsou proměnné. Měření lze v praxi využít například pro okamžité určení úrovně dna v neznámé nádrži. Pro toto měření je nezbytné ponořit tlakoměrnou sondu do blízkosti dna [14].

### 1.3.2 Deformační měření tlaku

Deformační měření tlaku je založeno na principu tzv. pružné deformace, čímž dochází k účelnému mechanickému poškození určitých tlakoměrných prvků. K tomuto mechanickému poškození dochází vlivem působení tlaku, který je deformovaným materiálem měřen. Typickými prvky používanými pro deformační měření jsou například Bourdonova trubice, membrána, vlnovec a krabice. Obvykle používanými materiály pro deformační měření tlaku jsou uhlíková a niklová ocel, fosforový bronz, beryliový bronz, mosaz a jiné použitelné slitiny kovů. Nejpoužívanějším typem těchto tlakoměrů jsou trubicové tlakoměry. Podle úrovně tlaku se trubice liší materiálem, ze kterého je vyrobena. Například pro nízké tlaky je trubice mosazná, pro vysoké tlaky je trubice vyrobena z oceli. Měřicí rozsahy těchto tlakoměrů bývají od 0 až do 2 000 MPa. Zároveň je možno tímto typem měřit i podtlak. Membránové tlakoměry jsou typicky stavěny pro měření tlaku do 4 MPa. Velkou výhodou membránových tlakoměrů je vysoká citlivost, která u trubicových tlakoměrů chybí. Další výhodou těchto tlakoměrů jsou malé setrvačné hmoty systému. Tyto tlakoměry jsou proto vhodné pro aplikace, kde je potřeba měřit velmi rychlé pulzující tlaky. Třetí typ, tedy krabicový tlakoměr, se používá převážně pro měření malých přetlaků, podtlaků nebo tlakových diferencí. Měřicí rozsah těchto tlakoměrů je typicky od 10 Pa do zhruba 1 kPa. Tyto tlakoměry se mimo jiné používají také v aneroidech, tedy v přístrojích pro měření barometrického tlaku. Posledním typem tlakoměru jsou tlakoměry vlnovcové. Ty se obvykle používají pro měření přetlaků a tlakových diferencí do cca 0,4 MPa. Segment, ve kterém je použití těchto tlakoměrů nejvíce zastoupeno, je v regulační technice, kdy se používá kovových vlnovců s pružinou. Typický zástupce je například pneumatický vysílač [15]. Obecně jsou výhodami deformačních tlakoměrů malé rozměry, jednoduchost, nízká hmotnost, velký rozsah měřených hodnot, vysoká přesnost a spolehlivost v náročných průmyslových prostředích, proto se řadí také mezi nejpoužívanější tlakoměry v průmyslu. Zároveň se prvky těchto deformačních tlakoměrů využívá při stavbě manostatů. Manostat je obecně přístroj používaný k dvoupolohové regulaci tlaku, který je sestaven z jednoho nebo více elektrických kontaktů [15].

### 1.3.3 Tlakoměry se silovým účinkem

Tlakoměrem se silovým účinkem může být například tlakoměr zvonový nebo tlakoměr pístový. Tyto tlakoměry obecně souvisí s měřením síly, protože při měření tlaku jsou jeho účinky vyvažovány pružinou nebo případně závažím. Typický rozsah měření u tohoto druhu tlakoměrů je od zhruba 0,05 do 2 000 MPa. U tlakoměrů pro měření vysokého tlaku se využívá pákového převodu mezi závažím a pístem. U pístových tlakoměrů je výhoda, že je možné potlačit kteroukoli část rozsahu přístroje tím, že

se do něj přidá závaží. Kompenzační síla je u těchto tlakoměrů vyvozována pružinou, zvonové tlakoměry pak vycházejí z nízkotlakové architektury pístových tlakoměrů. Tlak, který je v nich měřen, působí na dno zvonu, přičemž zvon samotný je ponořen v nádobě s kapalinou, která je naplněna jen z části. Využití zvonových tlakoměrů lze nalézt například u ověřování kalibrace jiných tlakoměrů s pracovním rozsahem do jednotek kPa [15].

### 1.3.4 Elektrické tlakoměry

Jedná se zejména o tlakoměry s výstupním elektrickým signálem a jsou řazeny do těchto kategorií: [15]

- Senzory s odporovými tenzometry
- Senzory tlaku piezoelektrické
- Senzory tlaku kapacitní

### 1.3.5 Senzory s odporovými tenzometry

U těchto tenzometrů se využívá principu piezorezistivního jevu. Ten je obvykle vyvolán při mechanických změnách, ke kterým dochází u polovodičů nebo kovových vodičů, kterým se vlivem těchto mechanických změn mění jejich elektrický odpor [15]. U kovových rezistivních tenzometrů se tenzometr vyrábí z rezistivního drátu o průměru od 0,025 mm do 0,06 mm. Tento drátek je v několika vrstvách uchycen na tenkém substrátu, který je tvořen z různých materiálů, mezi kterými mohou být například různé plasty nebo směsi papíru. Konce drátku jsou připojeny k vývodům. Senzory se následně uchycují na měřený systém lepidly [15]. Polovodičové tenzometry se vyrábí buď z křemíku nebo z galia. Vyrábí se několika způsoby. V případě monokrystalu se pak tenzometry lepí přímo na měřený mechanický prvek. Ke změně elektrické vodivosti a tím i k možnosti měření dochází díky mechanickým pohybům měřeného prvku, což má vliv na krystalografickou osu monokrystalu polovodiče. Velikost změny odporu je přímo závislá na tom, o jaký polovodič se jedná a jak koncentrované jsou jeho příměsi. Co je ale u těchto tenzometrů nelineární, je jejich závislost odporu na deformaci. Polovodičové tenzometry jsou ve srovnání s kovovými tenzometry daleko citlivější, nevýhodou je však jejich velká teplotní závislost, tuto závislost je tedy v případě použití polovodičových tenzometrů nutné teplotně kompenzovat vhodným elektronickým obvodem. Při vyhodnocování měření se nejčastěji používá zapojení tenzometrů do Wheatstoneova můstku [15]. Odporové tenzometry fungují tak, že při mechanické zátěži, která je způsobená silou působící na odporové těleso, dochází ke změně elektrického odporu. Typickým zařízením s tímto typem funkce je siloměr. Typicky jsou odporové tenzometry využívány tam, kde je potřeba malých i velkých deformací, momentů a namáhání, příkladné využití odporového

tenzometru je například při měření tlaku dohromady s deformačními manometry nebo pro určení výšky hladiny kapaliny v nádobě. V případě, že existuje požadavek na určení směru měřeného mechanického napětí, pak je použit systém složený z několika snímačů, které jsou vůči sobě vzájemně pootočený o definovaný úhel. Velkou výhodou těchto snímačů je jejich vysoká přesnost s velice dobrou dynamickou odezvou, přesnost měření však mohou ovlivnit okolní parazitní jevy, jako například teplota [15].

### 1.3.6 Senzory tlaku piezoelektrické

Tyto snímače jsou běžně vyráběné z křemenného krystalu, který je sám vyráběn z kombinace křemíku a kyslíku. Ty jsou spolu uspořádány v krystalické struktuře. Významný rozdíl je ten, že jednotková buňka je u všech existujících krystalů symetrická. Naopak u piezoelektrických křemenných krystalů tomu tak není. Tyto krystaly jsou navíc elektricky neutrální. Významná vlastnost křemenných krystalů je jejich schopnost vytvářet elektrickou polaritu v situacích, kdy na jeho povrchu dochází k mechanickému namáhání v určitém směru. V případě piezoelektrických senzorů tedy existují dva stavy. Prvním stavem je napětí v tlaku a druhým stavem je napětí v tahu. V případě, že dojde u piezoelektrického senzoru ke stresovému napětí, pak se na jedné straně začínají indukovat kladné náboje a na druhé straně se vyvolávají záporné náboje. Definice piezoelektrického jevu říká, že v případě působení sil na povrchu křemenných krystalů dochází k tvorbě elektrického náboje na povrchu křemenného krystalu. Tyto snímače jsou vhodné díky své vysoké citlivosti a dobré frekvenční odezvě. Materiál, ze kterého se tyto snímače vyrábí je například titán barnatý [15, 16].

### 1.3.7 Senzory tlaku kapacitní

Kapacitní senzory tlaku jsou obecně sestaveny z dvou nebo vícero elektrod v jeden systém. Parametry tohoto systému jsou pak přímo závislé na působení neelektrické veličiny, která je měřena a která ovlivňuje jeho parametry. K měření tlaku dochází tak, že se mění vzdálenost mezi elektrodami. Příklad funkce je takový, že jedna elektroda je statická a protější elektroda je tvořena membránou, jejíž poloha je závislá na procházejícím tlaku, čímž dochází ke zvětšování a zmenšování vzdálenosti mezi elektrodami. Výstupní elektrické obvody, které zpracovávají signál z kapacitního senzoru, jsou obvykle doplněny o obvody, které mají sloužit jako kompenzace a mají potlačit parazitní vazby jiných kapacit, jako je například kapacita kabelu nebo stínícího krytu [15].

## 2 Napájení stanice pomocí fotovoltaiky

Snahou bylo, aby meteorologická stanice pro sběr environmentálních dat byla plně samostatným systémem, který nevyžaduje externí zdroj napájení ze sítě. Jako nejlepším řešením se v našich podmínkách jeví fotovoltaický panel. Pro správný výběr bylo nejprve nutno zvážit spotřebu stanice a dostupnost denního světla. V zimním období se délka dne zkracuje až na osm hodin. Na základě praktických zkušeností hustá oblačnost může ztížit podmínky pro výrobu elektrické energie, a to až na desetinu maximálního možného výkonu panelu. Trvalá předpokládaná maximální spotřeba stanice byla uvažována ve stovkách miliampér. Největší podíl na této spotřebě mají především senzory, které mají integrované topné těleso.

Vzhledem k náročnosti a k výslednému rozsahu stanice pro sběr environmentálních dat byla konstrukce a oživení napájení pomocí fotovoltaiky vynechána. Zbylé části stanice, které byly zkonstruovány a oživeny, jsou pro tento způsob napájení připraveny.

### 2.1 Návrh snižujícího měniče

Jako efektivní způsob čerpání energie z fotovoltaického panelu byl zvolen snižující (buck converter) měnič doplněný o techniku *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Hlavním řídicím prvkem byl zvolen mikrokontrolér STM32F103, který zde zastává funkci kontroléru měniče a implementuje technologii MPPT. Díky použití mikrokontroléru byla zajištěna funkce nabíjení akumulátorové banky přímo tímto měničem bez nutnosti dalšího regulátoru. Zároveň je možné vyhodnotit, kdy je vhodné energii z panelu čerpat a kdy je vhodné panel odpojit z důvodu příliš nízkého energetického toku, který nedokáže napájet ani samotný měnič. V rámci možnosti snížení spotřeby celého zařízení bude mít tento mikrokontrolér plnou moc nad tím, aby kompletně odstříhl napájení celého měniče. Tímto krokem je možné docílit téměř nulové spotřeby primární části obvodu starající se o napájení a jediná část, která zůstane napájena je BMS (Battery Management System) systém akumulátorů.

### 2.2 Měření proudu a napětí

Měření výstupního proudu z fotovoltaického panelu zajišťuje rezistor zapojený jako bočník, na němž je úbytek napětí přímo úměrný protékajícímu proudu. Napětí na bočníku je následně zesíleno operačním zesilovačem ve vhodném poměru tak, aby bylo maximalizováno rozlišení měřeného napětí v rámci rozsahu kvantovacího kroku zvoleného převodníku A/D a jeho napěťové reference. Poměr zesílení je nutno

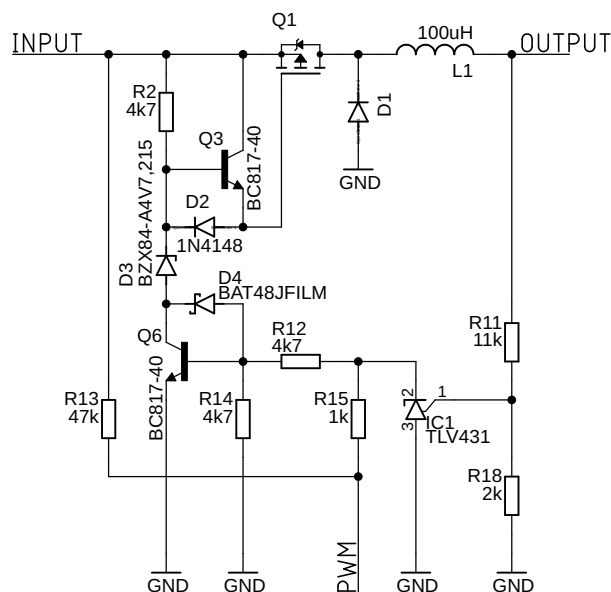
určit dostatečně přesně, jelikož mikrokontrolér si sám zajišťuje převod signálu integrovaným převodníkem AD a tím je na rozsahu závislá maximální efektivita celého zdroje. Pro měření výstupního proudu zdroje je použito stejného zapojení, pouze s jinak určeným zesílením operačního zesilovače. Pro zajištění kompletní správy a řízení celého měniče je potřeba pouze znalost vstupního proudu. Znalost přesného výstupního proudu je ovšem nezbytná pro dodržení korektní nabíjecí charakteristiky použitých akumulátorů, čímž je zajištěna jejich dlouhá životnost a bezpečný provoz.

Pro měření napětí na fotovoltaickém panelu byl navržen napěťový dělič opatřený nízkopásmovým RC filtrem. Napěťový dělič je navržen s rozvahou nad zajištěním dostatečně vysoké odolnosti proti šumu a zároveň dostatečně nízké spotřebě, aby nebylo nutné volit výkonné rezistory ani zbytečně snižovat maximální dodanou energii a tím i účinnost zdroje.

## 2.3 Gate driver

Jádrem zdroje MPPT je výkonný tranzistor typu PMOS s označením Q1. Zapojení tohoto tranzistoru je plně závislé na aktuálním napětí fotovoltaického panelu, které může být v rozsahu 0-30 V. Takto vysoké napětí je nekompatibilní s LVTTL logikou použitého mikrokontroléru, díky čemuž jej nelze přímo připojit na jeho PWM vývod. Pro zajištění jeho korektního spínacího napětí je nutné aplikovat jistou formu tzv. gate-drive obvodu, zajišťující plovoucí napájení pro spínání takového tranzistoru nebo alespoň napěťovou kompatibilitu mezi spínacími rozsahy použitého MOS-FET tranzistoru a LVTTL logikou mikrokontroléru. Pro tyto účely byl aplikován obvod na obrázku 2.1, který plní funkci gate drive obvodu.

Použitý tranzistor Q6 slouží k přizemnění hradla tranzistoru Q1, čímž vytvoří napěťový rozestup mezi vývodem Source a Gate přesně o velikosti napětí panelu. Jelikož napětí panelu může přesáhnout limitní napětí tranzistoru Q1, přibližně 25 V, byla do spínací cesty zařazena Zenerova dioda D3 zajišťující snížení tohoto napětí na přípustnou mez. Těmito kroky je zajištěno bezproblémové sepnutí tranzistoru za pomoci poměrně velkého proudu nabíjecího kapacitu  $C_{GS}$ , který je omezen víceméně pouze dynamickými odpory jednotlivých polovodičových komponent Q6, D2 a D3. Pro zajištění adekvátně rychlého rozepnutí tranzistoru bohužel nelze podobnou techniku aplikovat, jelikož LVTTL úroveň mikrokontroléru k tomu není dostatečná. Do obvodu byl tedy přidán tranzistor Q3, který v případě rozepnutí tranzistoru Q6 využije zbývající energii v tomto obvodu k vyzkratování této kapacity a její kompletní vybití a tím i uzavření tohoto tranzistoru.



Obr. 2.1: Gate driver

## 2.4 Ochrana proti přebití akumulátoru

Použité akumulátory jsou lithiového typu, a je tedy nutno jim zajistit určitou úroveň bezpečných provozních podmínek. Těmito provozními podmínkami jsou například operační teplota, maximální proud procházející akumulátorem a korektní napětí na každém článku. Jelikož je zátěžový obvod svým výkonem hluboce pod maximálními vybíjecími proudy, není potřeba vybíjecí charakteristiku příliš sledovat.

Nabíjecí proudy jsou sledovány pomocí výše zmíněného bočníku v rámci měniče MPPT. K informaci o nabíjecím proudu je přidána také aktuální teplota jednotlivých článků, které jsou nabíjením rychle zahřívány.

K vyhodnocení teploty článků byl zvolen jednoduchý obvod s termistorem v absolutní blízkosti takového článku, který je zapojen v odporovém děliči a jehož napětí je vyhodnocováno za pomoci mikrokontroléru měniče.

Posledním krokem k zajištění korektní funkce těchto akumulátorů je zajištění správného pracovního napětí, které je řešeno v několika krocích. Prvním krokem je zajištění maximálního napětí na každém článku a tím vyrovnání jejich energetické hustoty. Toho je docíleno za pomoci *Battery Management System* (BMS), systému připojeného ke každému článku samostatně, s vhodnou kalibrací na maximální povolené napětí článku určené výrobcem zvoleného akumulátoru. Napětí lze nastavit o něco nižší, například na 90 % maximálního napětí článku, čímž bude zajištěna delší životnost. Maximální napětí celé akumulátorové banky je pak snímáno pomocí měniče MPPT a je jedním ze dvou hlavních veličin figurující v nabíjecí charakteristice těchto akumulátorů. Maximální napětí je zároveň hlídáno i analogovým obvodem

za použití reference IC1 zapojené v režimu napětového komparátoru, zajišťující bezpečnou operaci i při selhání mikrokontroléru měniče. Tato bezpečnost je zajištěna tím, že při vyhodnocení příliš vysokého napětí na akumulátorech je znemožněno otevření tranzistoru Q1, který by svým otevřením mohl způsobit volný průtok proudu z fotovoltaických panelů do akumulátoru. Vybrané panely mají maximální napětí značně vyšší než je maximální napětí akumulátorů, a tím by mohlo dojít k vyrovnání jejich napětových úrovní a přebití akumulátoru.

## 2.5 Systém pro správu nabíjení akumulátorů

Akumulátory plánované pro použití v meteorologické stanici pro sběr environmentálních dat je nutné chránit proti přebití a díky sériovému pospojování těchto článků je nutno zajistit také rovnoměrné rozložení napětí v celé akumulátorové bance. BMS. K tomuto účelu je možno použít dva velmi obecné systémy - aktivní a pasivní balancující obvod.

Stavba aktivního balančního systému je poměrně rozsáhlým zařízením, které navíc pro dva sériové články nepřinese příliš velkou výhodu. Pasivní systém BMS je oproti aktivnímu poměrně jednoduchým zapojením. Je sestaven z aktivního lineárního tranzistoru sloužícího pro přemostění protékajícího proudu akumulátoru tak, aby většinový proud tekla právě tranzistorem a nikoli akumulátorem. Takto částečně otevřený tranzistor sleduje dynamický odpor bateriového článku a zajišťuje snížení jeho napětí na maximální nastavenou mez tím, že většinu proudu pustí právě skrze svůj kolektor. Hraniční napětí je nastaveno pomocí vhodně zvoleného odporového děliče umístěného u komparačního vstupu napětové reference TL431 (IC9 a IC10). Tyto reference pootevrou lineární tranzistory Q7 a Q8, čímž zajistí snížení napětí akumulátoru jeho částečným vybitím. Takto zapojené balanční obvody u jednotlivých článků spolu s korektně nastavenou hranicí nabíjecího napětí článků zajistí rovnoměrné rozložení napětí v celé akumulátorové bance a zároveň zajistí i bezpečné napětí na jednotlivých článcích.

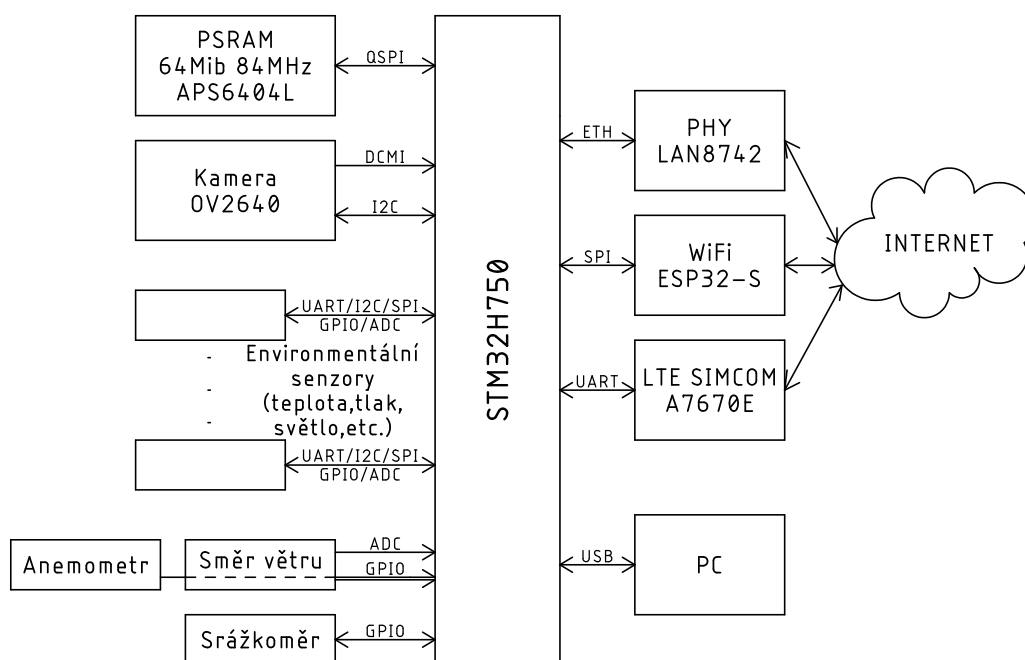
## 2.6 Komunikační sběrnice

Systém pro správu nabíjení akumulátorů byl propojen s hlavním mikrokontrolérem pomocí asynchronní sériové sběrnice, což umožňuje přenos dat o stavu nabíjení akumulátorů. Kvůli ochraně proti možným rozdílným napájecím napětím byly mikrokontroléry odděleny optočleny, které slouží jako galvanická izolace.

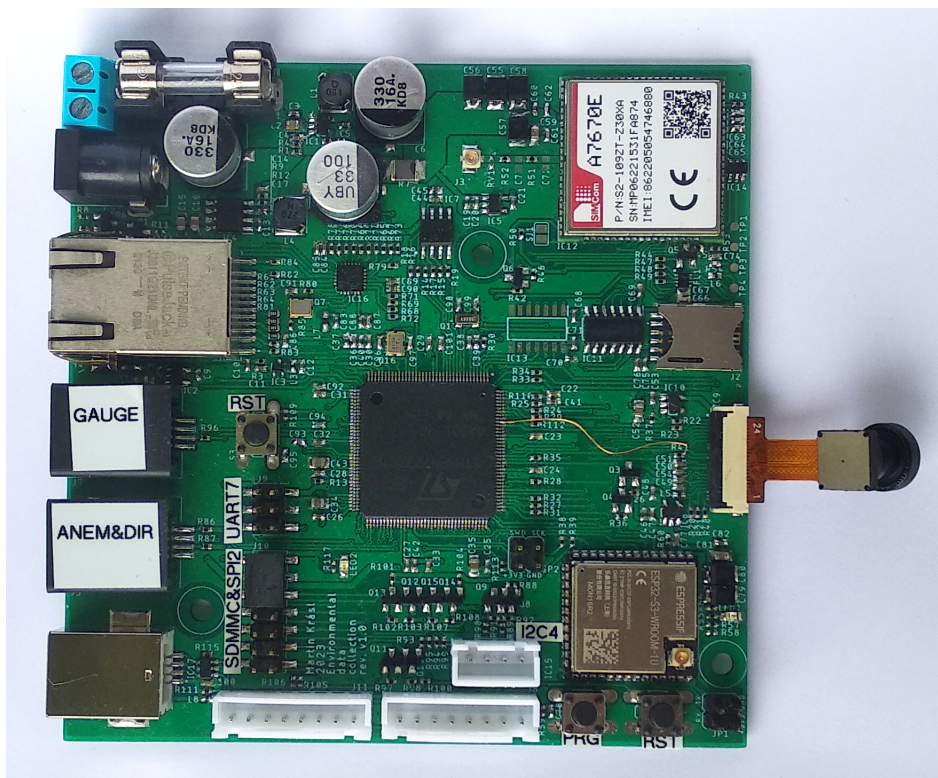
## 3 Realizace stanice

### 3.1 Hlavní obslužná deska

Základní deska na obrázku 3.2 s rozměry 10x10 cm byla navržena v programu Eagle, vzhledem ke konstrukci formou povrchové montáže součástek byla zvolena dvouvrstvá topologie. Deska byla vyrobena firmou JLCPCB, která byla schopna zajistit včasné dodání a vysokou kvalitu. Zjednodušené blokové schéma desky se nachází na obrázku 3.1. Samotná deska neobsahuje kromě kamery žádné senzory, pro připojení externích sensorů byla vyhrazena řada konektorů. Možnost připojení na internet zajišťuje trojice síťových rozhraní: LTE, WiFi nebo Ethernet, což poskytuje uživatelům různé možnosti připojení a celkovou flexibilitu. Jelikož vybrané senzory (anemometr, srážkoměr a směrovka) byly výrobcem vybaveny konektorem RJ12, byly na desku umístěny patřičné konektory s kompatibilním zapojením. Vzhledem k vybranému mikrokontroléru disponujícímu velkým množstvím periférií byla deska nadstandardně vybavena konektory obsahujícími další sběrnice, například pro připojení SD karet. Vzhledem k univerzálnosti může tato základní deska posloužit i v jiných projektech.



Obr. 3.1: Blokové schéma hlavní desky



Obr. 3.2: Fotografie hlavní desky

### 3.1.1 Napájení

Hlavní deska byla vybavena dvojicí konektorů, které umožňují externí zdroje napětí. Prvním z konektorů je Jack, jehož účelem je připojení běžně dostupných 12 V adaptérů, které jsou právě nejčastěji vybaveny tímto typem konektoru. Pro případy připojení k jiným typům zdrojů byla deska taktéž vybavena svorkovnicí, která je paralelně spojená s Jack konektorem.

Samotná napájecí část na desce poskytuje primárně celkem tři napájecí napětí. Těchto napětí bylo dosaženo za pomoci kombinací měničů a LDO stabilizátorů. První z měničů byl navržen tak, aby snižoval napětí přibližně na 5,5 V, to je následně stabilizováno na 5V. Zapojení a hodnoty součástek byly získány za pomoci online nástroje [38]. Toto napětí je nezbytné pro správnou funkci některých senzorů. Výstupní napětí druhého měniče bylo nastaveno na 4 V. Toto výstupní napětí následně bylo použito pro napájení LTE modulu a taktéž pro napájení částí, které vyžadují napětí o úrovni 3,3 V, snížení na tuto úroveň bylo opět zajištěno dalším LDO stabilizátorem.

### 3.1.2 Mikroprocesor STM32

Základním prvkem pro práci s daty je mikroprocesor rodiny STM32H7. Jeho úkolem je zejména obsluha environmentálních senzorů a zpracování naměřených dat, která jsou následně po internetové síti odesílána na server za účelem archivace a k statistickému vyhodnocení.

Mikroprocesor je založen na třiceti dvoubitovém jádru Arm®Cortex®-M7, který může být taktován až na 550 MHz. Integrovaná flash paměť pro program činí 1 MiB flash a pro data je vyhrazeno 564 KiB RAM [28].

Mikrokontrolér STM32H723 byl vybrán na základě podpory integrovaných hardwarových periférií, které umožňují připojení vybraných environmentálních senzorů za pomoci integrované obsluhy komunikačních sběrnic. Mezi další důvody patří možnost připojení kamery a externí paměti dat s mnohem větší kapacitou, než je ta, která je již v mikrokontroléru obsažena. Pro připojení do internetové kabelové sítě je mikrokontrolér vybaven periférií ethernetu. Mezi další komunikační sběrnice, kterými disponuje, patří USB, I2C, SPI etc [28]. Pro reset bylo vyhrazeno externí tlačítko, doplněné o obvod tlumící zákmity. Pro možnost programování a následné ladění byl vyhrazen čtyřpinový konektor, pro připojení programátoru STLink. Přesnými zdroji hodinových signálů je použita dvojice krystalů. Jeden z krystalů slouží jako hlavní zdroj hodinového signálu. Druhý krystal je využit pro zdroj hodin reálného času.

### 3.1.3 USB Rozhraní

Stanice byla vybavena USB rozhraním. Na internetu je možné nalézt řadu knihoven implementující CDC protokol. Zařízení se po připojení k počítači v operačním systému jeví jako virtuální sériová linka. Po otevření terminálu na počítači je tak možné se zařízením komunikovat pomocí jednoduché sady příkazů.

Pro připojení USB kabelu byl zvolen konektor typu USB-B a byl opatřen externí ESD ochranou. Hardwarová periférie USB periférie je plně integrováno v mikrokontroléru. Během návrhu plošného spoje je zapotřebí hlídat správnou impedanci mezi datovými vodiči.

### 3.1.4 LTE Modul

Na trhu bylo možné najít velmi levné varianty modulů, jako například modul SIM800. Tyto moduly jsou však často určeny pouze pro síť GPRS, které však postupně ukončují svou činnost a po čase přestanou být schopné poskytovat internetové připojení.

Z tohoto důvodu byla pro účely bezdrátového odesílání dat vybrána modernější verze A7670E, která disponuje podporou novějších sítí LTE, GSM, GPRS a EDGE. Modul A7670E využívá formu LGA a je zpětně kompatibilní se staršími modely

SIM800. Pro připojení k ostatním částem zařízení je vybaven sadou rozhraní UART, USB, I2C a GPIO [27].

Největší uplatnění lze nalézt především v místech, kde není dostupné WiFi nebo ethernetové připojení k internetu. Většina vstupů a výstupů modulu pracuje se signály na nízké napěťové úrovni 1,2 V. Modul tak byl vybaven dvěma externími obousměrnými převodníky napěťových úrovní, které zajišťují bezpečnou možnost připojení mikrokontroléru, který pracuje s napěťovými úrovněmi 3,3 V.

Komunikace s modulem je možná po asynchronní sériové sběrnici, po které lze zasílat standardizované AT příkazy. Obousměrným napěťovým převodníkem úrovní byla propojena periferie asynchronní sériové linky mikrokontroléru s A7670E modulem. Kromě obou datových pinů (vysílacích TXD i přijímacích RXD) byly propojeny i řídicí modemové signály *Clear to Send* (CTS) a *Request to Send* (RXD).

Mikrokontrolér STM32H723 byl navíc propojen pomocí obousměrného napěťového převodníku s PCM audio rozhraním LTE modulu. Vzhledem ke konkrétní aplikaci tohoto modulu v této práci zůstává praktické využití audio rozhraní otázkou, a tak může být zmíněný druhý převodník osazen v případě potřeby později.

Reset a start modulu A7670E lze provést pomocí sekvence přizemnění vstupů RESET a PWRKEY. Přizemnění je zajištěno dvěma externími tranzistory, vstupy RESET a PWRKEY jsou interně opatřeny pull-up rezistory [26] a v klidovém režimu tak nabývají logické jedničky.

Pro instalaci karty SIM byl připraven slot. Pro zajištění ochrany před elektrickými výboji, které by mohly poškodit kartu nebo modul A7670E, byla zvolena externí ESD ochrana TPD3F303DPVR.

Z praktických zkušeností byla zvolena cesta externí anténou. Důvodem je především snadná výměna na rozdíl od antény přímo realizovaná na plošném spoji. Důvodem k výměně může být především nevhodná vyzařovací charakteristika antény nebo účinnost. Pro připojení antény byl zvolen Hirose U.FL konektor. V cestě mezi modulem A7670E a anténou bylo navrženo rezervované zapojení pro přizpůsobovací obvod známý jako pí-článek.

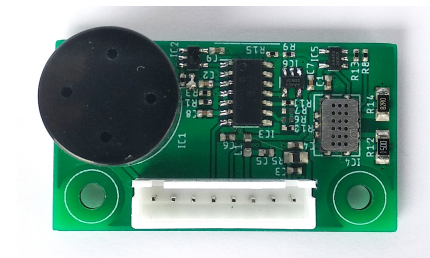
Modul A7670E během vysílání (burstů) dosahuje v napájecí větvi velkých proudových špiček, které mohou být až 2 A. Pro tento účel byla navržena kapacitní banka dle doporučení od výrobce [26].

## 3.2 Čipové senzory

Na trhu bylo možné nalézt velké množství senzorů různé kvality provedení. V cenově dostupné kategorii se především jednalo o moduly, které byly určeny pro populární platformu Arduino. Vzhledem k velikosti a kvalitě provedení plošných spojů těchto senzorů bylo rozhodnuto jít cestou vlastního návrhu a konstrukce. Výsledkem byly tak malé externí desky plošných spojů obsahující vybrané senzory s nezbytnou okolní elektronikou a vhodným konektorem pro připojení do systému. Z důvodu finálního umístění byly výsledkem tři DPS. Jedna z desek je určena pouze pro měření intenzity světla, a může být tedy uzavřena v vodotěsném průhledném boxu. Druhá z desek obsahuje senzory plynů, a vyžaduje tak přístup k okolnímu vzduchu, senzory však obsahují topná tělesa, která by mohla ovlivňovat měření, proto se senzory teploty, vlhkosti a tlaku nachází na třetí samostatné desce, která je určena do radiačního štítu.

### 3.2.1 Senzory plynů

Pro účely měření koncentrace plynů byla zvolena dvojice senzorů. První z senzorů je detektor ozonu nízkých koncentracích MQ131-LOW [33]. Druhý vybraný senzor je detektor kombinující detekci oxidů dusíku a oxidu uhelnatého [32]. Princip měření spočívá ve sledování směny vodivosti. Senzory jsou zapojené společně se zatěžovacím rezistorem na napájecí napětí 5 voltů jako odporový dělič, který umožňuje na základě změny napětí určit vodivost senzitivního materiálu. Úroveň tohoto napětí je digitalizována pomocí 18 bit sigma-delta převodníku. Komunikace s tímto převodníkem probíhá po I2C sběrnici. Vzhledem k velké impedanci senzorů byly vstupy AD převodníku odděleny operačními zesilovači, zapojené v režimu opakovač. Výsledky měření v této práci jsou uvedeny ve formě zjištěné vodivosti/odporu senzorů, jelikož přepočítání na jednotky koncentrace by vyžadovalo přesnou kalibraci za všech pracovních teplot a dalších okolních vlivů, které by mohly ovlivnit měření. I tak je možné vysledovat trend změny koncentrace plynů v průběhu času nebo sledovat zkrácení vlivem změn okolní teploty.



Obr. 3.3: Fotografie desky senzorů plynů

### 3.2.2 Senzor prachových částic

Pro detekci prachových částic byl zvolen senzor PMS7003 [31] viz obrázek 3.4, který je komunikačním protokolem zpětně kompatibilní s původně vybraným PMS5003 [30], jenž nebyl dostupný. Ve zdrojových kódech nebo v jiných částech této práce může být uveden senzor PMS5003.

Princip detekce prachových částic je založen na laserovém paprsku, který prochází komorou, ve které jsou ozařovány sledované částice. Na základě rozptylu světla měřené detektorem je interním mikrokontrolérem vyhodnoceno množství detekovaných částic. Tento senzor je schopen rozpoznat celkem 6 kategorií velikosti prachových částic: 0,3  $\mu\text{m}$ ; 0,5  $\mu\text{m}$ ; 1  $\mu\text{m}$ ; 2,5  $\mu\text{m}$ ; 5  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$ .

Ovládání tohoto senzoru je velmi jednoduché, po připojení napájení o velikosti 5 V posílá po sběrnici UART pravidelné binární datové rámce, které obsahují zjištěné koncentrace částic. Pro potlačení chyb v přenosu jsou rámce opatřeny kontrolním součtem.



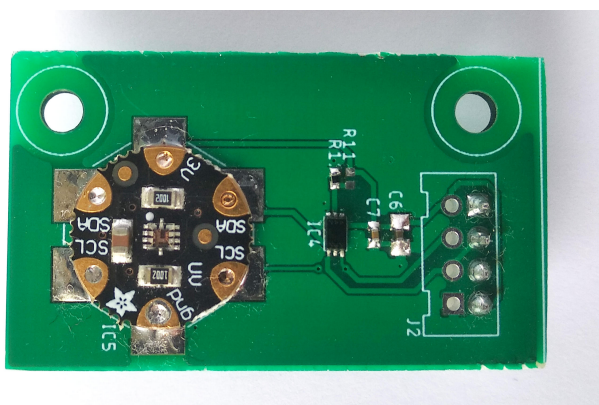
Obr. 3.4: Fotografie senzoru prachových částic

### 3.2.3 Sensory ambientního osvětlení a UV indexu

Pro účely měření ambientního osvětlení (luxmetr) byl vybrán senzor BH1750FVI [37]. Senzor snímá okolní světlo dopadající na jeho povrch, tímto je možné snímat široký rozsah spektra s vysokým rozlišením, a to v rozsahu 1 lx až 65535 lx. Tento senzor byl napojen na napájecí větev 3,3 V, což je v rozsahu vstupního napájecí napětí 2,4 V až 3,6 V. Komunikace probíhá po digitální sériové lince I2C, kde je možné vybírat ze dvou typů podřízených adres. Pro funkci tohoto integrovaného obvodu není potřeb žádných dodatečných speciálních komponent. Výsledek měření je možné nastavit podle vlivu optického okna. Možnost využití funkce potlačení světelného šumu pro 50/60 Hz.

Pro účely měření UV indexu byl vybrán integrovaný obvod Si1145, který je možné využít k měření čtyř jevů: UV index, viditelné světlo, infračervené světlo a detekce polohování (proximity detection). Napájecí napětí tohoto integrovaného rozsahu se pohybuje v napětí od 1,71V do 3,6V a komunikační sběrnici je opět I2C. Díky tomu bylo možné umístit senzor ambientního osvětlení a UV senzoru na jeden společný plošný spoj. Senzor je vhodný pro zařízení s nízkou spotřebou, průměrná spotřeba proudu tohoto integrovaného obvodu v pracovním režimu je 9 uA. Spotřeba tohoto integrovaného obvodu v pohotovostním režimu je menší než 500 nA. Integrovaný obvod lze použít i v průmyslových podmínkách, je navržen tak, aby byl schopen pracovat v teplotním rozsahu od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  až do  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Je nutné podotknout, že výstupem měření intenzity světla z tohoto senzoru jsou bezrozměrné arbitrární hodnoty, jež jsou na interně přepočteny na UV index. Funkce proximity senzoru nebyla využita.



Obr. 3.5: Fotografie světelných senzorů



Obr. 3.6: Fotografie světelných senzorů (spodní část)

### 3.2.4 Senzor tlaku a teploty

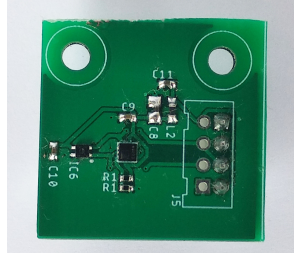
Pro účely měření tlaku a teploty byl zvolen integrovaný senzor WSEN-2511020213301 postavený na technologii *Micro Electro Mechanical Systems* (MEMS). Tlakový senzor od společnosti Wurt Elektronik použitý v této práci disponuje rozsahem od 26 kPa do 126 kPa s absolutní přesností na  $\pm 100$  Pa. Rozlišení tohoto senzoru nabývá 24 bitů. Napájecí napětí tohoto integrovaného obvodu se pohybuje v rozsahu od 1,7V do 3,6V, je tak napájen napětím 3,3 V. Odběr proudu tohoto integrovaného obvodu se v nízkoodběrovém režimu pohybuje kolem 4 uA, v případě, že je však zvolen nízkošumový režim, je pak odběr proudu asi 3x větší, a to 12 uA. Podobně, jako již zmíněný UV senzor, tak i tento senzor dokáže pracovat v teplotním rozsahu od  $-40$  °C až do  $+85$  °C [29]. Jako rozhraní pro digitální komunikaci byla použita sériová sběrnice I2C.

### 3.2.5 Senzor vlhkosti a teploty

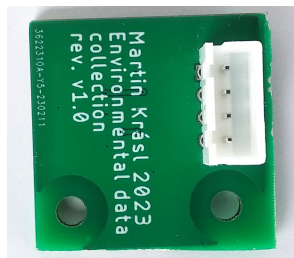
Pro účely měření vlhkosti byla stanice vybavena senzorem s označením SHT40, který je taktéž vybaven možností přesného měření teploty. Jako senzor vlhkosti byl zvolen integrovaný odvod SHT4x od společnosti SENSIRION. Jedná se o senzor vlhkosti s vysokou přesností, velmi nízkou spotřebou a 16-bitovým rozlišením. Napájecí napětí tohoto integrovaného obvodu je v rozsahu od 1,08 V do 3,6 V. Průměrný odběr elektrického proudu v pracovním režimu a při frekvenci 1 Hz je až 0,4 uA. Odběr v úsporném režimu je až 80 nA. Přesnost měření relativní vlhkosti dosahuje až 1,0 % RH [25].

Čidlo bylo umístěno na samostatnou malou desku plošného spoje společně se senzorem tlaku. Velikost byla uzpůsobena pro účely umístění do radiačního štítu, který chrání senzor před okolním prostředím a zajišťuje správné podmínky pro měření. Připojení senzoru s hlavní deskou je zajištěno kabelem o přibližné délce 0,5 m.

Tento kabel zajišťuje napájení i komunikaci sběrnici I2C s 3,3 V logikou, experimentálně bylo zjištěno, že i přes větší délku kabelu probíhá komunikace se senzorem bez větších obtíží. Díky tomuto přímému připojení nebylo potřeba u senzoru zařizovat samostatný, opakovač a senzor tak může být, připojen na přímo. Z hardwarového hlediska by z důvodu dlouhého vedení bylo vhodné využít ESD ochrany, které ovšem v designu DPS bohužel chybí a bylo by je vhodné alespoň doplnit dodatečně.



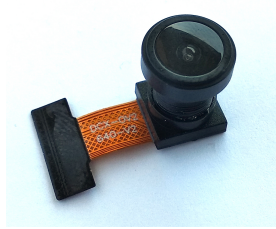
Obr. 3.7: Fotografie desky senzorů tlaku, vlhkosti a teploty



Obr. 3.8: Fotografie desky senzorů tlaku, vlhkosti a teploty (spodní část)

### 3.2.6 Kamera

Jeden z předmětů sběru environmentálních dat je aktuální stav oblohy, který zahrnuje různé druhy oblačnosti, například mraky s vysokou, střední nebo nízkou oblačností či zcela jasné oblohy. Dalším z předmětů zkoumání je stav výhledu do okolí, který může být ovlivněn přítomností mlhy nebo jiných meteorologických jevů, jako je hustý déšť nebo sněžení. Jako komponenta pro detekci těchto jevů byla zvolena kamera OV2640. Kamera byla zakoupena ve verzi obsahující čočku zajišťující snímání širokého zorného pole.



Obr. 3.9: Kamera OV2640

Napájení digitální vstupně-výstupní části (IOVDD) kamery je zajištěno 3,3 V. Analogová část kamery požaduje napájecí napětí o velikosti v rozsahu od 2,5 V do 3,0 V, pro splnění tohoto požadavku byl zvolen lineární stabilizátor s nízkým úbytkem napětí od firmy Torex, označený jako XC6504A281MR-G. Tím je dosaženo doporučení napětí o velikosti 2,8 V [24]. Pro snížení šumu v obraze z kamery byla do cesty vložena feritová perla, která zajistí odfiltrování vysokofrekvenčních složek. Samotné jádro kamery pracuje s provozním napětím o velikosti 1,2 V. Toto napětí je obdobně poskytnuto opět pomocí lineárního stabilizátoru.

Kombinace dvou externích MOSFET tranzistorů umožňuje odpojit napájecí napětí 3,3 V, které následně vypne oba stabilizátory. Díky tomu je tak možné kompletně odpojit kameru od napájení a snížit tak spotřebu zařízení, když není kamera potřeba.

Obrazový výstup z kamery je přenášen po paralelní desetibitové sběrnici, která je propojena s hlavním mikrokontrolérem. Šířka datové sběrnice (vodiče Y0-Y9) činí 10 bitů, což je dáno desetibitovým analogově-digitálním převodníkem uvnitř kamery a faktem, že lze přenášet obraz v bezkompresním formátu (surový RAW režim) [24]. Pro zajištění vertikální a horizontální synchronizace slouží signály VSYNC a HSYNC. Aktuální přenášené desetibitové slovo je čteno se sestupnou hranou pixelového hodinového signálu (PCLK).

Pro nastavení pracovního režimu nebo parametrů je kamera propojena pomocí I2C rozhraní ke hlavnímu mikrokontroléru.

### 3.2.7 Externí paměť pro snímky z kamery

Mikrokontrolér STM32H723 nedisponuje dostatečnou kapacitou paměti RAM pro uložení bezkompresních snímků z kamery v plném rozlišení. Pro tento účel byla vybrána paměť QSPI PSDRAM APS6404L. Kapacita této paměti dosahuje 8 MiB. Maximální rychlost lineárního zápisu činí 84 MHz [17]. Nejnáročnější okamžik na využití paměti může nastat za předpokladu volby rozlišení UXGA 1600x1200 pixelů. Jeden snímek tak zabírá přibližně 5,49 MiB.

## 3.3 Mechanické senzory

Pro účely měření jevů jako je rychlost a směr větru nebo míra srážek byly zvoleny náhradní díly k meteorologické stanici WH1080/WH1090. Senzory jsou plastové konstrukce, každý ze sensorů je vybaven kabelem, který je zakončen konektorem RJ12. Z tohoto důvodu byla mimo jiné hlavní deska vybavena právě těmito konektory. Vybrané mechanické senzory pro měření srážek, rychlosti a směru větru neobsahují žádnou aktivní elektroniku a skládají se tak z obvodů zahrnujících jazýčková relé a z magnetů.

### 3.3.1 Směr větru

Princip měření spočívá v průchodu vzduchu kolem směrovky, která ve směru proudění větru pootáčí magnetem. Kolem magnetu se nachází v pravidelných rozestupech  $22,5^\circ$  celkem osm jazýčkových magnetických relé společně s osmi rezistory. V jednom okamžiku může být sepnut jeden nebo dva jazýčkové mikrospínače v těsné blízkosti. Pro zjištění, které spínače jsou sepnuty, byl navržen napěťový dělič, kde napětí na výstupu po dekodování ve vyhledávací tabulce odpovídá směru úhlu větru, odkud vane [21].

Směr (°)	Odpor (kΩ)	Napětí (V)
0	33	1,65
22,5	6,57	0,55
45	8,2	0,66
67,5	891	3,18
90	1	0,10
112,5	688	3,15
135	2,2	0,21
157,5	1,41	0,14
180	3,9	0,35
202,5	3,14	0,29
225	16	1,08
247,5	14,12	0,99
270	120	2,59
292,5	42,12	1,85
315	64,9	2,19
337,5	21,88	1,32

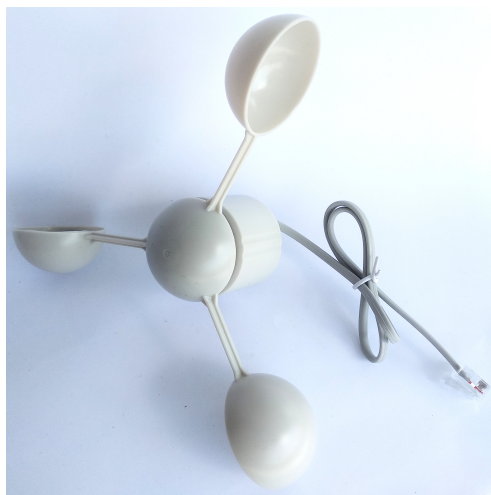
Tab. 3.1: Přepočítané napětí na směr větru [19]



Obr. 3.10: Fotografie senzoru směru větru

### 3.3.2 Rychlost větru

Měření rychlosti směru větru zajišťuje anemometr, který obsahuje jazýčkové relé a magnet. Otáčení magnetu má za následek pravidelné spínání relé. Zapojení na hlavní obslužné desce zahrnuje pull-up rezistor, díky tomu vzniklé napěťové impulzy jsou vyhodnocovány mikrokontrolérem v rámci přerušení. Jeden impulz relé odpovídá rychlosti 0,33 m/s [22].



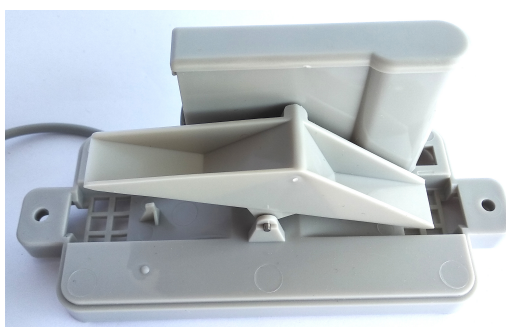
Obr. 3.11: Fotografie anemometru

### 3.3.3 Srážkoměr

Princip srážkoměru spočívá na sklápění samovyprazdňovacího výklopného sběrače srážkové vody, kde jedno překlopení odpovídá 0,2794 mm srážek vody [20]. Zapojení a princip vyhodnocení mikrokontrolérem je stejný jako v případě anemometru.



Obr. 3.12: Fotografie srážkoměru

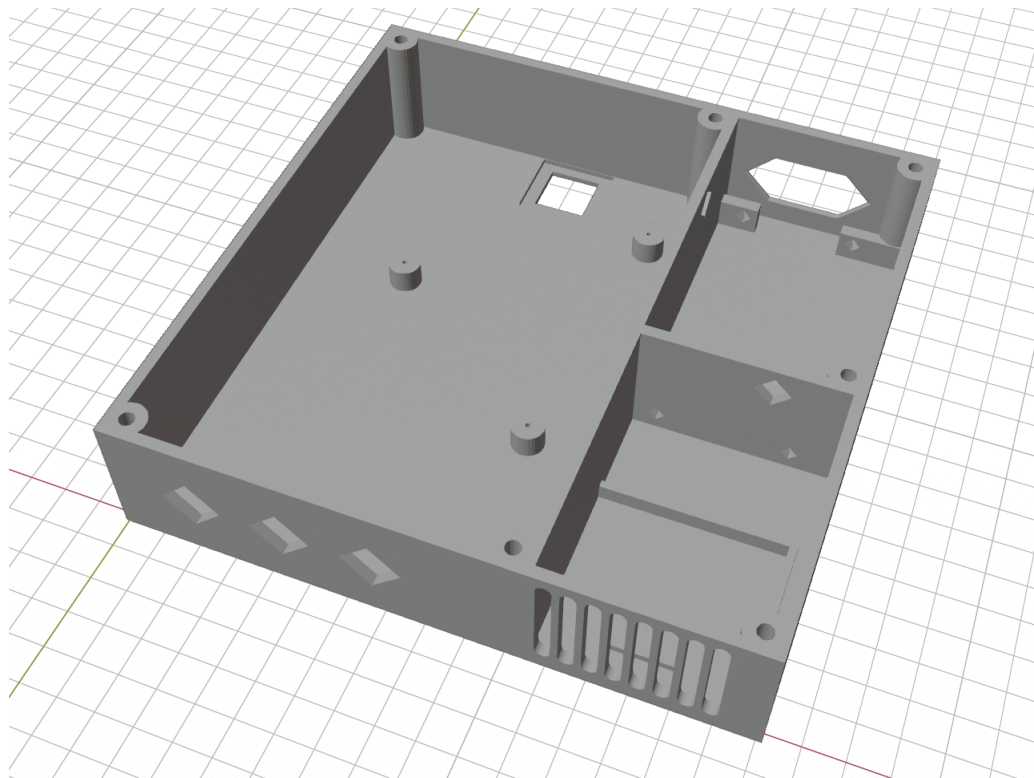


Obr. 3.13: Vnitřní část srážkoměru

## 3.4 Konstrukce krabice

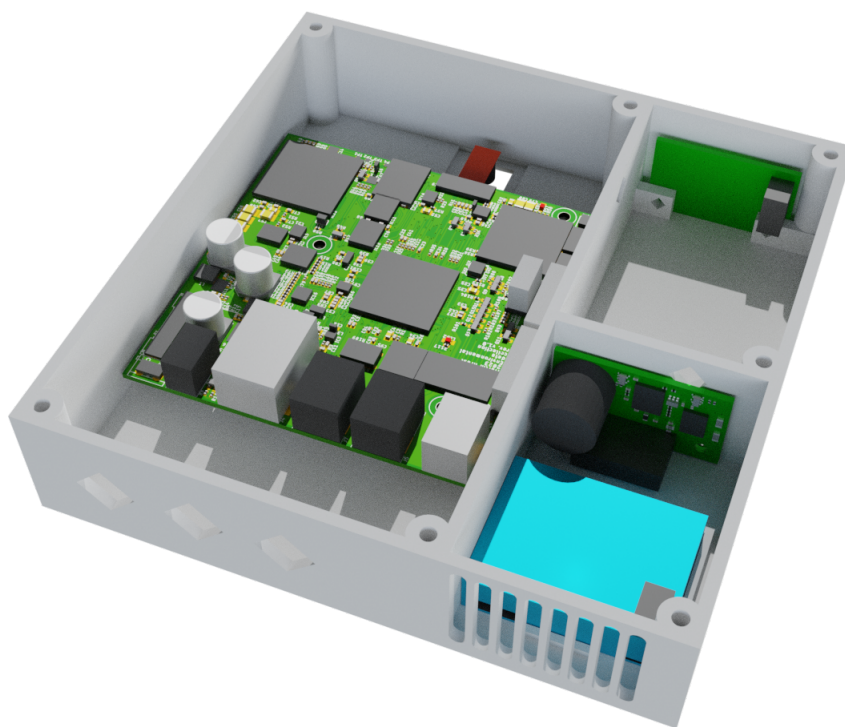
Jako hlavní konstrukční prvek obsahující základní desku, senzory plynů a světla byla zvolena krabice formou 3D tisku. Díky tomu bylo možné zajistit, aby daná krabice obsahovala potřebné konstrukční prvky pro uchycení všech součástí. Další výhodou byla možnost zmenšit vzdálenost mezi základní deskou a senzory, díky tomu jsou propojovací vodiče vedoucí choulostivé I2C sběrnice kratší. Senzory jsou od hlavní desky odděleny přepážkami, snahou bylo zajištění odolnosti proti vnikající vlhkosti a dešťové vodě.

Krabice byla vymodelována v programu Blender, který sice není zcela vhodným nástrojem pro modelování konstrukčních prvků, ale z důvodu dlouhodobých zkušeností práce s tímto programem v oblasti filmových efektů a modelování objektů do počítačových her byl přesto jasnou volbou. Krabice byla vymodelována ze základních 3D objektů. Pro usnadnění potřeb změn, jako je například tloušťka stěn, byly využity modifikátory, jako například operace boolean nebo solidify. Otvory ve stěnách byly provedeny ve tvaru čtverce, jenž byl otočen o 45 stupňů, což je úhel pod kterým většinou 3D tiskárny dokáží tisknout bez podpor. Náhled z prostředí programu Blender je na obrázku 3.14.



Obr. 3.14: Model spodní části krabice

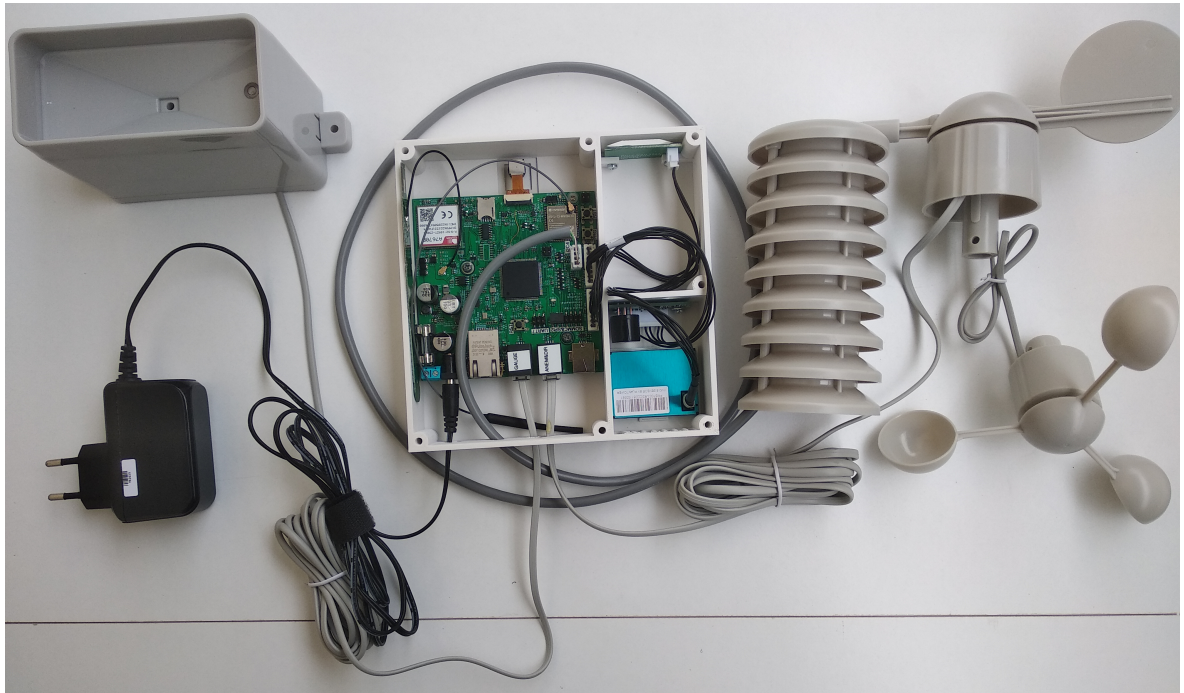
Pro lepší představu finálního provedení byl model doplněn o prachový senzor a taktéž doplněn o 3D model plošných spojů, jež byly vyexportovány programem Eagle. Modely byly následně doplněny o materiál a textury. Představu o finálním provedení tak bylo možné spatřit ve výsledném vyrenderovaném obrázku 3.15.



Obr. 3.15: 3D render spodní části krabice

Finální spodní část krabice byla vytištěna na 3D tiskárně Prusa MINI. Vybraným materiálem pro tisk se stal filament ASA bílé barvy, který dosahuje větší odolnosti proti UV záření [36]. Tisk se neobešel bez problémů, největší problém tvořilo odlepování okrajů krabice od plochy tiskárny, jež mělo za následek částečné prohnutí spodní části. Během tisku taktéž došlo k částečnému zborcení jedné příčky větracího otvoru pro senzory plynů.

Umístění plošných spojů se podařilo pomocí šroubků M3, hlavní plošný spoj byl upevněn trojicí vrutů, viz obrázek 3.16.



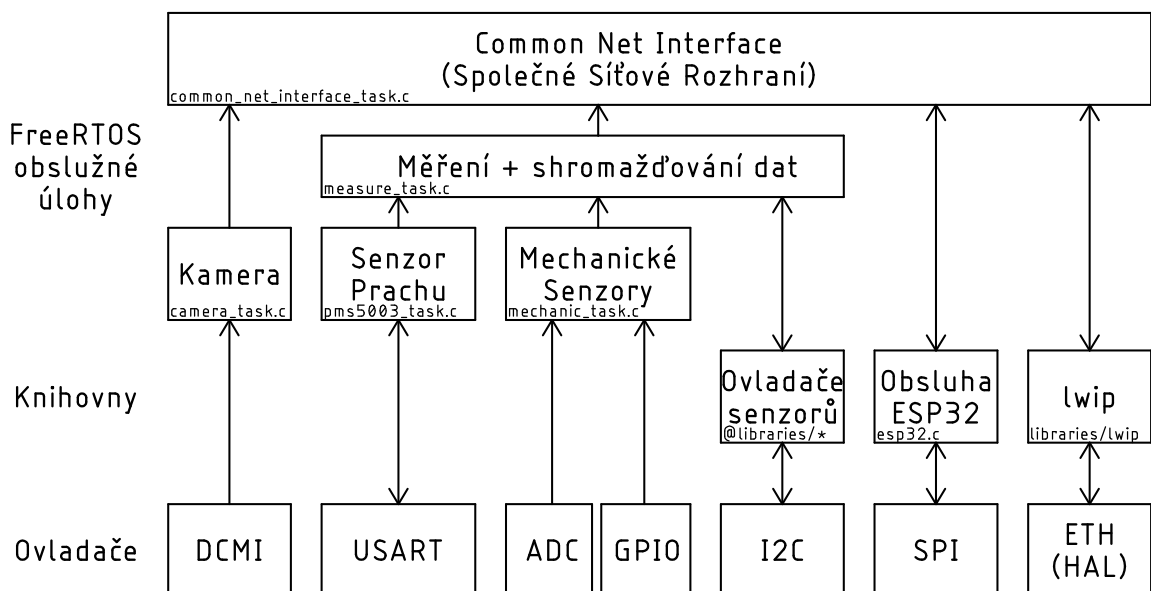
Obr. 3.16: Fotografie sestavené stanice

Vzhledem k vadám během tisku a potřebě zvětšení otvorů pro světelné senzory nebylo přistoupeno k tisku víka.

## 4 Firmware

Jako programovací jazyk byl zvolen C pro svou jednoduchost a vysokou podporu v existujícím ekosystému knihoven pro embedded zařízení. Firmware byl vyvinut prostředím CubeIDE bez použití autogenerátoru zdrojového kódu z prostředí CubeMX. Firmwarovou část hlavního mikrokontroléru STM32H723 lze rozdělit do několika částí. Nejnižší úroveň je tvořena vlastními ovladači periférií mikrokontroléru. Následující důležitou částí firmwaru je tvořena knihovnou FreeRTOS. Firmware obsahuje několik souběžných úloh systému reálného času, které zajišťují volání knihoven pro komunikaci se senzory, shromažďování dat a zajištění odeslání na vzdálený server.

Firmware pro WiFi modul obsahující mikrokontrolér ESP32 byl taktéž vytvořen v programovacím jazyce C a byl využit framework ESP-IDF.



Obr. 4.1: Zjednodušené blokové schéma firmwaru

### 4.1 Ovladače STM32

Pro účel efektivní obsluhy a zajištění reentrantnosti funkcí v ovladačích pro STM32 mikrokontrolér místo populárních ovladačů HAL byla zvolena tvorba ovladačů vlastní cestou. Ovladače využívají pouze knihovny CMSIS, které disponují preprocesorovými makry, které umožňují přímý přístup do řídicích registrů mikrokontroléru. Během tvorby bylo počítáno s nasazením do prostředí s real-time systémem, a proto většina čekacích smyček obsahuje volání globální funkce "os\_yield()", která zajistí

lepší časové závislosti mezi jednotlivými souběžnými úlohami real-time systému. Implementace této globální funkce není podmínkou, a ovladače tak lze využít i v jiných aplikacích bez RTOS. Seznam vytvořených ovladačů shrnuje tabulka 4.1

Zdrojový soubor	Význam ovladače (V)
ystick.c	Systémový časovač
adc.c	Analogově-digitální převodník
dcmi.c	Rozhraní pro digitální kameru
driver_os.c	Pomocné funkce pro RTOS systémy
gpio.c	Obsluha vstupně-výstupních pinů
i2c.c	Obsluha I2C sériových sběrnic
rcc.c	Nastavení hodin periférií
spi.c	Obsluha SPI sériových sběrnic (master)
stmflash_storage.c	Ukládání nastavení do interní FLASH
tim.c	Časovače
usart.c	Obsluha synchronních/asynchronních sériových sběrnic

Tab. 4.1: Seznam ovladačů

## 4.2 Obsluha čipových senzorů

Komunikace s externími senzory a moduly byla zajištěna nejen vlastními knihovnamí, ale také sadou volně dostupných open-source knihoven. Některé z těchto knihoven se neobešly bez úprav, především z důvodu aplikace pro jiné prostředí (linux, arduino apod.). Například obsluha kamery OV2640 vznikla odlehčením existujícího projektu [44] o knihovny HAL a nahrazení vlastními zjednodušenými ovladači. Knihovna pro obsluhu senzoru UV indexu Si145 byla původně napsána v jazyce C++ pro prostředí arduino [43], byla tedy přepsána do jazyka C a upravena tak, že stačilo implementovat pouze nezbytné funkce pro I2C komunikaci.

## 4.3 Systém reálného času FreeRTOS

Operační systém reálného času FreeRTOS, disponuje možností vytvářet souběžné úlohy, mutexy, datové fronty apodobně [34]. Mutexy zajišťují zamezení kolizí ve funkcích, jež sdílejí globální proměnné nebo přístup do periférie. Fronty vykonávají úlohu vyrovnávací paměti mezi úlohami, které tak nejsou blokovány pomalými procesy. Díky tomu je možné například provádět výpis do standardního výstupu, aniž by bylo nutné čekat na skutečné dokončení výpisu po pomalé sériové lince. Příjem

dat ze senzorů je rovněž předáván pomocí těchto front dalším souběžným úlohám, díky tomu tak může probíhat měření a zároveň odesílání předchozího měření.

## 4.4 Komunikační část

Odesílání na internet zajišťuje modul nazvaný Common Net Interface (dále jen CNI). Způsob, jakým byl tento modul naprogramován, zahrnuje pole struktur "struct cni\_interface", kde každý prvek pole obsahuje ukazatele na sadu základních funkcí: open, write, close, mimo jiné obsahuje i ukazatele na název zařízení a místo v paměti, které rozhoduje, zda má být dané síťové zařízení používáno. Funkce "open" zajišťuje sestavení TCP socketu na cílenou destinaci specifikovanou pomocí URL nebo IP adresy a číslo portu. V případě úspěšného sestavení je možné periodicky odesílat následně data pomocí funkcí "write". Jakmile jsou odeslána všechna potřebná data, je nutné zavolat funkci "close" pro ukončení TCP spojení.

Nad touto abstrakcí se nachází blokující funkce, jejímž úkolem je odeslat HTTP POST data na server, která jsou mimo jiné označena časovou značkou a názvem použitého síťového zařízení. Tato funkce funguje tak, že vytvoří HTTP post hlavičku a následně projde pole struktur síťových zařízení, a zajistí tak odeslání dat všemi povolenými zařízeními. Na serveru je tak nutné například identifikovat duplicitní HTTP post požadavky.

Poslední částí tohoto CNI modulu je neblokující funkce, která zajišťuje stejný proces jako funkce blokující, nad kterou je implementována. Neblokující vlastnost je dosažena pomocí "FreeRTOS message queue". Pro potřeby odesílání většího množství dat (například JPEG obrázků) byla tedy využita blokující funkce, jelikož zde zpoždění nehraje takovou roli.

Je nutné podotknout, že vstupem obou zmíněných funkcí je nejen URL/IP adresa a port, ale taktéž data, která jsou označena na začátku časovou značkou. Značka je provedena pomocí 32 bitového čísla, samotná časová značka se neodesílá přímo, ale jakmile je úspěšně navázáno TCP spojení, je vypočítán časový rozdíl, který je následně zahrnut v hlavičce HTTP post požadavku. Díky tomu je možné na straně serveru přibližně vypočítat skutečnou dobu vytvoření zprávy bez potřeby RTC času na straně mikrokontroléru. Samotná časová značka se v datové části HTTP POST požadavku již neodesílá.

## 4.5 Ethernet

Implementace ethernetu byla jednoduše vytvořena na základě dostupných ukázkových kódů od firmy ST-Microelectronics [39]. Tyto zdrojové kódy jsou jedinou částí,

kde byly využity (jen nezbytné) knihovny HAL pro práci s periférií ethernetu uvnitř mikrokontroléru a externího transceiveru LAN8720A [23].

Nad touto nízkourovňovou se nachází populární knihovna LwIP [35], která obsahuje implementaci TCP/IP protokolu. Mezi použité funkce v této práci lze zařadit především funkce pro vytvoření síťových TCP socketů, DHCP klient a DNS resolver. O pevné IP adrese se v této práci pro jednoduchost neuvažovalo a DHCP klient je tak implicitně povolen, není tak nutné nastavovat parametry typu: vlastní IP adresa, maska, výchozí brána. DNS resolver je nezbytný pro získání IP adresy na základě URL adresy, tento postup byl zvolen hlavně z důvodu, když by bylo potřeba přemístit server pod jinou IP, není tak nutné pokaždé v zařízení měnit IP adresu cílového serveru. Výchozí IP adresa DNS resolveru je automaticky určena pomocí DHCP.

## 4.6 ESP32

Pro potřebu odesílání dat bezdrátovou technologií byl zvolen modul obsahující mikrokontrolér ESP32 s integrovanou WiFi periférií [18]. Modul byl vybrán na základě dlouhodobých zkušeností práce s ním a taktéž pro možnost naprogramování vlastního obslužného firmwaru pro ESP32 mikrokontrolér. Tento firmware tak zajišťuje připojení do bezdrátové sítě, sestavování síťových spojení a zajištění komunikace s hlavním mikrokontrolérem STM32. Firmware byl naprogramován v jazyce C v prostředí ESP-IDF [40] a využívá podobně jako ESP32 LwIP stack.

### 4.6.1 Firmware

Firmware pro ESP32 mikrokontrolér lze rozdělit celkem na čtyři FreeRTOS úlohy. První nejjednodušší úloha bliká s uživatelskou LED, která tak indikuje aktivitu systému.

Druhá úloha zajišťuje připojení k bezdrátové síti na základě SSID a hesla a odpojení od ní. Jakmile je přijat požadavek na připojení k síti, tak se ESP32 modul pokusí přihlásit, maximální počet pokusů byl zvolen na 10. Úloha následně za pomoci status flagů informuje o úspěšnosti požadavku.

Mezi další úlohu lze zařadit stavový automat, jenž zajišťuje vytváření TCP socketu a následnou komunikaci. Pro počáteční účely byla implementována pouze část odesílání dat po TCP spojení. Úloha nejprve čeká na požadavek sestavení TCP spojení, jakmile je požadavek přijat, je nejprve provedeno zjištění cílové IP adresy na základě URL za pomoci DNS klienta. Maximální počet pokusů zjištění byl zvolen na 10, mezi každý pokus byla zařazena pauza o délce 5 sekund. V případě úspěchu je dalším krokem pokus o navázání spojení na základě IP adresy a portu. Pokud je sestavení úspěšné, je nastaven status flag úspěchu a automat čeká na data, která

se mají odeslat. Po nastavení kontrolního flagu automat provede odeslání dat a následně se nastaví flag oznamující výsledek operace. Tento proces odesílání se opakuje, dokud nejsou všechna data úspěšně odeslána.

## 4.6.2 Komunikační protokol po SPI

Komunikace s ESP32 modulem probíhá na základě registrového přístupu. Tento přístup je implementován formou přístupu do vyhrazené části RAM paměti v ESP32, která je sdílena s hlavním mikrokontrolérem. Seznam registrů 4.1 se nachází ve zdrojovém hlavičkovém souboru, který je sdílen mezi firmwarovými projektem pro ESP32 a STM32 mikrokontrolér. Přístup do těchto registrů může nabývat formy čtení nebo zápisu.

Této vlastnosti bylo dosaženo tak, že před datovou částí SPI rámce předchází 8 bitová informace o procesu.

Čtení je indikováno na začátku rámce hodnotou 1, následně následuje 16 bitová adresa registru. V případě zápisu dále následují data, která jsou přesunuta do registrů ve vyhrazené části. Délka datové části je vypočítána na základě délky celého rámce. Maximální délka rámce činí 64 bajtů, což je dáno maximální délkou možného transferu DMA periferie ESP32 [41].

Zápis probíhá formou dvou rámců. První zahájí přípravu čtení, druhý rámeček již obsahuje pouze vyčtená data. Zápis je indikován na začátku rámce hodnotou 2, následuje 16 bitová adresa registru. Na rozdíl od čtení následně následuje 16 bitová hodnota, která indikuje, kolik bajtů bude zapotřebí přenést. Poté je rámeček ukončen, následně je nezbytné vyčkat, než stavový automat tento požadavek zpracuje. Tato hodnota byla experimentálně zjištěna přibližně na 5 milisekund. Následuje rámeček jehož délka je shodná s požadovaným množstvím potřebných bajtů k vyčtení. Odesílaná data z masteru jsou ignorována.

```

1 struct __attribute__((packed, aligned(4)))
2 wifi_over_spi_registers {
3     // Teto registr plní dvojí funkci. Během zápisu nabývá funkce
4     // registru "control", a slouží tak k zahajování požadavků. Během č
5     // tení registr nabývá funkce "status" pro možnost vyčtení aktuální
6     // ch status flagů.
7     uint8_t control_status;
8     // Registry pro uložení textového řetězce přihlašovacích údajů
9     // cílené WiFi. Konec řetězce musí být terminován nulovým znakem. Z
10    // bezpečnostních důvodů byla do systému přidána ochrana ve formě
11    // implicitního terminování posledního bajtu.
12    uint8_t wifi_ssid[32];
13    uint8_t wifi_password[64];
14    // Cílová doménová adresa serveru, ke kterému má modul navázat
15    // TCP spojení.
16    uint8_t tcp_domain[128];
17    // Cílový port serveru, ke kterému má modul navázat TCP spojení
18    .
19    uint8_t tcp_port[2];
20    // Počet bajtů, které mají být odeslány po TCP spojení.
21    uint8_t tcp_buffer_tx_len[2];
22    // Buffer pro data, které mají být odeslána po TCP spojení
23    uint8_t tcp_buffer_tx[ESP32_REGISTER_MAX_SIZE];
24 };

```

Výpis 4.1: Struktura definující registrové rozhraní

## 4.7 GSM/LTE

Implementace GSM/LTE modulu byla z časových a prozatím nadbytečných důvodů po firmwarové stránce vynechána. Postup by však byl obdobný jako u ESP32 modulu, pouze s rozdílem využití již existujícího komunikačního protokolu pomocí AT příkazů. Taktéž by bylo nutné pouze implementovat inicializaci, deinicializaci a základní funkce pro sestavení TCP spojení (open, write, close) a funkce zaregistrovat do CNI. Modul by tak byl zaregistrován do stávajícího ekosystému a odesílání naměřených dat včetně obrázků z kamery by mělo být zajištěno.

## 4.8 Storage

Data typu URL, port, kalibrační hodnoty jsou uložena v paměti FLASH mikrokontroléru, která jsou možno je měnit za běhu programu. Tento způsob byl zvolen z důvodu, že toto nastavení se provádí pouze jednou v prvopočátečním nastavení zařízení. Nevýhodou je delší doba zápisu a nemožnost spouštět kód z této interní

paměti, naopak výhodou bylo snížení komplexity hardwaru díky eliminaci další externí paměti. Bylo uvažováno, že tato data budou měněna po USB-CDC rozhraní, které by nabídlo přehledné terminálové textové rozhraní.

## 5 Software

Pro účel potřeby kdykoliv zobrazit naměřená data bylo zvoleno řešení pomocí vzdáleného serveru. Díky tomu bylo možné zajistit, aby si uživatel mohl zobrazit naměřená data ve webovém prohlížeči. Vzhledem k tomu, že se uživatel připojuje k serveru a nikoliv ke stanici, bylo taktéž zajištěno, že nedojde k přetížení hlavního mikrokontroléru z důvodu velkého množství potenciálních HTTP požadavků na získání webových stránek. Další výhodou byla flexibilita, kde úprava softwarové části na straně serveru byla mnohem časově jednodušší oproti úpravám firmwaru mikrokontroléru. Nespornou výhodou taktéž bylo možné využití moderních knihoven, které vyžadují běh plnohodnotného operačního systému (GNU/Linux).

### 5.1 Webový server

Webové rozhraní bylo vytvořeno v programovacím jazyce Python 3 a byl využit webový framework Flask. Toto řešení sice nebylo ideální z hlediska výkonu, ale vzhledem k předpokladu malého množství HTTP požadavků v jednu chvíli bylo zvoleno jako dostačující. Naopak velkou výhodou tohoto frameworku byla snadná možnost implementace, pochopení dokumentace a dostatek ukázkových kódů.

Konfigurace tohoto serveru byla částečně přesunuta do souboru "config.json".

V konfiguraci serveru se nachází objekt "flask", který obsahuje dva parametry. Parametr "host" určuje IP adresu, na které server naslouchá a je nastaven na hodnotu "0.0.0.0". Tato hodnota značí, že server bude naslouchat na všech dostupných síťových rozhraních.

Druhým parametrem je "port", který určuje číslo portu, na kterém server očekává příchozí požadavky. V tomto případě je port nastaven na hodnotu 3002.

```
1 ...
2 "flask": {
3   "host": "0.0.0.0",
4   "port": 3002
5 }, ...
```

Výpis 5.1: Nastavení webového serveru Flask

### 5.2 SQLite databáze

Pro uchování dat a rychlou možnost získání naměřených průběhu byl zvolen databázový systém SQLite. Tento databázový systém umožňuje možnost filtrování na základě různých kritérií, jako jsou datum, čas nebo měřené rozsahy. Samotná databáze

zahrnuje řadu tabulek, které obsahují průběh měřené veličiny v čase. Každá tabulka v databázi reprezentuje jednu měřenou veličinu, která je sledována v průběhu času. Názvy tabulek jsou odvozeny z názvů senzorů a měřených veličin. Tyto názvy slouží jako unikátní kódová označení v systému. Použití těchto unikátních kódů pomáhá zabránit neoprávněnému vstupu a potenciálním útokům, jako je například SQL injection.

Nastavení databáze je součástí souborů "config.json". Název databázového souboru je definován parametrem "database". Limit "query\_limit" je parametr, který omezuje množství dat, které může být vráceno v jedné odpovědi ze serveru, díky tomu je zamezeno přetížení serveru/klienta přenosem velkého objemu dat.

Dodatečnou informací jsou proměnné "title", "yaxis\_title", "unit" jenž jsou využity na straně klienta během vykreslování grafů.

```
1 ...
2 "sqlite": {
3     "database": "edc.db",
4     "query_limit": 5000,
5     "allowed_tables": [
6         {
7             "table_name": "wsen2511020213301_temperature",
8             "title": "Temperature (WSEN 2511020213301)",
9             "yaxis_title": "Temperature [°C]",
10            "unit": "°C",
11            "maximum": 60,
12            "minimum": -60
13        },
14        ...
15    ]
16 }
17 }
```

Výpis 5.2: Nastavení databáze SQLite

Vzhledem k tomu, že tento typ databázového systému není vhodný pro ukládání velkého množství binárních dat, jsou obrázky z kamery ukládány přímo do složky s předem definovaným názvem a jednotlivé snímky z kamery jsou pojmenovány unixovou časovou značkou, kdy byl snímek pořízen.

## 5.3 Formát příjmu HTTP POST zpráv z meteostanice

Způsob příjmu dat zpráv z meteostanice byl navržen tak, aby bylo možné ho implementovat vlastní cestou pomocí komunikačního protokolu TCP a byl tak zcela oddělen od procesu webového serveru. Původně tak byl v plánu pouze krátký textový řetězec, jenž zahrnoval hlavičku a poté tělo, které obsahovalo kódové označení měřených veličin a naměřené hodnoty. Toto řešení však jevílo značné problémy, které byly způsobeny na straně serveru v knihovně sockets. Problém spočíval ve špatném nakládáním s ukončením TCP spojení. Výsledkem tak bylo nespolehlivé řešení, které mělo za následek trvalý výpadek komunikace a nemožnost obnovy komunikace v náhodných intervalech.

Tento problém byl vyřešen tak, že již hotová implementace byla přeportována do webového Flask serveru, který síťové sockety má zřejmě implementovány mnohem robustněji. Výsledkem tak byla zpětně kompatibilní komunikace, která byla pouze na začátku doplněná o HTTP-POST hlavičku. Tělo tohoto požadavku tak tvoří původní komunikační textový řetězec.

Aby bylo možné snadno zjistit čas, kdy bylo provedeno měření, byla HTTP-POST hlavička doplněna o časovou informaci v sekundách, jak staré jsou informace v těle požadavku. Tento časový rozdíl se odvíjí od času, kdy bylo provedeno měření, až po čas, kdy bylo úspěšně sestaveno TCP spojení k serveru. Díky tomu byla zajištěna možnost zpětně vypočítat datum a čas, kdy bylo provedeno měření.

Vzhledem k možnosti odesílání dat na straně meteorologické stanice z vícero modulů jež umožňují přístup k internetu, byla taktéž hlavička doplněna o informaci, která může být použita pro identifikaci použitého síťového rozhraní.

### 5.3.1 Příjem naměřených dat

Příjem naměřených dat probíhá formou textového řetězce. Úvod vždy začíná řetězcem "EDCASCII:", následuje sekvence hodnot ve formátu "<název>=<hodnota>" oddělená čárkami.

```
1 POST /upload HTTP/1.1
2 Content-Length: 37
3 X-Message-Age: 15
4 X-Originating-Device: WiFi-ESP32
5
6 ADCASCII:senzor1=45.142,senzor2=-3.21
```

Výpis 5.3: Ukázka HTTP POST požadavku (data ze senzorů)

### 5.3.2 Příjem binárních dat (JPEG obrázek z kamery)

Příjem naměřených dat probíhá formou binární struktury.

```
1 POST /upload HTTP/1.1
2 Content-Length: 37
3 X-Message-Age: 15
4 X-Originating-Device: WiFi-ESP32
5
6 EDCBINARY:<zde pokračuje požadavek binárními daty>
```

Výpis 5.4: Ukázka HTTP POST požadavku (data z kamery)

Binární data odpovídají packované struktuře (litte endian).

```
1 static struct {
2     uint32_t timestamp;
3     char edcbinary[10];
4     uint16_t type;
5     uint32_t size;
6     uint32_t checksum;
7     uint32_t pixels[CAMERA_IMAGE_BUFFER / sizeof(uint32_t)];
8 } binary_message __attribute__((aligned(4), section(".ram_d1")));
```

Výpis 5.5: Packovaná struktura

## 5.4 Odesílání dat třetím stranám

Další z možností zpracování dat je odesílání třetím stranám. V této práci byla vybrána služba Wunderground, která poskytuje informace o počasí z celého světa. Spojení je zajištěno pomocí knihovny "requests". K odesílání dat dochází pomocí API, kdy se data získaná z měřicích zařízení převádějí na formát požadovaný touto službou a následně jsou odeslána. Konfigurace přihlášení a způsob překládání dat byla přidána do konfiguračního souboru "config.json".

V sekci "wunderground" jsou definovány různé parametry: "station\_id" (identifikátor stanice) a "key\_password" (heslo k API klíči), které jsou potřebné pro autentizaci. Prvkem "bindings" definuje vazbu mezi zdrojovými daty (source) a cílovými daty (destination). V tomto případě je zdrojem definováno čidlo teploty "sht40\_temperature". Následně je určeno, kam mají být tyto získané teplotní informace odeslány, což je v tomto případě "temp\_f". Cíl "temp\_f" představuje proměnnou, do které se převede teplota ze získaného zdroje. Přepoččet definuje nepovinný vzorec "formula", který specifikuje převod teploty ze stupňů Celsia na stupně Fahrenheita. Vzorec je definován jako "{ } \* 9.0 / 5.0 + 32.0", kde hodnota vstupní hodnota je definována složenými závorkami ". Podobným způsobem lze propojit libovolné senzory.

```

1 ...
2 "wunderground": {
3   "station_id": "IBRN0512",
4   "key_password": "abcd123",
5   "bindings": [
6     {
7       "source": "wsen2511020213301_temperature",
8       "destination": "temp_f",
9       "formula": "{} * 9.0 / 5.0 + 32.0"
10    }
11  ]
12
13 }...
```

Výpis 5.6: Nastavení odesílání třetím stranám

## 5.5 Webové rozhraní

Pro účely zobrazení dat na straně uživatele byla vytvořena interaktivní webová stránka. Tato webová stránka zobrazuje aktuální snímek z kamery a pod ním řadu interaktivních grafů.

Webová stránka funguje tak, že se nejprve stáhne nezbytný HTML kód včetně javascriptového kódu, který je po stažení ihned spuštěn.

Dalším krokem je odeslání HTTP GET požadavek na server s cílem získat seznam dostupných tabulek z databáze včetně dalších parametrů, jako jsou jednotky nebo názvy os. Tyto parametry se nachází na endpointu `/tables` a jsou ve formátu JSON.

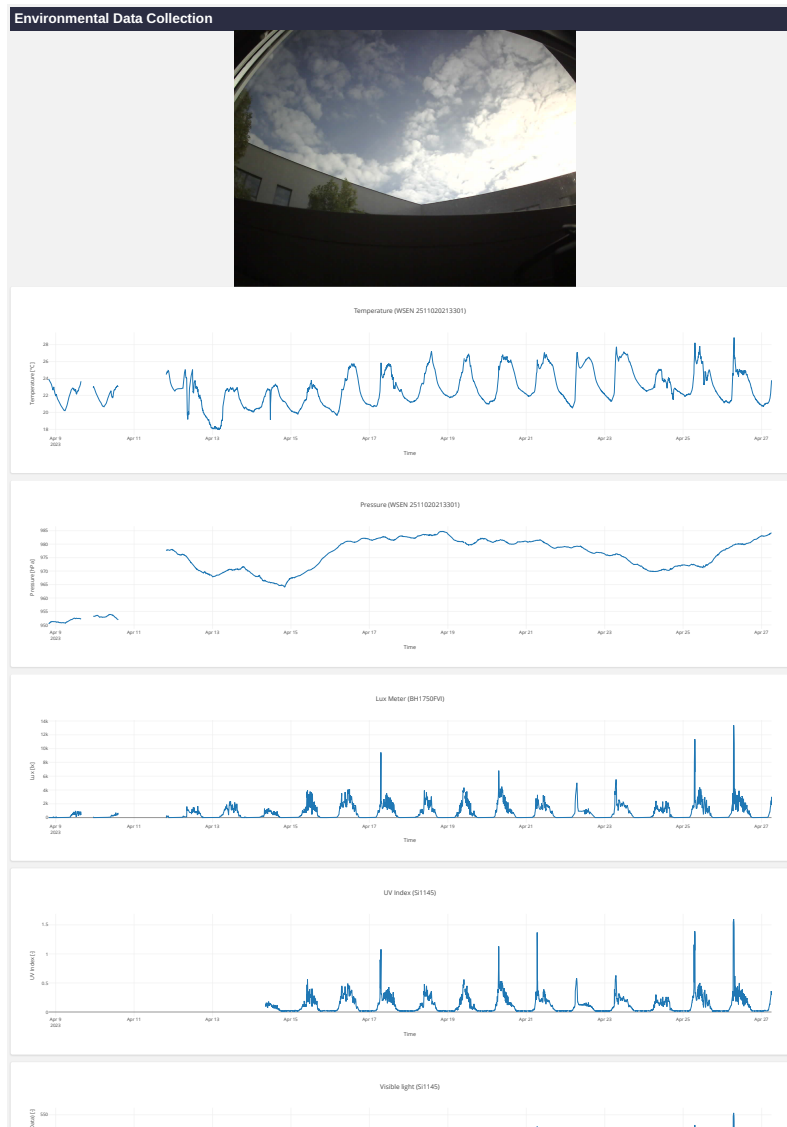
Na základě těchto získaných dat jsou poté paralelně získány dalšími HTTP požadavky samotná data o průběhu dané veličiny v čase. Tato data jsou umístěna v endpointu `/data`, přičemž parametry jsou název tabulky a časový rozsah. To tady jsou filtrována tak, aby se do grafu zahrnovaly pouze sousední body, které mají rozdíl časů menší než stanovený limit. Hodnoty, které nevyhovují podmínkám, jsou nahrazeny hodnotou null a nejsou tak zobrazeny. Pomocí knihovny Plotly.js se vytváří a zobrazuje graf pro danou tabulku.

```
1 http://pony.zapto.org:3002/tables
```

Výpis 5.7: Klientský HTTP-POST požadavek

```
1 http://pony.zapto.org:3002/data?table_name=atm_pm2_5_ug_m3&
2 start_time=0&end_time=9999999999
```

Výpis 5.8: Klientský HTTP-POST požadavek



Obr. 5.1: Uživatelská webová stránka

# Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a sestavit systém, který je schopen monitorovat a sbírat vybraná environmentální data. Byla navržena a sestavena čtveřice plošných spojů, sestávající z hlavní obslužné desky a tří malých externích desek zahrnujících vícero vybraných senzorů. Hlavní obslužná deska zahrnující mikrokontrolér STM32 byla oživena. Pro mikrokontrolér byl vytvořen firmware, jehož úkolem je zajištění komunikace s externími senzory, které poskytují měřené environmentální děje. Byly oživeny externí senzory na samostatných externích deskách plošných spojů, zejména tlaku kombinující měření teploty, prachových částic, ambientního osvětlení, UV indexu, přízemního ozonu, oxidů dusíku, oxidu uhelnatého. Pro účely snímání oblohy byla vybrána kamera OV2640, která byla rovněž oživena a zprovozněna. Během vývoje firmwaru se ukázalo, že snímky z kamery v komprimovaném formátu JPEG dosahují relativně malé velikosti (do 128 KiB) a vejdu se do interní paměti mikrokontroléru. Z tohoto důvodu bylo oživení dodatečné externí paměti pro současné potřeby upuštěno. Byl ověřen správný chod mechanických senzorů zahrnující měření rychlosti větru a měření srážek.

Pro tyto externí senzory byly vyhrazeny konektory, které poskytují potřebná provozní napětí a komunikační linky. Na základě přihlednutí ke spotřebě jednotlivých senzorů byly jednotlivé konektory doplněny o možnost odpojení napájení, čímž dojde k vyřazení senzoru z provozu, a lze tak snížit spotřebu. Podobným způsobem lze taktéž vypínat jiné části obvodů, jako například moduly zjišťující připojení k internetu.

Internetové připojení bylo zajištěno a oživeno pomocí Ethernetového a WiFi rozhraní. Připojení k WiFi zajišťuje mikrokontrolér ESP32, pro nějž byl vytvořen firmware, který implementuje základní nastavení a provoz potřebných částí k připojení na internet. Pro účely komunikace s hlavním mikrokontrolérem byl vytvořen vlastní komunikační protokol po sériovém rozhraní, jež umožňuje s ESP32 komunikovat pomocí registrového rozhraní. Internetové spojení pomocí LTE modulu nebylo využito, do firmwaru však byl přidán modul nazvaný "Common Net Interace" jenž zajišťuje snadnou možnost přidání libovolného množství síťových rozhraní. Odesílání dat ze stanice probíhá pomocí vlastních datových struktur/řetězců, které původně byly odesílány po TCP spojení na separátní síťový port. Vzhledem k problémové knihovně "sockets", která je součástí knihoven jazyka python, bylo od této metody upuštěno a tyto řetězce byly doplněny o HTTP POST hlavičku. Tyto řetězce jsou tak zpracovávány přímo webovým serverem, který sice taktéž pracuje na TCP spojení, avšak tato knihovna se ukázala jako více odolná vůči výpadkům spojení.

Pro účely zobrazení naměřených dat byl naprogramován webový server v jazyce Python s využitím frameworku Flask. Tento webový server byl umístěn na vlastní

server s veřejnou IP adresou. Byla vytvořena hlavní webová stránka ve značkovacím jazyce HTML společně s nezbytným kódem v javascriptu, která zobrazuje aktuální snímek z kamery a řady grafů, které reprezentují vývoj environmentálních dějů v čase. Samotná přijatá data jsou archivována pomocí databázového systému SQLite. Celkově byl skript webového serveru naprogramován tak, aby bylo možné většinu parametrů konfigurovat v jednom JSON souboru. Díky tomu je možné jednoduše přidat nové měřené veličiny včetně názvu, rozměru, jednotky, maximálních rozsahů měření a doporučených popisků, os, grafů.

Webový server též zajišťuje přeposílání přijatých dat předpovědní síti Weather Underground, kde odesílání probíhá pomocí jednoduchého API pomocí HTTP požadavku. Vzhledem k odlišným názvům proměnných systému vytvořeného pro sběr environmentálních dat a názvům proměnných sítě Weather Underground, byla vytvořena konfigurační struktura, která obsahuje vztahy mezi názvy.

Sestavený systém stanice pro sběr vybraných environmentálních dat byl testován přibližně po dobu 18 dní v laboratorních podmínkách s výhledem na oblohu. Během této doby byly provedeny minoritní úpravy firmwaru, především opravení chybného chování senzoru UV indexu. Vzhledem k absenci povětrnostních podmínek v laboratoři bylo dlouhodobé testování mechanických senzorů ponecháno do venkovního prostředí.

Nejvíce náročnou částí této práce se ukázala konstrukční stránka. Vzhledem k množství vybraných senzorů a k potřebám pracovního prostředí, byla navržena krabice vlastní konstrukce. Návrh byl proveden v programu Blender a následně byla spodní část krabice vytištěna UV odolným filamentem na 3D tiskárně. Výsledkem je tak tříkomorová konstrukce, jež umožňuje oddělit od sebe jednotlivé desky plošných spojů. Tisk se však neobešel bez potíží, došlo k částečnému prohnutí spodní části krabice, i tak se umístění plošných spojů podařilo. Celkově lze říci, že tato část práce vyžaduje mnohem větší pochopení problematiky návrhu vodotěsných konstrukcí a celkový přehled o materiálech a dostupných existujících řešeních, aby bylo možné plně realizovat provoz této stanice ve venkovních podmínkách.

# Literatura

- [1] *Ústav počítačové a řídicí techniky: měřicí a řídicí technika: měření teploty* [online]. Praha, 2005 [cit. 2022-12-30].  
Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k43-tepl.htm>
- [2] *Přehled principů el. měření teploty: 1. díl* [online]. Praha 2014 [cit. 2022-12-30].  
Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil>
- [3] LOUČKA, Tomáš. *Měření teploty* [online]. [cit. 2022-12-30].  
Dostupné z: <https://moodle.fzp.ujep.cz/mod/resource/view.php?id=353>
- [4] *Dilatační teploměry* [online]. Ústí nad Labem [cit. 2022-12-30].  
Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/11370539/>
- [5] *Ústav počítačové a řídicí techniky: Měření teploty* [online]. Praha [cit. 2022-12-30].  
Dostupné z: [http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/predn/txt-Mgr/FTOP08\\_Teplota.pdf](http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/predn/txt-Mgr/FTOP08_Teplota.pdf)
- [6] *Integrované senzory teploty se širokým rozsahem* [online]. Praha 2010 [cit. 2022-12-30].  
Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/integrované-senzory-teploty-s-sirokym-rozsahem>
- [7] *Types of Temperature Sensors and Their working Principles* [online]. Haidarábád [cit. 2022-12-30].  
Dostupné z: <https://www.elprocus.com/temperature-sensors-types-working-operation/>
- [8] *Štít proti slunečnímu záření jako nutnost* [online]. Brno 2020 [cit. 2022-12-30].  
Dostupné z: <https://www.meteoshop.cz/blog/stit-proti-slunecnimu-z-areni-jako-nutnost-co-jeste-ukazal-test/119/>
- [9] *Radiační štít? co to je, k čemu slouží, jak ho vytisknout nebo vyrobit* [online]. 2020 [cit. 2022-12-30].  
Dostupné z: <https://chiptron.cz/news.php?readmore=1006>
- [10] JANÁČEK, A. *Radiační štít pro snímač venkovní teploty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojíního inženýrství, 2009. 31 s., 2 přílohy. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

- [11] *DS18B20 Radiation Shield: 10 Steps (with Pictures)* [online]. [cit. 2022-12-30].  
Dostupné z: <https://www.instructables.com/DS18B20-Radiation-Shield/>
- [12] *Aktivní radiální štít pro teplotní senzory amatérských meteostanic* [online]. [cit. 2022-12-30].  
Dostupné z: <https://docplayer.cz/11322528-Aktivni-radiacni-stit-pro-teplotni-senzory-amaterskych-meteostanic.html>
- [13] *Radiální štít pasivní malý* [online]. Brno [cit. 2022-12-10].  
Dostupné z: <https://www.meteoshop.cz/produkt/tfa-98-1114-02-radiacni-stit-pasivni-maly/1423/>
- [14] *Senzory hydrostatického tlaku pro měření hloubky či regulaci výšky hladiny* [online]. Praha 2018 [cit. 2022-12-30].  
Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/senzory-hydrostatickeho-tlaku-pro-mereni-hloubky-ci-regulaci-vysky-hladiny.html>
- [15] *Ústav počítačové a řídicí techniky: Měření tlaku* [online]. Praha [cit. 2022-12-30].  
Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/f4/f4k42-tlak.htm>
- [16] *Piezoelektrický snímač* [online]. [cit. 2022-12-30].  
Dostupné z: <https://riverglennapts.com/cs/transducer/881-piezoelectric-transducer.html>
- [17] AP Memory Technology: *APS6404L-3SQR QSPI PSRAM*. Červen 2022.  
Dostupné z: <https://www.apmemory.com/wp-content/uploads/APS6404L-3SQR.pdf>
- [18] Espressif: *ESP32-S3-WROOM-1 Datasheet*. 2022.  
Dostupné z: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3-wroom-1\\_wroom-1u\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3-wroom-1_wroom-1u_datasheet_en.pdf)
- [19] Argent DATA SYSTEMS: *Weather Sensor Assembly p/n 80422*.  
Dostupné z: [https://www.argentdata.com/files/80422\\_datasheet.pdf](https://www.argentdata.com/files/80422_datasheet.pdf)
- [20] LaskaKit.cz: *MS-WH-SP-RG srážkoměr*.  
Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/ms-wh-sp-rg-srazkomer/>
- [21] LaskaKit.cz: *WH-SP-WD čidlo směru větru*.  
Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/wh-sp-wd-cidlo-smeru-vetru/>
- [22] LaskaKit.cz: *WH-SP-WS01 čidlo rychlosti větru - anemometr*.  
Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/wh-sp-ws01-cidlo-rychlosti-vetru-anemometr/>

- [23] Microchip: *LAN8720A/LAN8720AI Small Footprint RMI 10/100 Ethernet Transceiver with HP Auto-MDIX Support*. 2016.  
Dostupné z: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/00002165b.pdf>
- [24] OmniVision Technologies Inc.: *OV2640 Color CMOS UXGA (2.0 MegaPixel) CameraChip with OmniPixel2 Technology*. Únor 2006.  
Dostupné z: [https://www.uctronics.com/download/cam\\_module/OV2640DS.pdf](https://www.uctronics.com/download/cam_module/OV2640DS.pdf)
- [25] Sensirion AG: *SHT4x 4th Generation, High-Accuracy, Ultra-Low-Power, 16-bit Relative Humidity and Temperature Sensor*. Duben 2022.  
Dostupné z: [https://cz.mouser.com/datasheet/2/682/Datasheet\\_SHT4x-3003109.pdf](https://cz.mouser.com/datasheet/2/682/Datasheet_SHT4x-3003109.pdf)
- [26] SIMCom Wireless Solutions Co.,Ltd: *A7670 Series Hardware Design*. 2020.  
Dostupné z: <https://www.simcom.com/product/A7670X.html>
- [27] SIMCom Wireless Solutions Co.,Ltd: *A7670 Series SPEC*. 2020.  
Dostupné z: <https://www.simcom.com/product/A7670X.html>
- [28] STMicroelectronics N.V.: *Datasheet STM32H730AB STM32H730IB STM32H730VB STM32H730ZB*. Prosinec 2021.  
Dostupné z: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32h723vg.pdf>
- [29] Würth Elektronik: *Absolute pressure sensor, Part Nr. 2511020213301; 25110202133011 User manual version 2.2*. Březen 2022.  
Dostupné z: [https://www.we-online.com/components/products/manual/2511020213301\\_WSEN-PADS%202511020213301%20Manual\\_rev2.2.pdf](https://www.we-online.com/components/products/manual/2511020213301_WSEN-PADS%202511020213301%20Manual_rev2.2.pdf)
- [30] Yong, Z.: *Digital universal particle concentration sensor, PMS5003 series data manual*. PLANTOWER, v2.3 vydání, Červen 2016.  
Dostupné z: <https://usermanual.wiki/Pdf/plantowerpms5003manualv23.548954733/view>
- [31] Zhou Yong: *PMS7003 series data manual*  
Dostupné z: [https://download.kamami.pl/p564008-PMS7003%20series%20data%20manua\\_English\\_V2.5.pdf](https://download.kamami.pl/p564008-PMS7003%20series%20data%20manua_English_V2.5.pdf)
- [32] SGX Sensortech Limited: *Data Sheet MiCS-4514 0278 rev 16*  
Dostupné z: [https://www.sgxsensortech.com/content/uploads/2014/08/0278\\_Datasheet-MiCS-4514-rev-16.pdf](https://www.sgxsensortech.com/content/uploads/2014/08/0278_Datasheet-MiCS-4514-rev-16.pdf)

- [33] Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd: *Ozone Gas Sensor MQ131 Low Concentration Manual*. Květen 2014.  
Dostupné z: <https://cdn.sparkfun.com/assets/9/9/6/e/4/mq131-datasheet-low.pdf>
- [34] The FreeRTOS™ Kernel: *FreeRTOS Kernel Developer Docs*  
Dostupné z: <https://www.freertos.org/features.html>
- [35] Free Software Foundation, Inc.: *lwIP - A Lightweight TCP/IP stack*  
Dostupné z: <https://savannah.nongnu.org/projects/lwip/>
- [36] Prusa Research a.s.: *Prusament ASA je tady. Jak a co tisknout s nástupcem ABS?*  
Dostupné z: <https://josefprusa.cz/prusament-asa-je-tady-jak-a-co-tisknout-s-nastupcem-abs>
- [37] BH1750FVI Luxmeter  
Dostupné z: [https://download.kamami.pl/p564008-PMS7003%20series%20data%20manua\\_English\\_V2.5.pdf](https://download.kamami.pl/p564008-PMS7003%20series%20data%20manua_English_V2.5.pdf)
- [38] Torex Semiconductor, Ltd: *DC/DC Simulation*  
Dostupné z: <https://product.torexsemi.com/en/design-support/dcdc-simulation>
- [39] STMicroelectronics: *STM32Cube MCU Full Package for the STM32H7 series*  
Dostupné z: <https://github.com/STMicroelectronics/STM32CubeH7>
- [40] Espressif: *Espressif IoT Development Framework. Official development framework for Espressif SoCs.*  
Dostupné z: <https://github.com/espressif/esp-idf>
- [41] Espressif: *SPI Slave Driver- ESP32-S3 - ESP-IDF Programming Guide latest documentation*  
Dostupné z: [https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32s3/api-reference/peripherals/spi\\_slave.html](https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32s3/api-reference/peripherals/spi_slave.html)
- [42] WurthElektronik: *WE Sensors SDK for STM32*  
Dostupné z: [https://github.com/WurthElektronik/Sensors-SDK\\_STM32](https://github.com/WurthElektronik/Sensors-SDK_STM32)
- [43] Adafruit: *Arduino library for the SI1145 sensors in the Adafruit shop*  
Dostupné z: [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_SI1145\\_Library](https://github.com/adafruit/Adafruit_SI1145_Library)
- [44] SimpleMethod: *Probably the best library for OV2640 camera on STM32 platform*  
Dostupné z: <https://github.com/SimpleMethod/STM32-OV2640>

## Seznam symbolů a zkratek

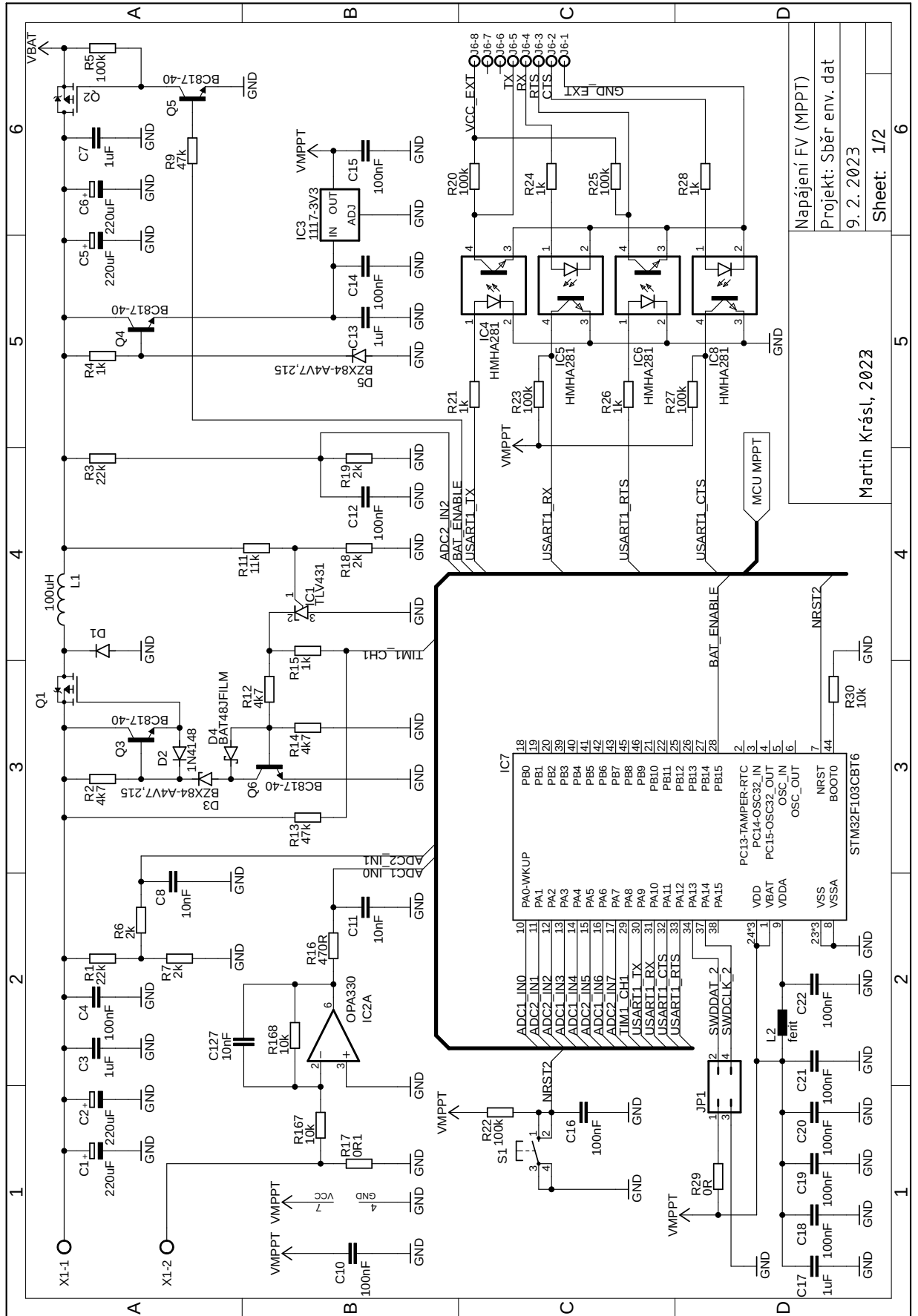
<b>MEMS</b>	Micro Electro Mechanical Systems
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>SPI</b>	Serial Peripheral Interface
<b>CDC</b>	Communications Device Class
<b>ESD</b>	Electrostatic discharge
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service
<b>LGA</b>	Land Grid Array
<b>UART</b>	Universal asynchronous receiver-transmitter
<b>GPIO</b>	General-purpose input/output
<b>CTS</b>	Clear to Send
<b>RXD</b>	Request to Send
<b>LTE</b>	Long Term Evolution
<b>EDGE</b>	Enhanced Data rates for GSM Evolution
<b>SIM</b>	Subscriber Identity Module
<b>QSPI</b>	Quad Serial Peripheral Interface
<b>PSDRAM</b>	Pseudo Static Dynamic Random Access Memory
<b>MOSFET</b>	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
<b>MPPT</b>	Maximum Power Point Tracking
<b>LVTTL</b>	Low Voltage Transistor–Transistor Logic
<b>BMS</b>	Battery Management System
<b>LED</b>	Light-Emitting Diode
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>PMOS</b>	P-type Metal-Oxide-Semiconductor
<b>PWM</b>	Pulse Width Modulation
<b>LDO</b>	Low-Dropout Regulator

# Seznam příloh

<b>A</b>	<b>Schéma - MPPT</b>	<b>69</b>
<b>B</b>	<b>Schéma - MPPT Balanční obvody</b>	<b>70</b>
<b>C</b>	<b>Schéma - Hlavní mikrokontrolér</b>	<b>71</b>
<b>D</b>	<b>Schéma - Zdroje napětí</b>	<b>72</b>
<b>E</b>	<b>Schéma - Kamera a paměť</b>	<b>73</b>
<b>F</b>	<b>Schéma - LTE modul</b>	<b>74</b>
<b>G</b>	<b>Schéma - ESP32 Wifi modul</b>	<b>75</b>
<b>H</b>	<b>Schéma - Ethernet</b>	<b>76</b>
<b>I</b>	<b>Schéma - Konektory pro senzory</b>	<b>77</b>
<b>J</b>	<b>Schéma - Senzory plynů</b>	<b>78</b>
<b>K</b>	<b>Schéma - Senzory světla</b>	<b>79</b>
<b>L</b>	<b>Schéma - Senzory tlaku, vlhkosti a teploty</b>	<b>80</b>
<b>M</b>	<b>Hlavní deska</b>	<b>81</b>
	M.1 Horní strana spojů . . . . .	82
	M.2 Spodní strana spojů . . . . .	83
<b>N</b>	<b>Senzory plynů</b>	<b>84</b>
	N.1 Horní strana spojů . . . . .	85
	N.2 Spodní strana spojů . . . . .	86
<b>O</b>	<b>Senzory tlaku, vlhkosti a teploty</b>	<b>87</b>
	O.1 Horní strana spojů . . . . .	88
	O.2 Spodní strana spojů . . . . .	89
<b>P</b>	<b>Senzory světla</b>	<b>90</b>
	P.1 Horní strana spojů . . . . .	91
	P.2 Spodní strana spojů . . . . .	92
<b>Q</b>	<b>Výsledky dlouhodobého testu</b>	<b>93</b>

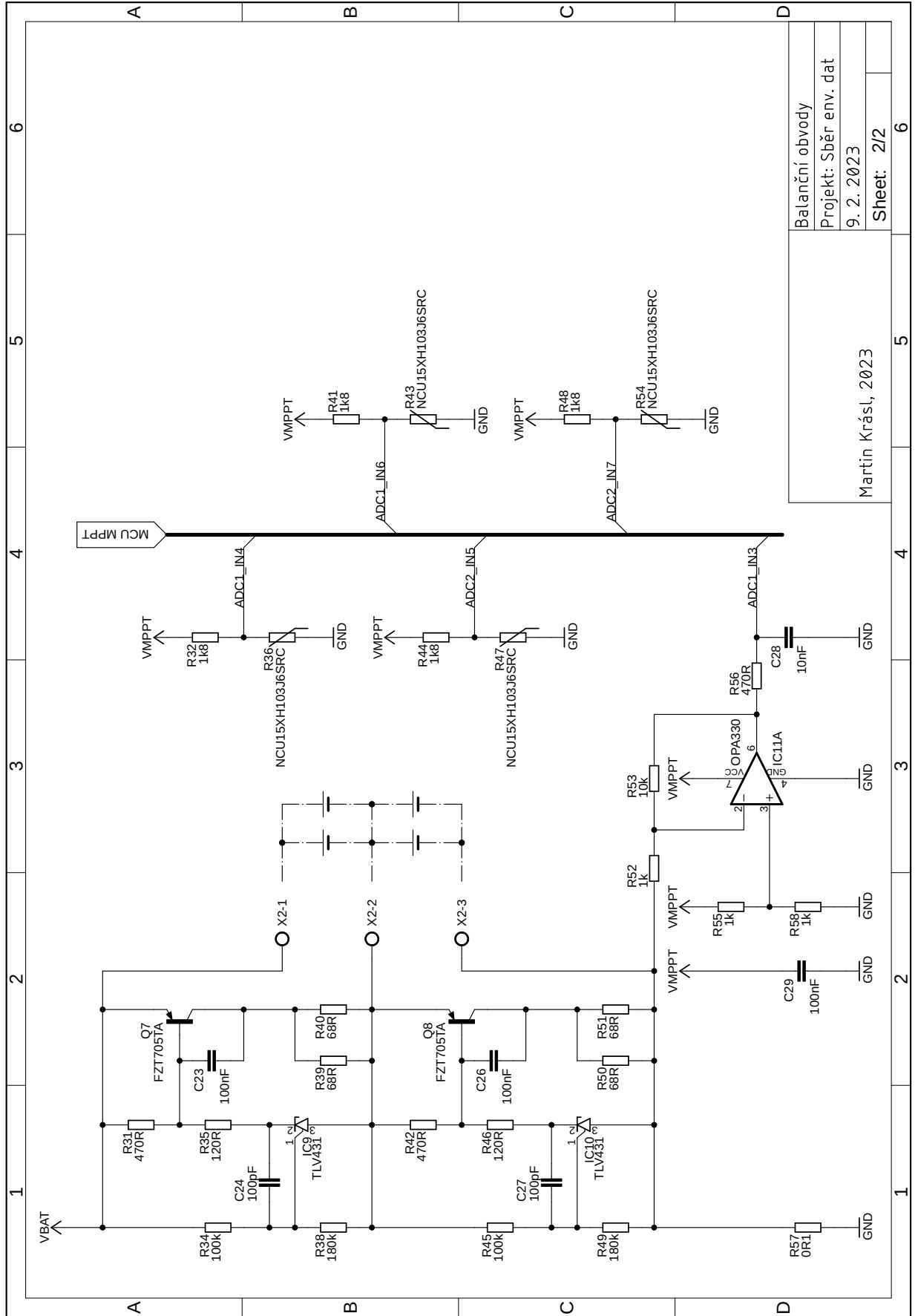
<b>R</b>	<b>Ukázka snímků z kamery</b>	<b>101</b>
<b>S</b>	<b>Obsah elektronické přílohy</b>	<b>102</b>

# A Schéma - MPPT



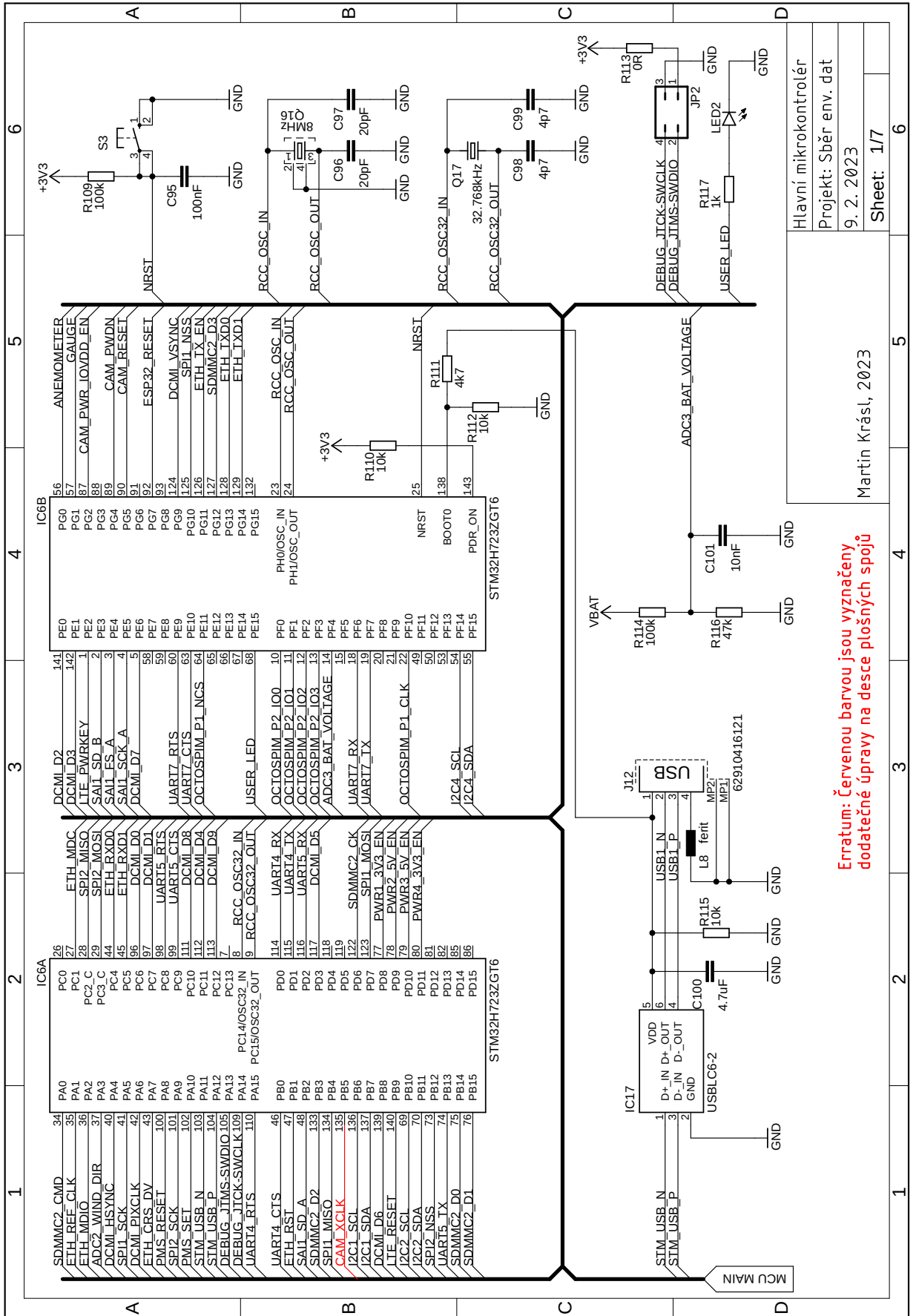
Napájení FV (MPPT)  
 Projekt: Sběr env. dat  
 9. 2. 2023  
 Martin Krásl, 2023  
 Sheet: 1/2

# B Schéma - MPPT Balanční obvody



Balanční obvody  
 Projekt: Sběr env. dat  
 9. 2. 2023  
 Martin Krásil, 2023

# C Schéma - Hlavní mikrokontrolér

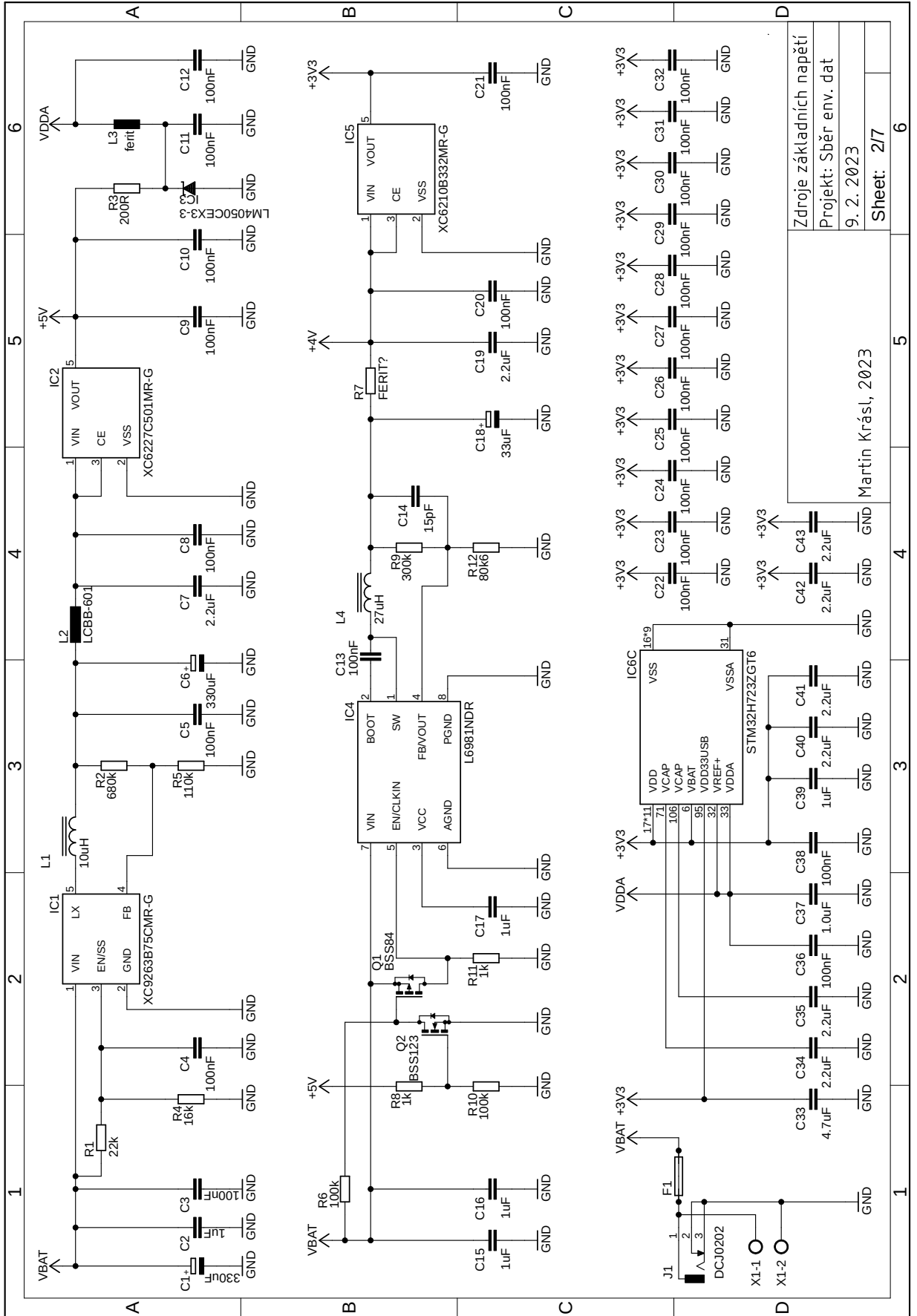


Erratum: Červenou barvou jsou vyznačeny  
dodatečné úpravy na desce plošných spojů

Hlavní mikrokontrolér	6
Projekt: Sběr env. dat	6
9. 2. 2023	6
Sheet: 1/7	6

Martin Krásil, 2023

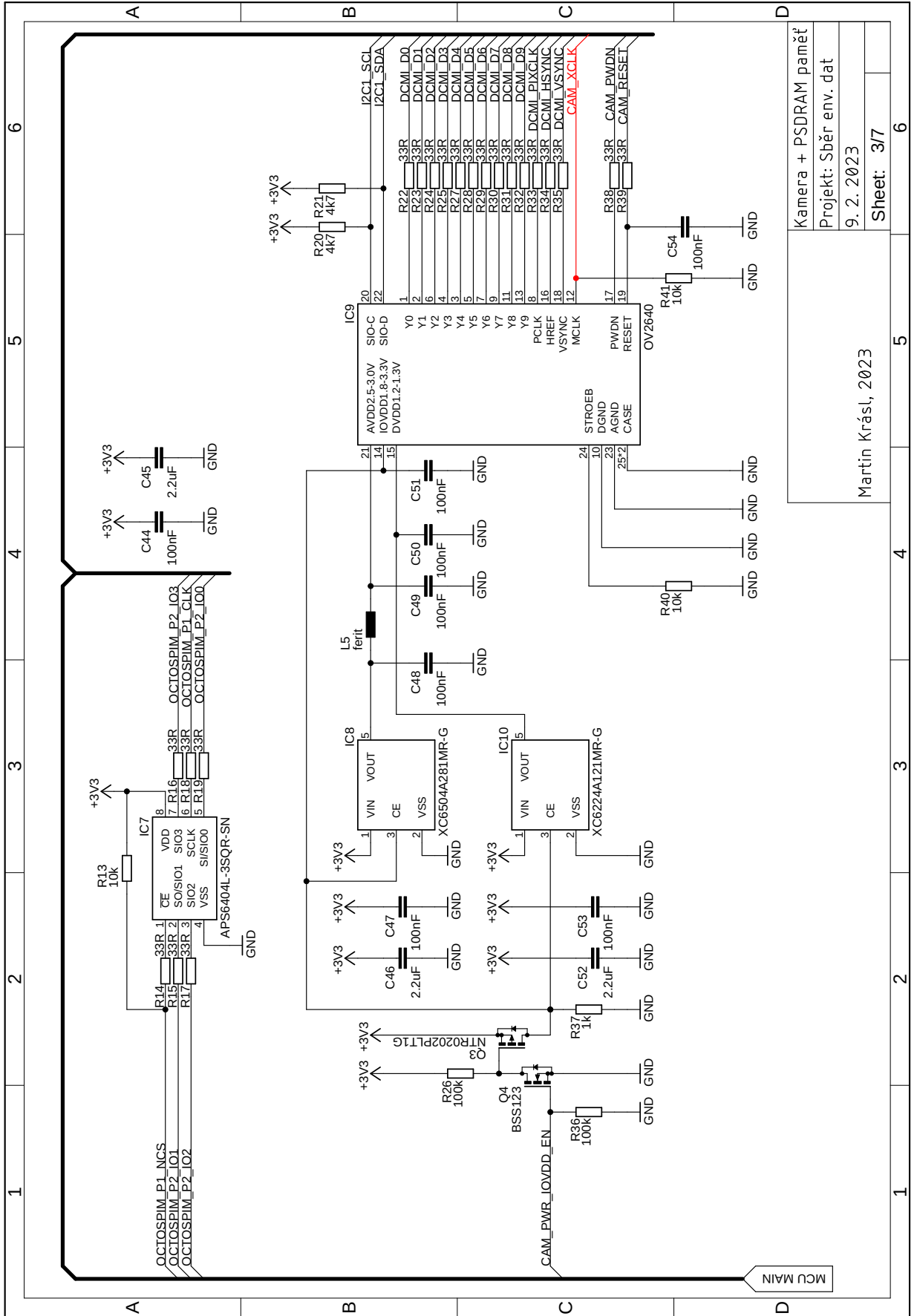
# D Schéma - Zdroje napětí



Zdroje základních napětí  
 Projekt: Sběr env. dat  
 9. 2. 2023  
 Sheet: 2/7

Martin Krásil, 2023

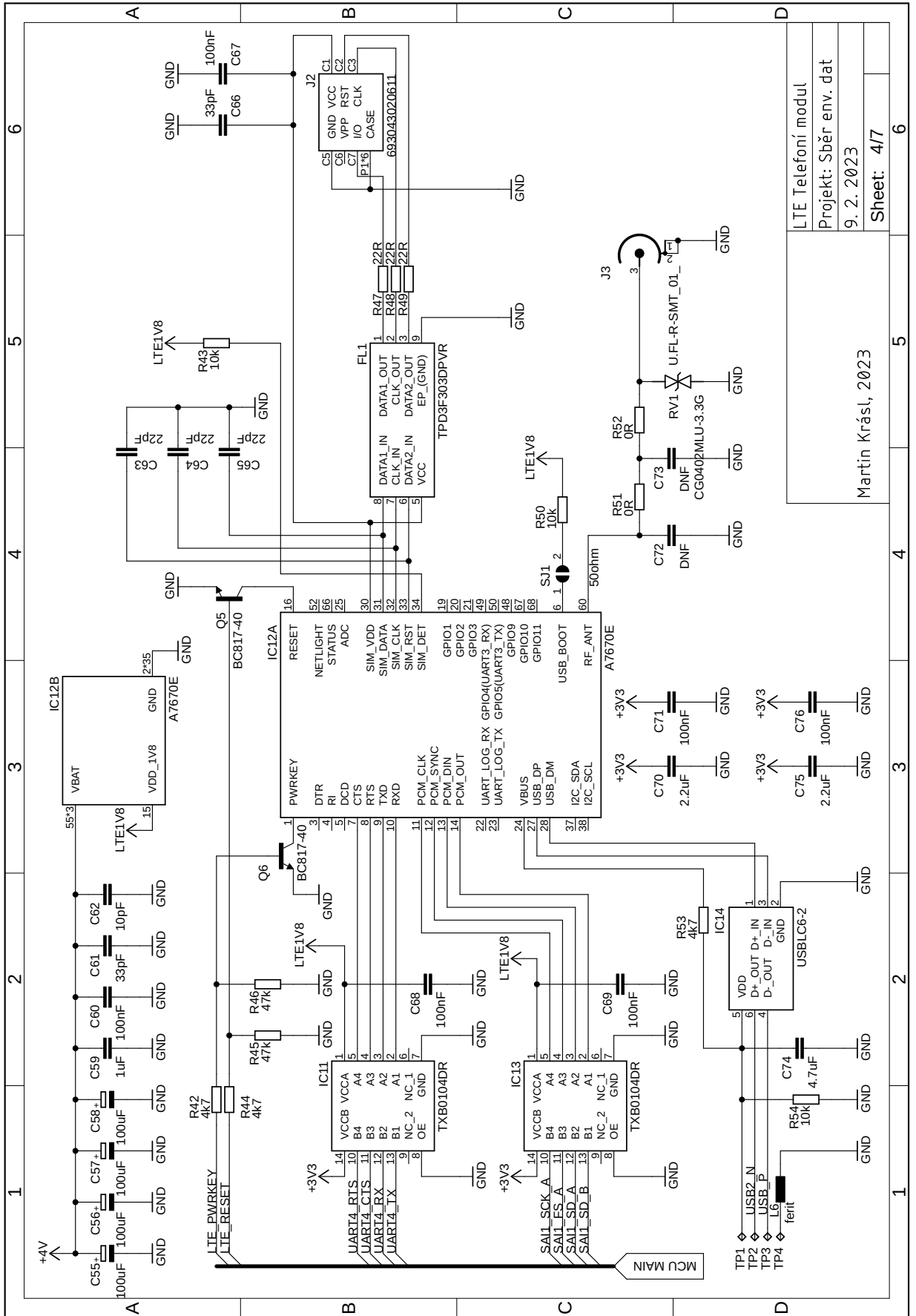
# E Schéma - Kamera a paměť



Kamera + PSDRAM paměť  
 Projekt: Sběr env. dat  
 9. 2. 2023  
 Sheet: 3/7

Martin Krásl, 2023

# F Schéma - LTE modul

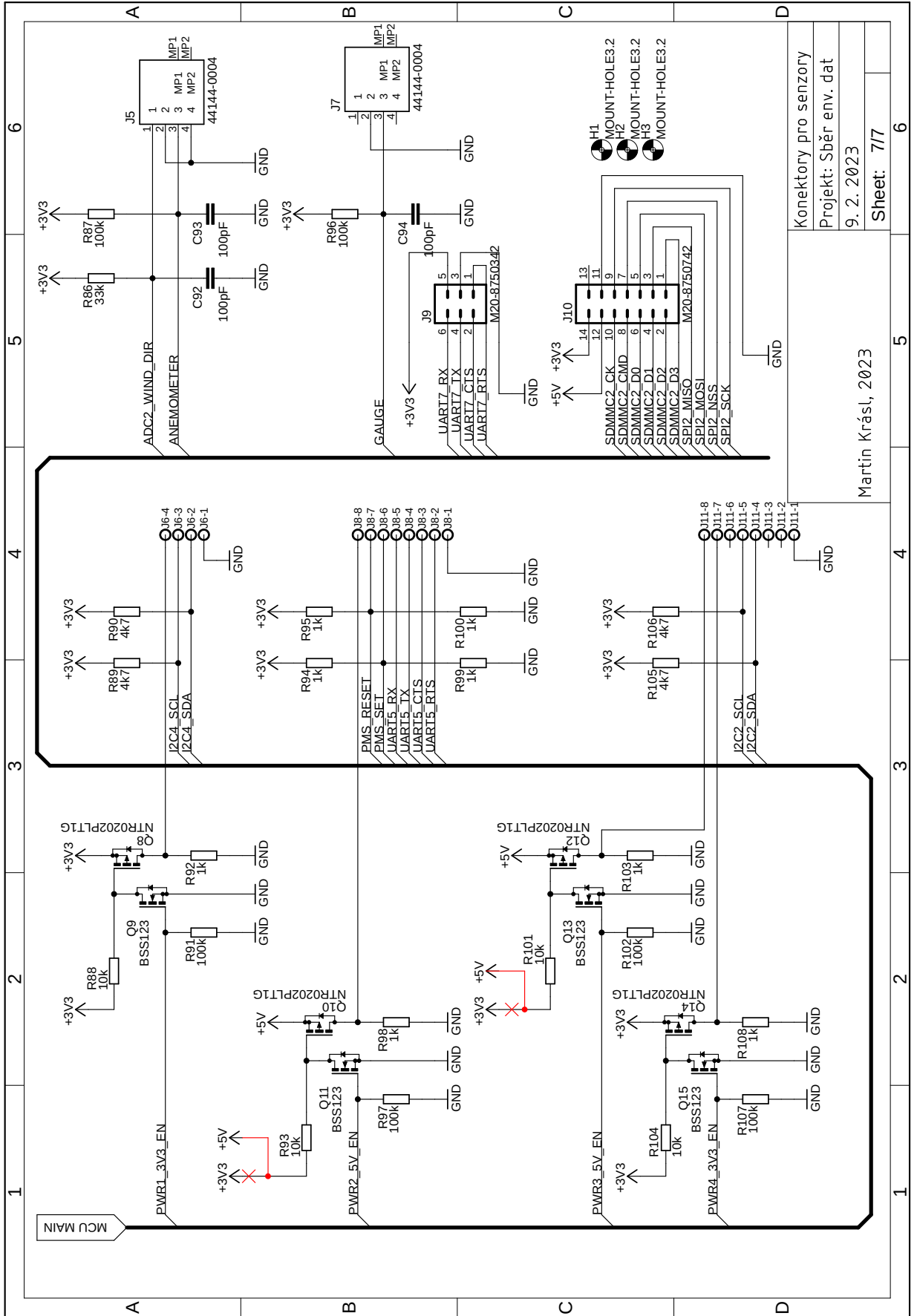


LTE Telefonní modul  
 Projekt: Sběr env. dat  
 9. 2. 2023  
 Martin Krásl, 2023  
 Sheet: 4/7





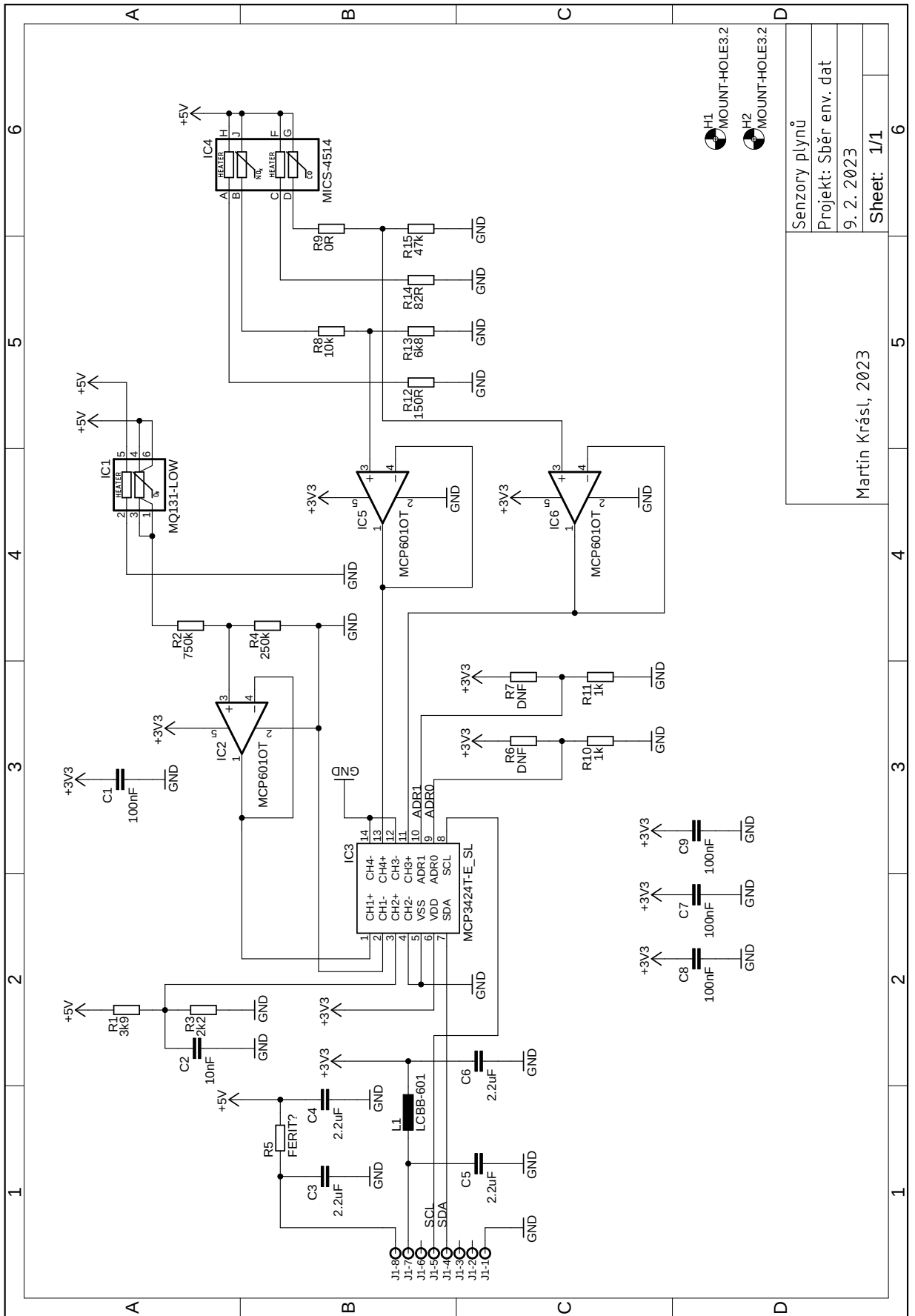
# I Schéma - Konektory pro senzory



Konektory pro senzory  
 Projekt: Sběr env. dat  
 9. 2. 2023  
 Sheet: 7/7

Martin Krásl, 2023

# J Schéma - Senzory plynů

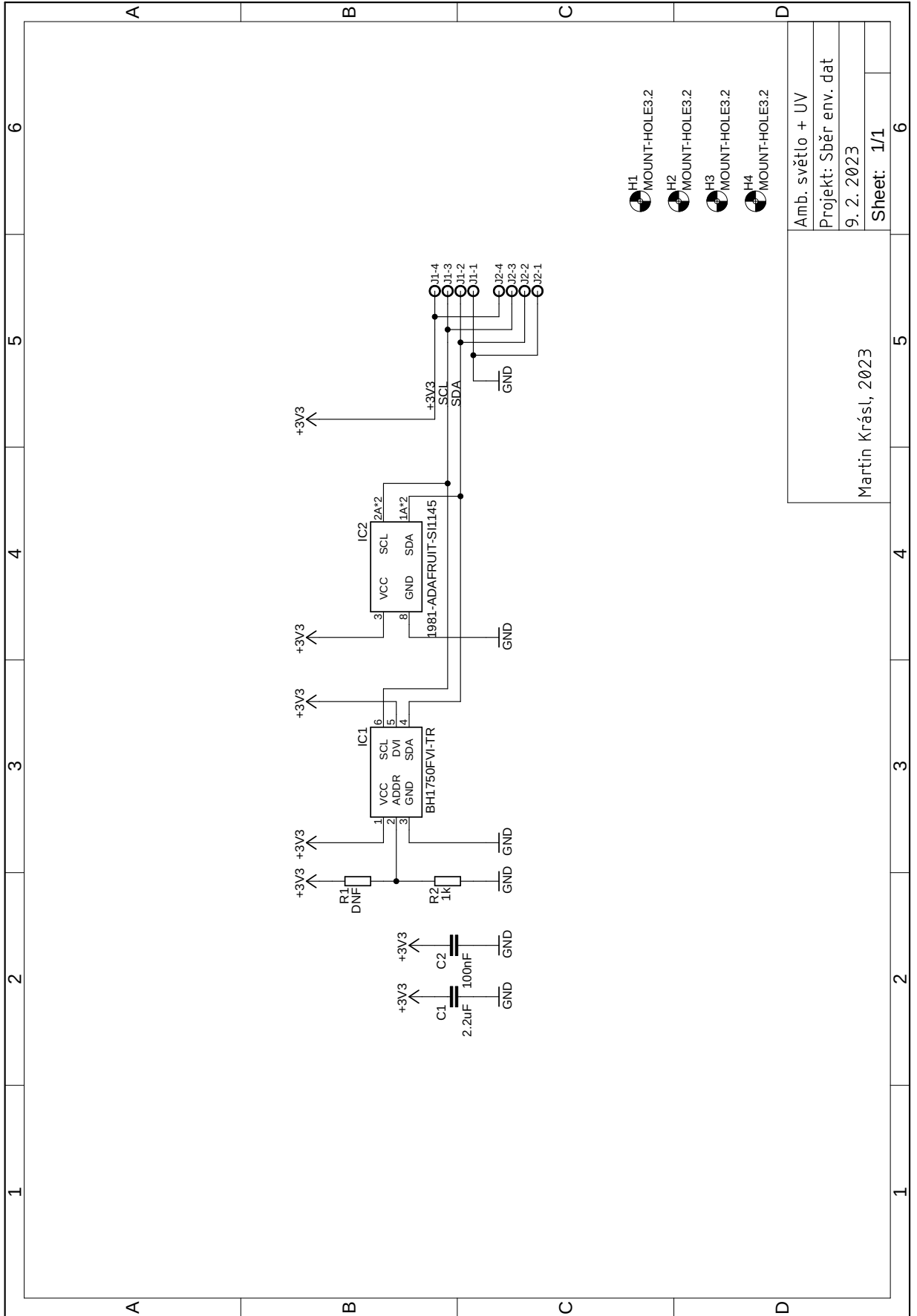


H1 MOUNT-HOLE3.2  
H2 MOUNT-HOLE3.2

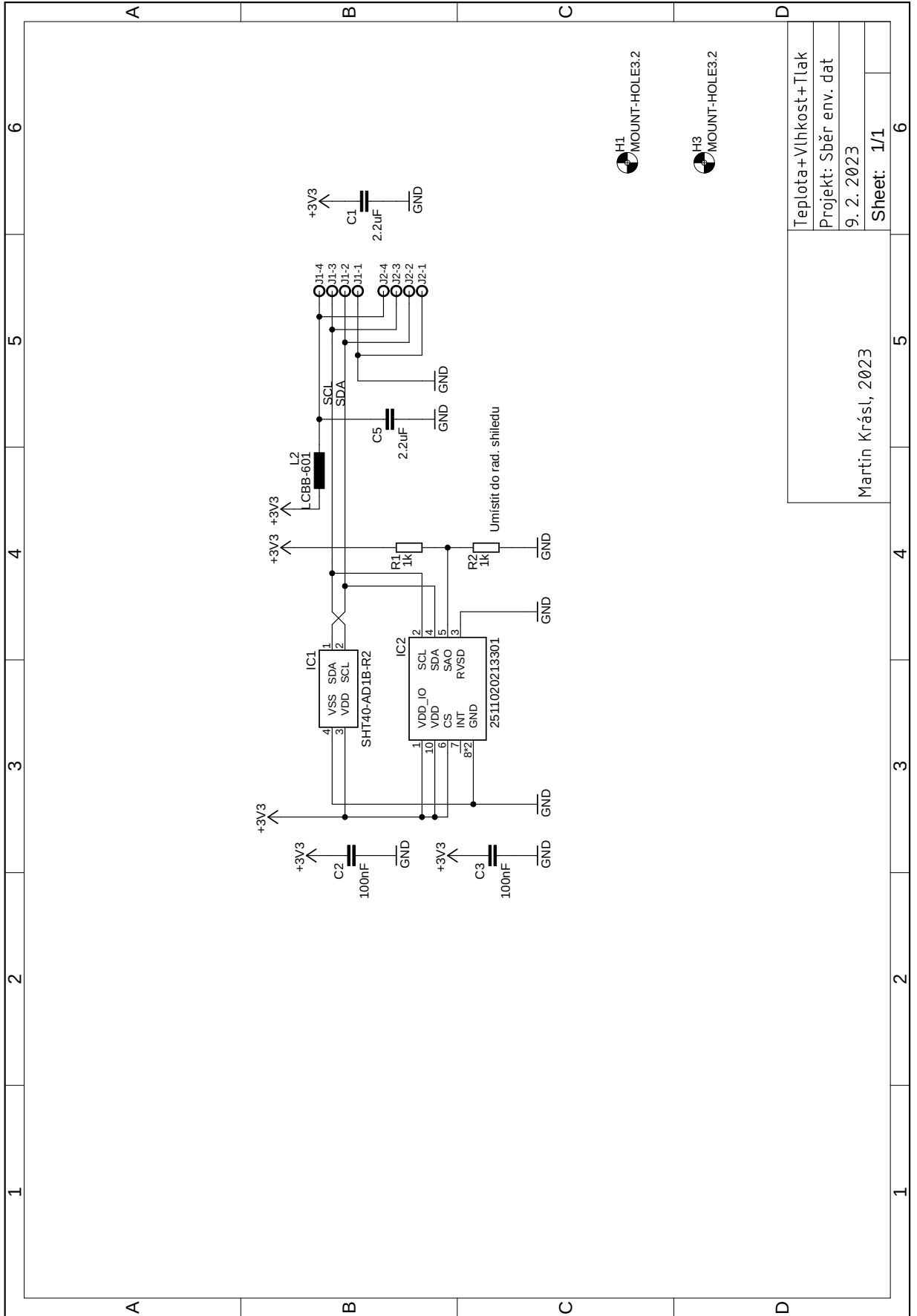
Senzory plynů
Projekt: Sběr env. dat
9. 2. 2023
Sheet: 1/1

Martin Krásl, 2023

# K Schéma - Senzory světla



# L Schéma - Senzory tlaku, vlhkosti a teploty

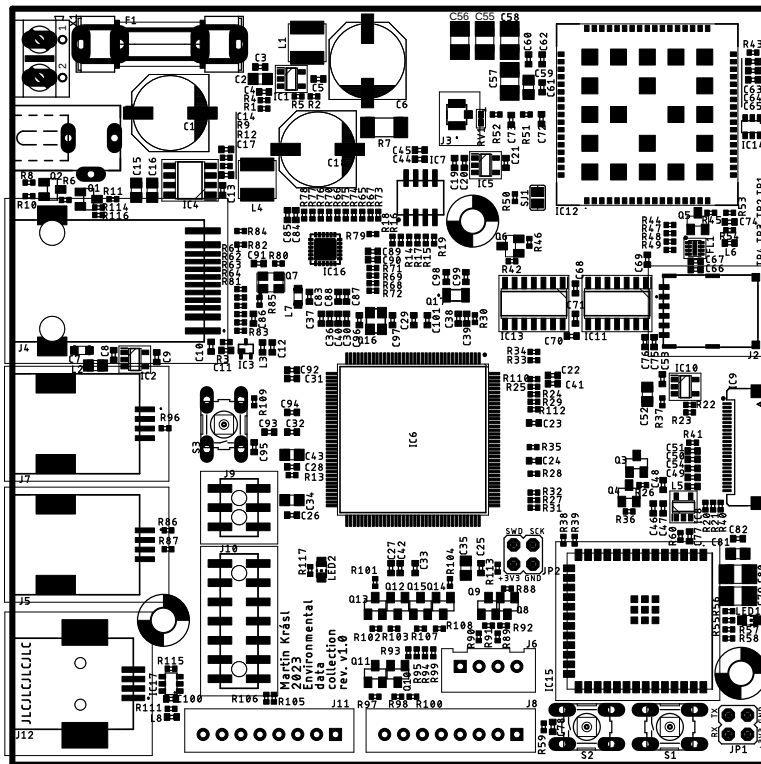


H1  
MOUNT-HOLE3.2

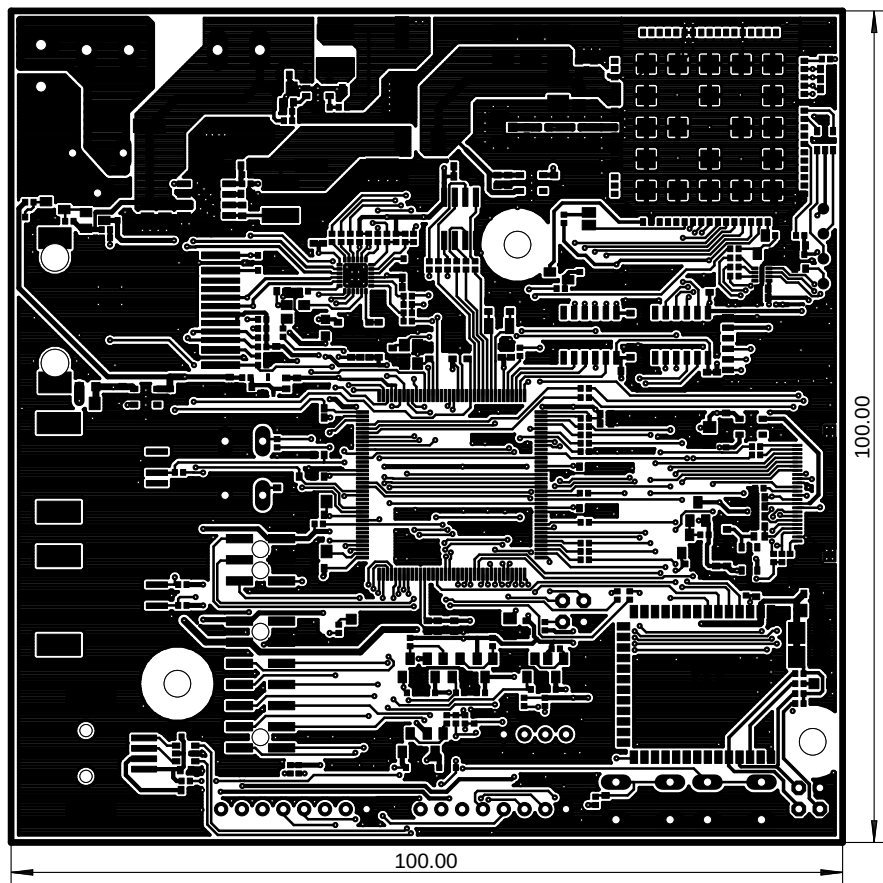
H3  
MOUNT-HOLE3.2

Teplota+Vlhkost+Tlak	
Projekt: Sběr env. dat	
9. 2. 2023	
Martin Krásl, 2023	Sheet: 1/1

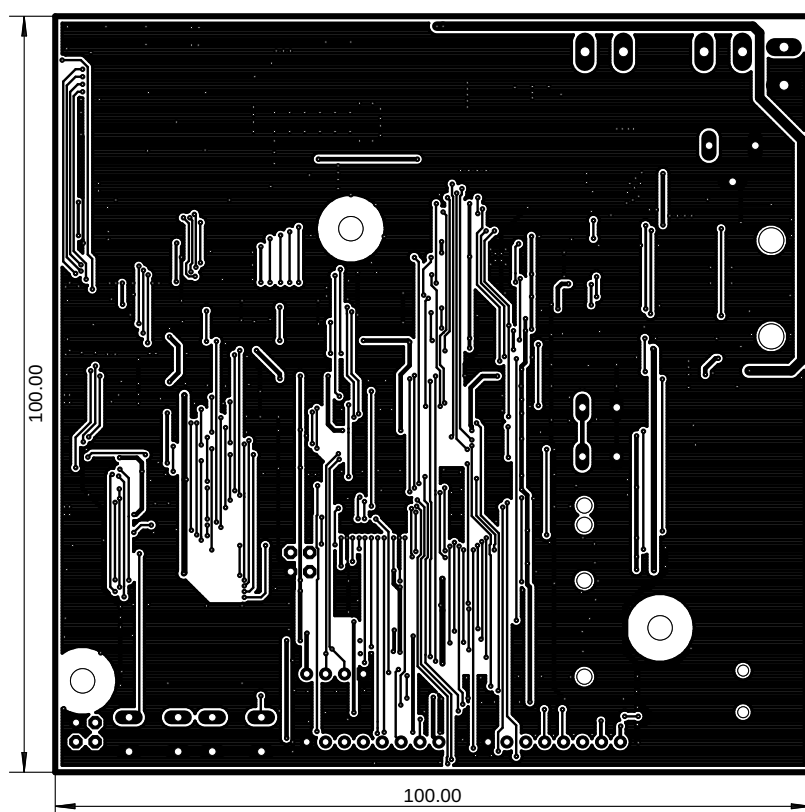
# M Hlavní deska



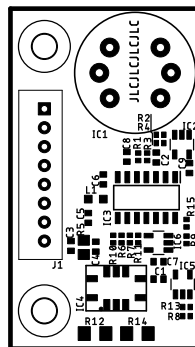
## M.1 Horní strana spojů



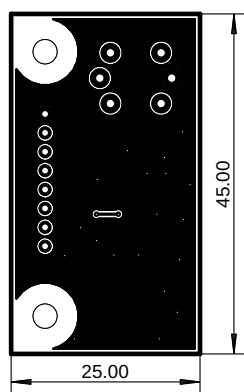
## M.2 Spodní strana spojů



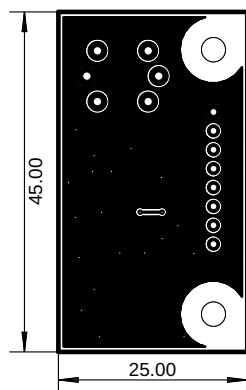
# N Senzory plynů



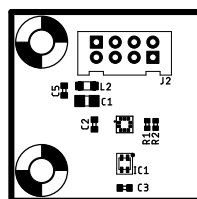
## N.1 Horní strana spojů



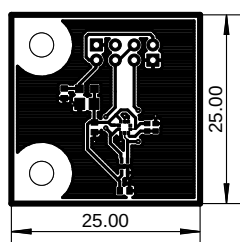
## N.2 Spodní strana spojů



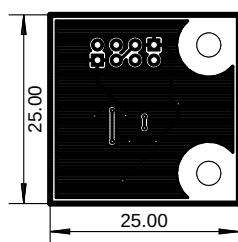
# O Senzory tlaku, vlhkosti a teploty



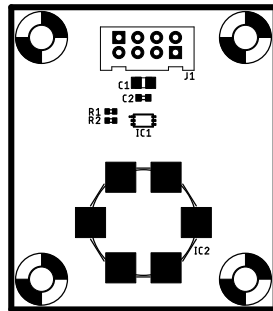
## O.1 Horní strana spojů



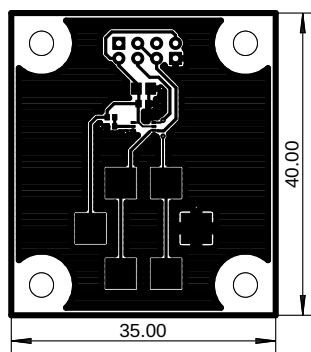
## O.2 Spodní strana spojů



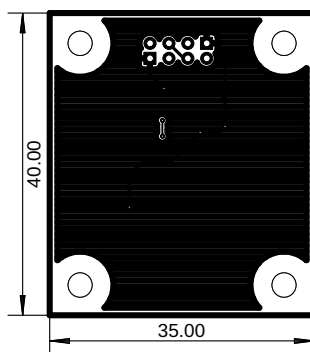
# P Senzory světla



## P.1 Horní strana spojů

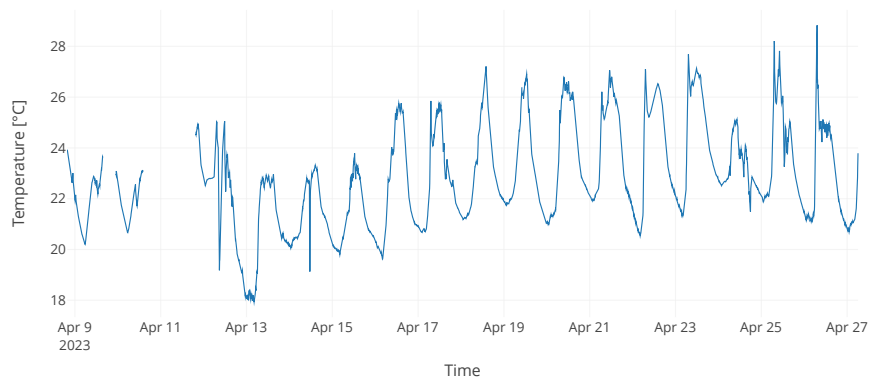


## P.2 Spodní strana spojů



# Q Výsledky dlouhodobého testu

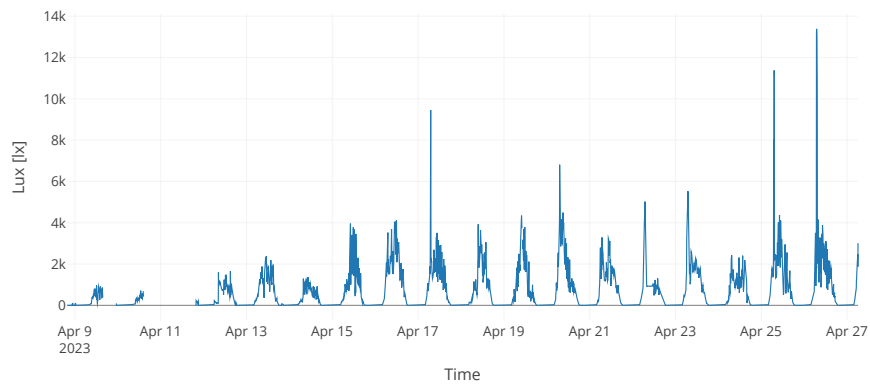
Temperature (WSEN 2511020213301)



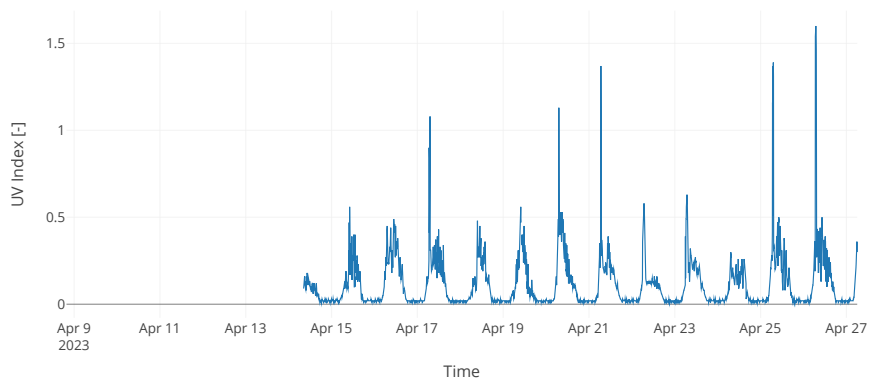
Pressure (WSEN 2511020213301)



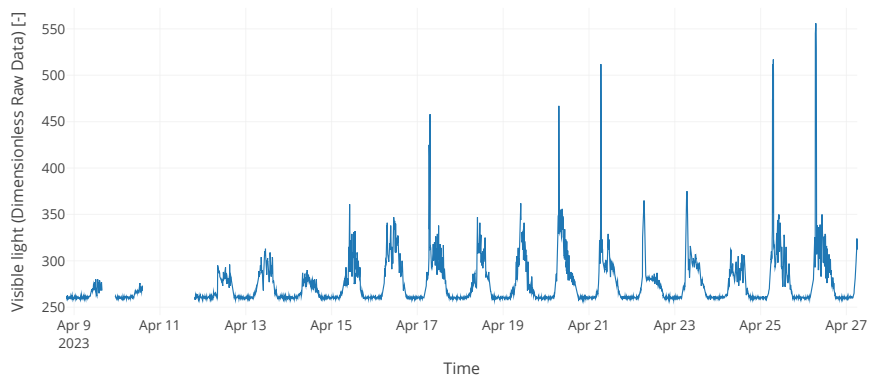
Lux Meter (BH1750FVI)



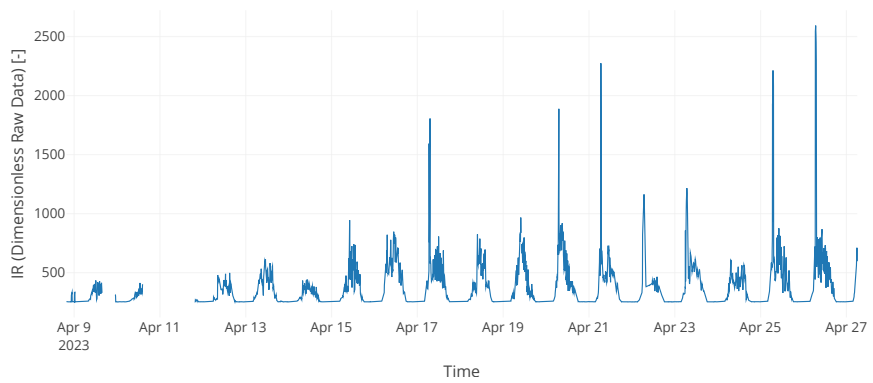
UV Index (Si1145)



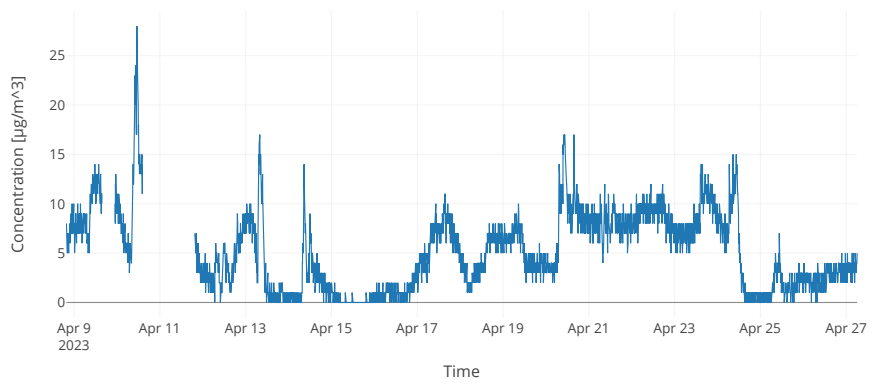
Visible light (Si1145)



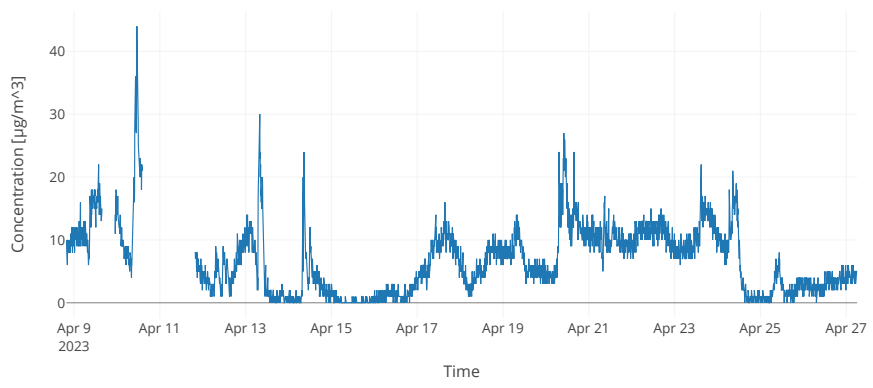
Infra Red light (Si1145)



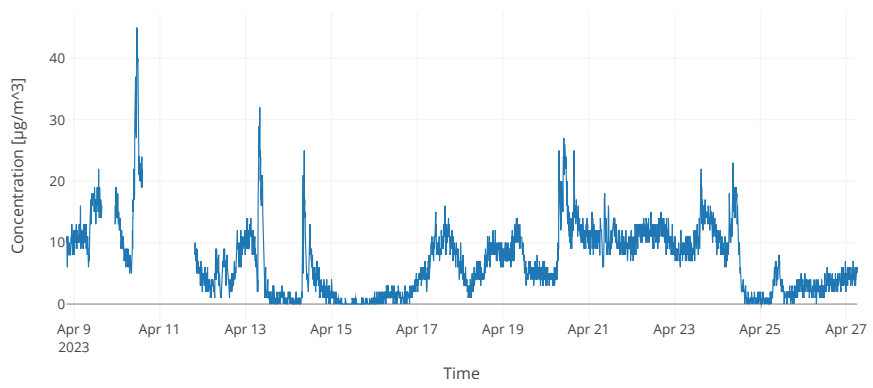
Particles PM1.0 (standard particle) (PMS7003)



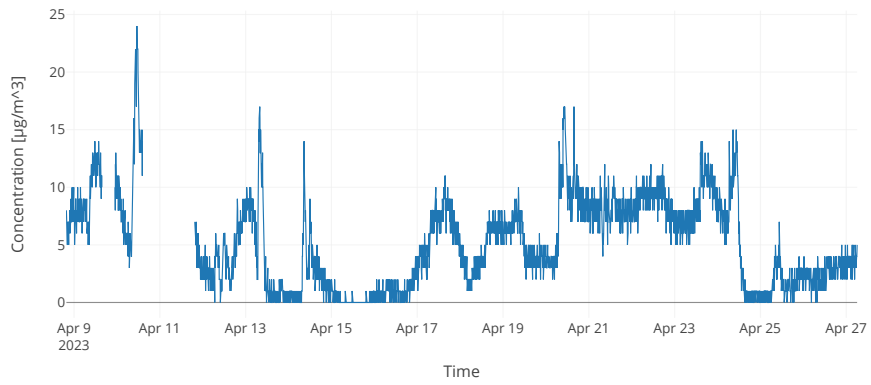
Particles PM2.0 (standard particle) (PMS7003)



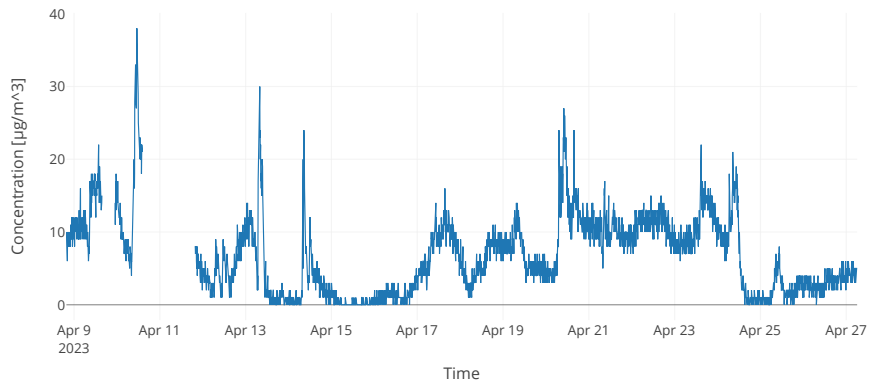
Particles PM10 (standard particle) (PMS7003)



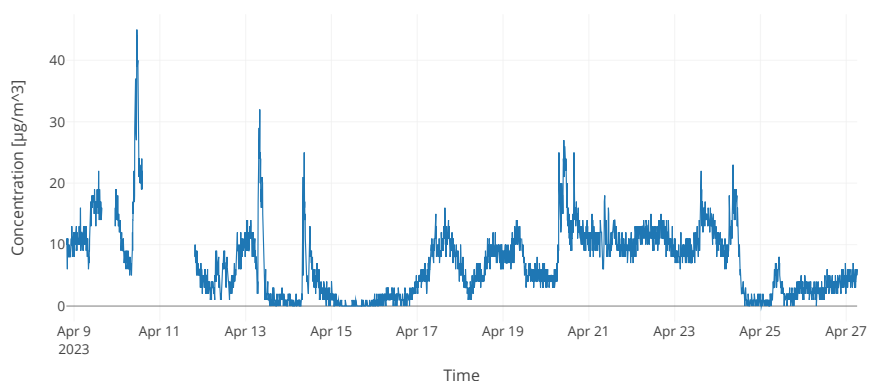
Particles PM1.0 (under atmospheric environment) (PMS7003)



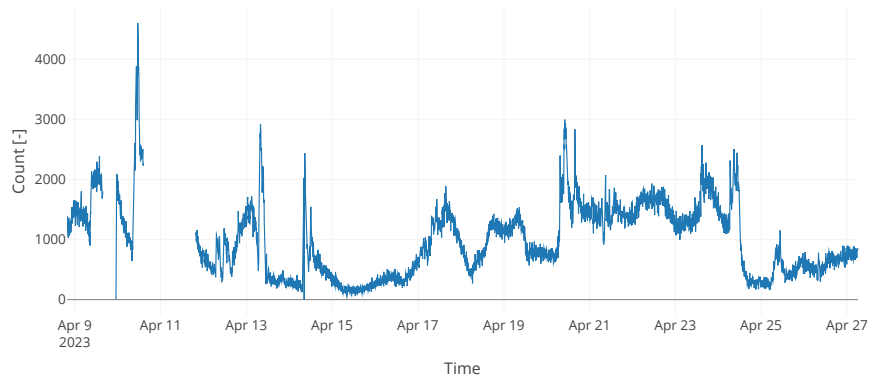
Particles PM2.5 (under atmospheric environment) (PMS7003)



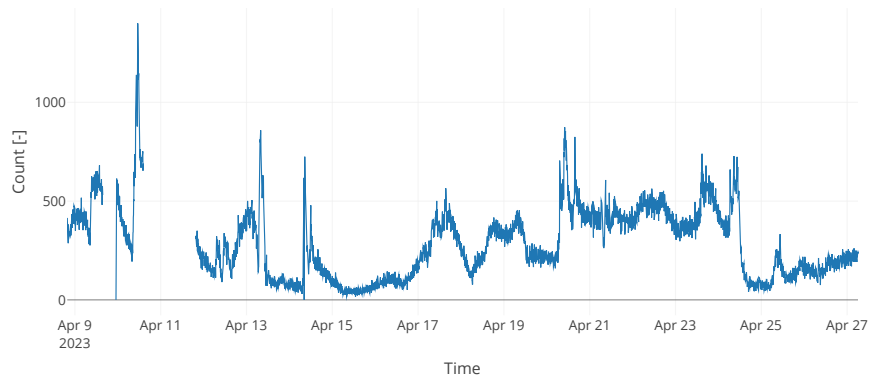
Particles PM10 (under atmospheric environment) (PMS7003)



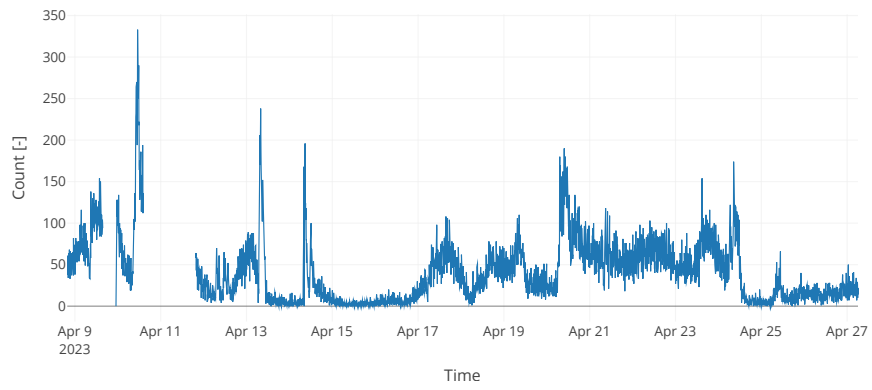
Particles >0.3 $\mu\text{m}$  in 100cm<sup>3</sup> of air (PMS7003)



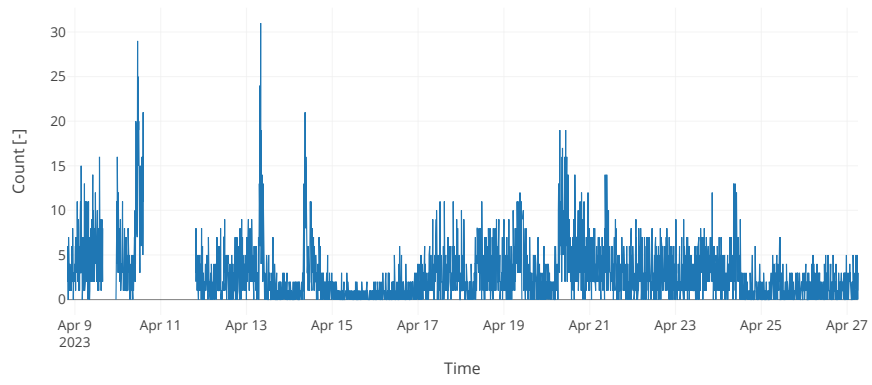
Particles >0.5 $\mu\text{m}$  in 100cm<sup>3</sup> of air (PMS7003)



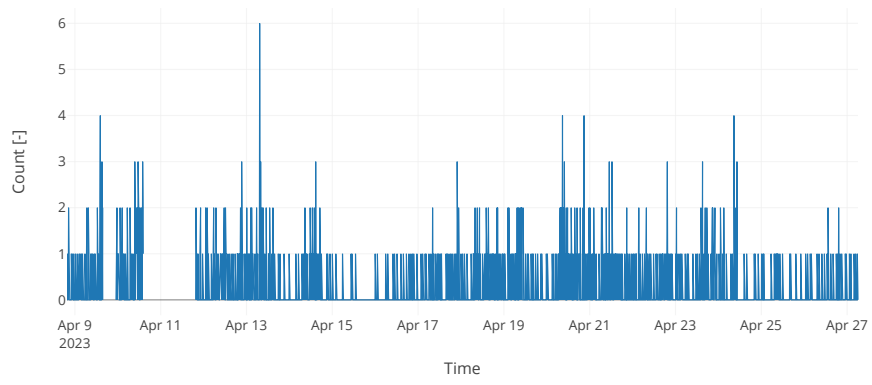
Particles >1.0 $\mu\text{m}$  in 100cm<sup>3</sup> of air (PMS7003)



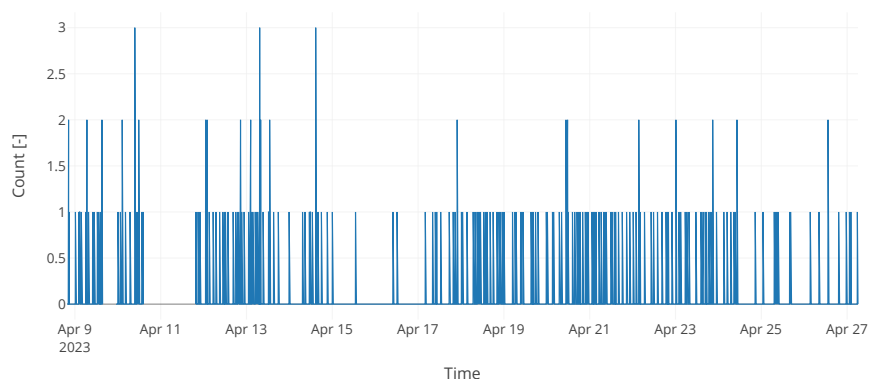
Particles >2.5µm in 100cm3 of air (PMS7003)



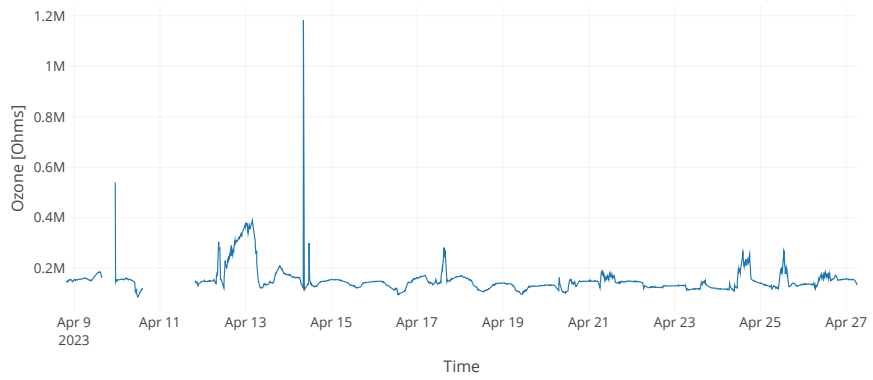
Particles >5.0µm in 100cm3 of air (PMS7003)



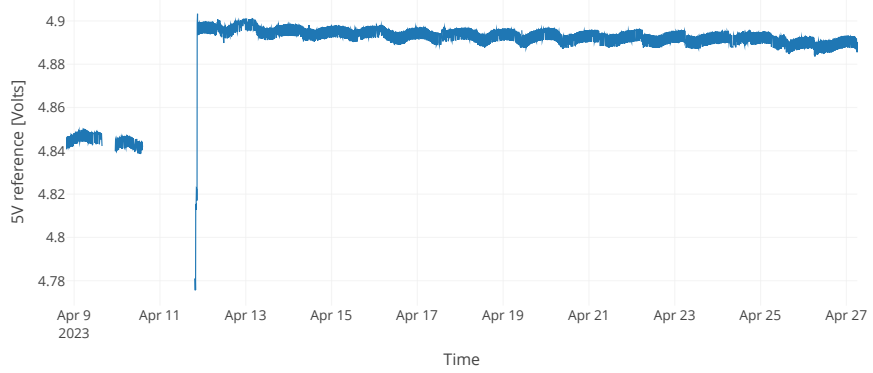
Particles >10.0µm in 100cm3 of air (PMS7003)



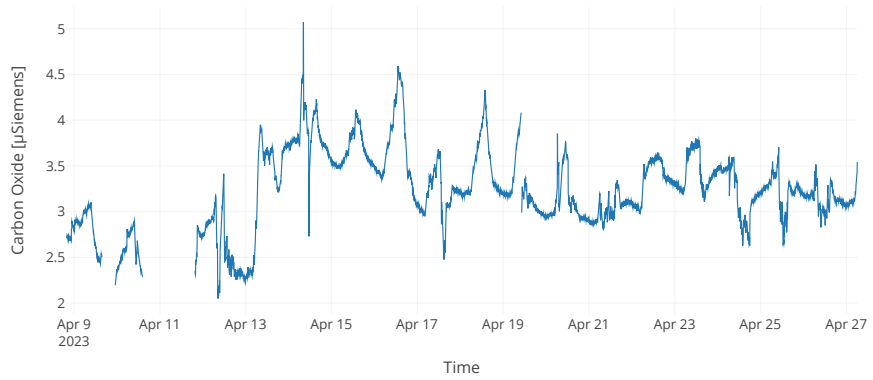
Ozone (MQ131-LOW via MCP3424T) (More resistivity more ozone)



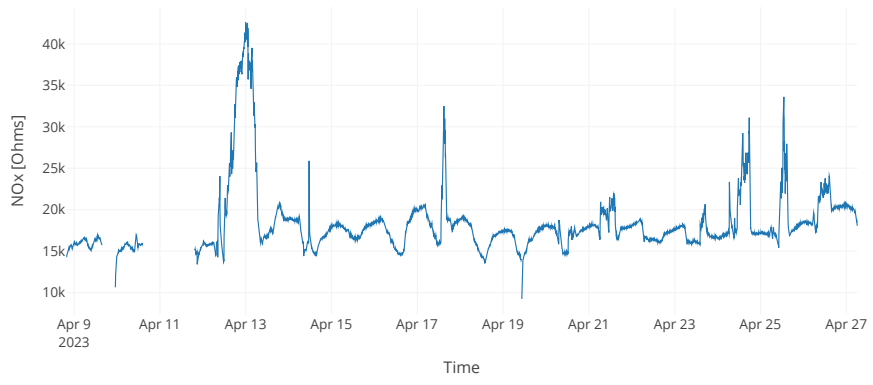
5V reference (MCP3424T)



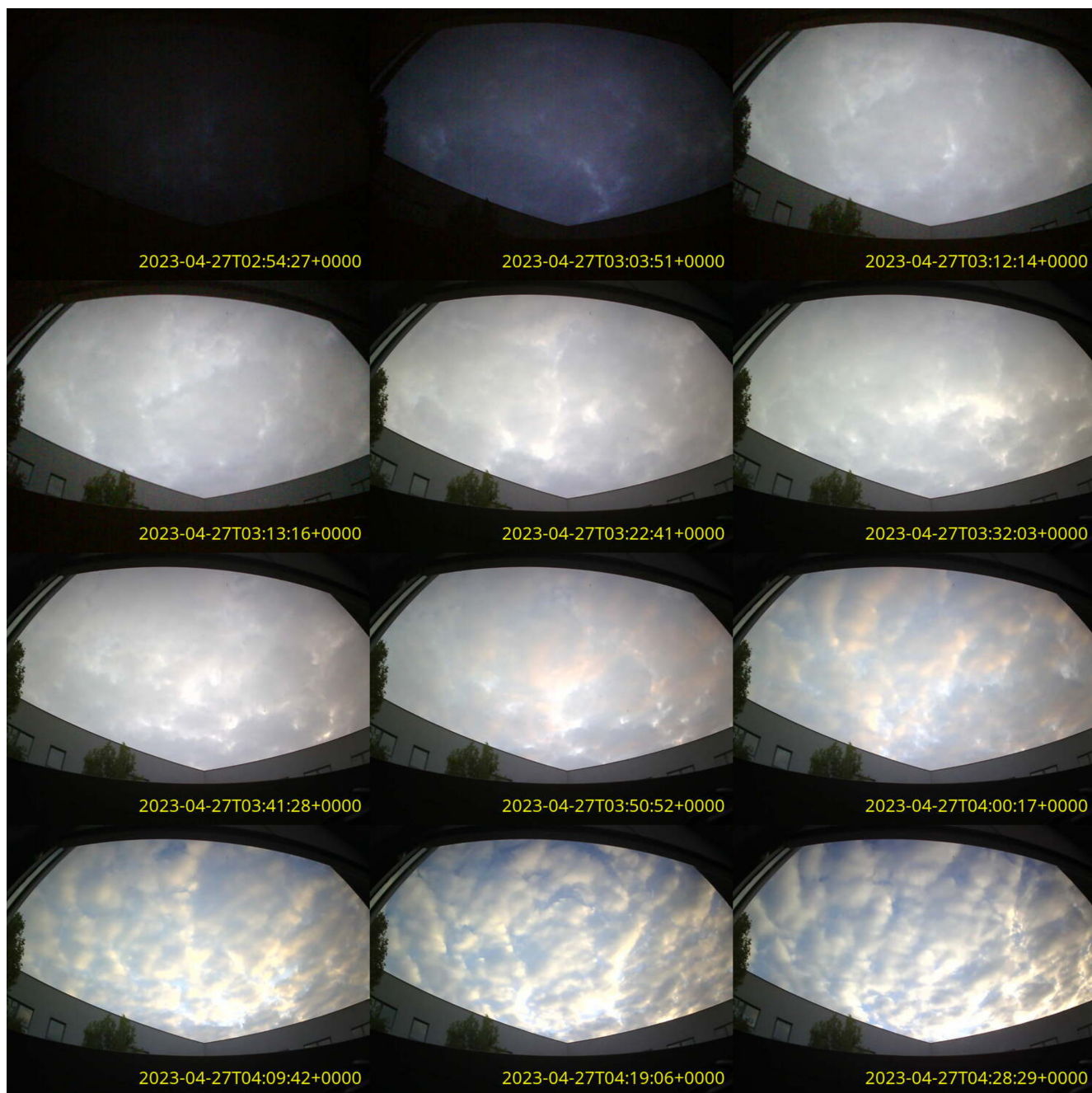
Carbon Oxide (MICS4514 via MCP3424T) (More conductivity more CO)



NOx (MICS4514 via MCP3424T) (More resistivity more NOx)



## R Ukázka snímků z kamery



## S Obsah elektronické přílohy

/	kořenový adresář přiloženého archivu
└─ firmware	firmware pro STM32 a ESP32
└─ drivers	ovladače pro STM32
└─ adc.c	Analogově-digitální převodník
└─ adc.h	
└─ dcmi.c	Rozhraní pro digitální kameru
└─ dcmi.h	
└─ driver_os.c	Pomocné funkce pro RTOS systémy
└─ driver_os.h	
└─ gpio.c	Obsluha vstupně-výstupních pinů
└─ gpio.h	
└─ i2c.c	Obsluha I2C sériových sběrnic
└─ i2c.h	
└─ rcc.c	Nastavení hodin periférií
└─ rcc.h	
└─ spi.c	Obsluha SPI sériových sběrnic (master)
└─ spi.h	
└─ stmflash_storage.c	Ukládání nastavení do interní FLASH
└─ stmflash_storage.h	
└─ systick.c	Systémový časovač
└─ systick.h	
└─ tim.c	Časovače
└─ tim.h	
└─ usart.c	Obsluha synchronních/asynchronních sériových sběrnic
└─ usart.h	
└─ esp32s	Projekt pro ESP32
└─ CMakeLists.txt	
└─ main	
└─ CMakeLists.txt	
└─ component.mk	
└─ idf_component.yml	
└─ Kconfig.projbuild	
└─ wifi_over_spi.c	Hlavní program pro ESP32
└─ wifi_over_spi.h	Sdílený hlavičkový soubor s STM32
└─ Makefile	
└─ sdkconfig	
└─ ides	
└─ cubeide	Složka s projektovými soubory pro prostředí CubeIDE
└─ edc_main_fw build.launch	
└─ STM32H723ZGTX_FLASH.ld	
└─ libraries	Middleware knihovny
└─ a7670e	Vyhrazené zdrojové soubory pro LTE modul
└─ a7670.c	
└─ a7670.h	



gases2.sch.....	Schéma senzorů plynů
gases2.brd.....	DPS senzorů plynů
light_sensors.sch.....	Schéma senzorů světla
light_sensors.brd.....	DPS senzorů světla
mppt.sch.....	Schéma pro MPPT
models.....	3D modely krabice
_ box4.3mf.....	Soubor pro 3D tisk
_ box4.blend.....	Spodní část krabice (Blender)
software.....	Software pro server
_ app.....	
_ config.json.....	Konfigurace serveru
_ edc_flask_server.py.....	Webový server (Python-Flask)
_ edc_flask_server.sh.....	
_ templates.....	
_ index.html.....	Hlavní webová stránka
_ plotly-1.58.5.min.js.....	Plotly knihovna
_ Dockerfile.....	Dockerfile pro kontejner docker
_ Makefile.....	