



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## DOMÁCÍ METEOSTANICE

HOME WEATHER STATION

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Macek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

BRNO 2023



# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Bc. Jan Macek

**ID:** 211159

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2022/23

**NÁZEV TÉMATU:**

## Domácí meteostanice

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je návrh a realizace domácí meteostanice umožňující základní měření vnitřních i venkovních meteorologických veličin a jejich zobrazení na displeji.

1. Provedte literární průzkum v oblasti domácích meteostanic. Zaměřte se na použité snímače meteorologických veličin (teplota, vlhkost, tlak, rychlost a směr větru, srážky atd) a jejich vlastnosti a měřicí rozsahy.
2. Specifikujte požadavky na navrhovanou domácí meteostanici.
3. Navrhněte vhodné řešení domácí meteostanice včetně návrhu komunikace, ovládání, napájení.
4. Popište vlastnosti a parametry jednotlivých komponent použitých v navrženém řešení.
5. Realizujte hardwarovou i softwarovou část meteostanice dle zvoleného návrhu.
6. Ověřte funkčnost realizované meteostanice a diskutujte dosažené výsledky.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Ďaďo, S., Kreidl, M. Senzory a měřicí obvody. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999.

**Termín zadání:** 6.2.2023

**Termín odevzdání:** 17.5.2023

**Vedoucí práce:** Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

**doc. Ing. Petr Fiedler, 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 domácí meteostanice. Cílem této práce je vytvoření domácí meteostanice, která měří teplotu, vlhkost, tlak, srážky, směr a rychlost větru. Práce je věnována problematice meteorologie, následuje seznámení s dostupnými meteostanicemi na trhu a definování požadavků na navrhovanou meteostanici. Dále je vytvořen samotný návrh hardware, konstrukční provedení a implementace software. Závěr práce je věnován zhodnocení dosažených výsledků.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

ESP32, meteostanice, Li-Ion, Raspberry Pi, ThingsBoard, WiFi, solární napájení

## **ABSTRACT**

The thesis deals with the design of a home weather station. This work aims to create a home weather station that measures temperature, humidity, pressure, precipitation, wind direction and speed. This thesis examines the problems of meteorology, followed by an introduction to the available weather stations on the market and defining the requirements for the proposed weather station. Then the actual hardware design, structural design and software implementation is created. The conclusion of the thesis represents the evaluation of the achieved results.

## **KEYWORDS**

ESP32, weather station, Li-Ion, Raspberry Pi, ThingsBoard, WiFi, solar power

MACEK, Jan. *Domáci meteostanice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2023, 86 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

## Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení autora:** Bc. Jan Macek  
**VUT ID autora:** 211159  
**Typ práce:** Diplomová práce  
**Akademický rok:** 2022/23  
**Téma závěrečné práce:** Domácí meteostanice

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 vedoucí diplomové práce paní Ing. Soně Šedivé, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Ondřeji Baštánovi za pomoc při návrhu meteostanice.

# Obsah

Úvod	13
<b>1 Meteorologie</b>	<b>14</b>
1.1 Historie meteorologie	14
1.2 Meteorologické prvky	14
1.2.1 Teplota	14
1.2.2 Tlak	15
1.2.3 Vlhkost	15
1.2.4 Srážky	16
1.2.5 Rychlost a směr větru	16
1.3 Měření meteorologických veličin	17
1.3.1 Měření teploty	18
1.3.2 Měření tlaku	20
1.3.3 Měření vlhkosti	21
1.3.4 Měření srážek	22
1.3.5 Měření rychlosti a směru větru	22
<b>2 Průzkum trhu</b>	<b>24</b>
2.1 Dostupné meteostanice na trhu	24
2.1.1 Sencor SWS 9300	24
2.1.2 GARNI 940	25
2.1.3 GARNI 3015 Arcus	25
<b>3 Požadavky na zařízení</b>	<b>27</b>
3.1 Požadavky venkovní jednotky	27
3.2 Požadavky vnitřní jednotky	29
<b>4 Návrh meteostanice</b>	<b>30</b>
4.1 Výběr snímačů	30
4.1.1 Snímač teploty a vlhkosti	30
4.1.2 Snímač atmosférického tlaku	30
4.1.3 Srážkoměr	31
4.1.4 Rychlost větru	32
4.1.5 Směr větru	33
4.2 Způsob komunikace	35
4.2.1 Venkovní jednotka	36
4.2.2 Vnitřní jednotka	37
4.2.3 ThingsBoard	39

4.3	Návrh hardware . . . . .	39
4.3.1	Řídicí DPS . . . . .	40
4.3.2	Snímače . . . . .	44
4.3.3	Konzole . . . . .	45
<b>5</b>	<b>Konstrukce</b>	<b>47</b>
5.1	Venkovní část . . . . .	47
5.2	Konzole . . . . .	49
<b>6</b>	<b>Software</b>	<b>51</b>
6.1	Meteostanice . . . . .	51
6.1.1	Návrh programu . . . . .	51
6.1.2	Měření meteorologických veličin . . . . .	53
6.1.3	Teplota . . . . .	55
6.1.4	Atmosférický tlak . . . . .	55
6.1.5	Srážky . . . . .	56
6.1.6	Směr větru . . . . .	56
6.1.7	Rychlost větru . . . . .	57
6.1.8	Měření napětí . . . . .	58
6.1.9	Light-sleep . . . . .	59
6.1.10	Displej . . . . .	60
6.2	ThingsBoard . . . . .	62
6.3	Konzole . . . . .	63
<b>7</b>	<b>Ověření funkčnosti</b>	<b>66</b>
7.1	Popis realizované meteostanice . . . . .	66
7.2	Testovací měření . . . . .	68
7.3	Výdrž akumulátoru . . . . .	71
7.4	Cena meteostanice . . . . .	72
	<b>Závěr</b>	<b>74</b>
	<b>Literatura</b>	<b>75</b>
	<b>Seznam symbolů a zkratek</b>	<b>78</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>80</b>
<b>A</b>	<b>Řídicí obvod</b>	<b>81</b>
A.1	Napájecí část . . . . .	81
A.2	Řídicí část . . . . .	82



<b>B Snímače</b>	<b>84</b>
<b>C Obsah přílohy</b>	<b>86</b>

# Seznam obrázků

1.1	Růžice směru větru [8]	16
1.2	Meteorologická budka [10]	19
1.3	Radiační štít [11]	19
1.4	Vybavení meteorologické budky [12]	19
1.5	Aneroid [13]	21
2.1	Sencor SWS 9300 [14]	24
2.2	GARNI 940 [15]	25
2.3	GARNI 3015 Arcus [16]	25
4.1	Srážkoměr MS-WH-SP-RG [30]	32
4.2	Anemometr WH-SP-WS01 [31]	32
4.3	Směrovka WH-SP-WD [32]	33
4.4	Schéma zapojení jazýčkových kontaktů	33
4.5	Znázornění komunikace meteostanice	35
4.6	Blokové schéma venkovní části	37
4.7	Displej Waveshare 7" [20]	38
4.8	Raspberry Pi 4B [23]	38
4.9	Blokové schéma vnitřní části	38
4.10	Schéma zapojení obvodu CN3791	41
4.11	Schéma zapojení obvodu DW01A	41
4.12	Schéma zapojení obvodu TPS79633	42
4.13	Schéma zapojení mikrokontroléru ESP32	42
4.14	Schéma zapojení snímačů a ovládacích prvků	43
4.15	3D model řídicí DPS	44
4.16	3D modely DPS	45
4.17	Schéma zapojení konzole	46
5.1	Fotografie krabičky s ostatními komponenty	48
5.2	Výsledná konstrukce meteostanice	49
5.3	Konzole (přední pohled)	50
5.4	Konzole (zadní pohled)	50
6.1	Blokové schéma průchodu programu	52
6.2	Ukázka funkce <code>mainProgram()</code>	53
6.3	Funkce <code>sendData()</code>	54
6.4	Funkce <code>shtHeater()</code>	55
6.5	Funkce <code>rain()</code> a <code>rainUpdate()</code>	56
6.6	Funkce <code>windDir()</code>	57
6.7	Funkce <code>windSpeed()</code>	58
6.8	Funkce <code>batVoltage()</code>	59

6.9	Light-sleep . . . . .	60
6.10	Funkce mainProgramDisp() . . . . .	61
6.11	Obrazovky displeje . . . . .	62
6.12	Příjem meteorologických dat . . . . .	63
6.13	Diagram programu konzole . . . . .	64
6.14	Smyčka main konzole . . . . .	65
7.1	Dashboard konzole . . . . .	66
7.2	Dashboard meteostanice a konzole . . . . .	67
7.3	Dashboard meteostanice . . . . .	67
7.4	Graf teploty . . . . .	69
7.5	Graf rychlosti větru . . . . .	71
A.1	Předloha zapojení napájecího obvodu . . . . .	81
A.2	Předloha zapojení řídicího obvodu . . . . .	82
A.3	Seznam součástek řídicí DPS . . . . .	83
B.1	Schéma zapojení snímačů . . . . .	84
B.2	Seznam součástek snímací DPS . . . . .	85

# Seznam tabulek

1.1	Převodní tabulka jednotek tlaku . . . . .	15
1.2	Beaufortova stupnice síly větru [4] . . . . .	17
2.1	Přehled parametrů meteostanic . . . . .	26
3.1	Požadavky parametrů snímačů venkovní jednotky . . . . .	28
3.2	Požadavky parametrů snímačů vnitřní jednotky . . . . .	29
4.1	Parametry snímače SHT35 . . . . .	30
4.2	Parametry snímače BMP388 . . . . .	31
4.3	Parametry srážkoměru MS-WH-SP-RG [29] . . . . .	31
4.4	Parametry anemometru WH-SP-WS01 [29] . . . . .	32
4.5	Tabulka úhlů natočení s odpovídajícím odporem směrovky WH-SP- WD [32] . . . . .	34
4.6	Tabulka použitých snímačů venkovní jednotky . . . . .	34
4.7	Tabulka použitých snímačů vnitřní jednotky . . . . .	35
7.1	Parametry snímače PT100 . . . . .	68
7.2	Naměřené hodnoty teplot snímači SHT35 a PT100 . . . . .	69
7.3	Parametry snímače Voltcraft PL-135HAN . . . . .	70
7.4	Naměřené hodnoty rychlosti větru anemometry Voltcraft PL-135HAN a WH-SP-WS01 . . . . .	70
7.5	Hodnoty odebíraného proudu ESP32 . . . . .	72
7.6	Ceny komponent venkovní meteostanice . . . . .	73
7.7	Ceny komponent vnitřní konzole . . . . .	73

# Úvod

Tato práce se zabývá návrhem vlastní domácí meteostanice. Meteorologie ovlivňuje náš každodenní život. Venkovní teplota udává, jaké zvolíme oblečení než vyjdeme ven, množství srážek zase, jestli si vezmeme deštník. Pro měření aktuální teploty stačí rtuťový teploměr připevněný za oknem. Kdybychom ale chtěli vědět, jaká byla teplota uprostřed noci, potřebujeme už zařízení (meteostanici), které hodnotu zaznamenává i v průběhu času. Na trhu se vyskytuje bezpočet druhů meteostanic, které umožňují měřit různé meteorologické veličiny. Najít ovšem takovou, která ideálně vyhovuje našim představám je velice obtížné. Levné meteostanice vyžadují kompromisy například v přesnosti měření, možnosti ukládání dat nebo mezi dalšími funkcemi. Meteostanice s cenou několik desítek tisíc můžou být pro někoho drahé. Dnes už ale není obtížné si meteostanici sestavit přesně podle svých představ, s vlastními funkcemi a měřitelnými meteorologickými parametry.

Tato práce je věnována návrhu domácí meteostanice, která bude automaticky zaznamenávat základní meteorologické prvky a naměřená data odesílat do zobrazovacího zařízení.

První kapitola práce je věnována seznámení s meteorologií a popisu základních meteorologických prvků. Dále jsou v kapitole uvedeny vlastnosti snímačů určených pro měření meteorologických prvků.

Před samotným návrhem domácí meteostanice je proveden průzkum trhu z důvodu seznámení se s dostupnými zařízeními na trhu. Zde jsou vybrány tři domácí meteostanice a porovnány jejich parametry, vlastnosti a funkce.

V další části jsou vydefinovány požadavky na navrhovanou meteostanici. Především měřené meteorologické prvky, snímače, vlastnosti, napájení a komunikace.

Následuje samotný návrh meteostanice. Začátek kapitoly popisuje výběr jednotlivých snímačů meteorologických veličin a způsob komunikace. Dále je popsán samotný návrh a rozdělení na venkovní a vnitřní jednotku. Kapitulu uzavírá návrh hardware.

Pátá kapitola se věnuje popisu zvolené konstrukce. Jako první je popsána konstrukce venkovní části meteostanice a následně i vnitřní konzole.

V předposlední kapitole je popis navrženého software. Nejdříve je popsán implementovaný program venkovní jednotky a následně vnitřní konzole.

Práce je uzavřena ověřením funkčnosti meteostanice a zhodnocením dosažených výsledků.

# 1 Meteorologie

Meteorologie je vědní disciplína, která se zabývá fyzikálními a chemickými ději v atmosféře. Využívá fyzikálních poznatků ke studiu složení a stavby atmosféry, oběhu tepla a vody v atmosféře nebo elektrických a optických jevů. Meteorologii můžeme rozlišit podle zaměření na dynamickou, synoptickou, fyzikální, kosmickou atd. Zemědělská, letecká, námořní nebo biometeorologie tvoří odvětví, specifické pro danou oblast. Klimatologie se zabývá změnami podnebí na Zemi.[1]

## 1.1 Historie meteorologie

Meteorologie patří mezi nejstarší vědní disciplíny. Poznatky o počasí se využívaly k vyhledávání vhodných míst k zakládání měst, pěstování plodin nebo mořeplavectví. Znalosti o počasí shrnul již Aristotelés (384 - 322 př.Kr.) v knize Meteórologika.

Velký pokrok fyziky v 17. století přispěl k základu meteorologie. Významní fyzici jako Galileo, Pascal nebo Torricelli vysvětlili zákony chování plynů i kapalin a sestrojili první přístroje, které začaly měřit meteorologické prvky.

Doložená pravidelná meteorologická měření na českém území začínají od roku 1 775 a to v pražském Klementinu, kde se nepřetržitě měří již více než 250. Dlouhodobé fungování v Klementinu je ojedinělý a významný zdroj informací z dlouhodobého pozorování a vývoje klimatu.[2][3]

## 1.2 Meteorologické prvky

Mezi základní měřitelné a pozorovatelné meteorologické prvky lze zařadit teplotu vzduchu, vlhkost, tlak, rychlost a směr větru a množství srážek.

### 1.2.1 Teplota

Termodynamická teplota  $T$  patří mezi sedm základních fyzikálních veličin soustavy SI. Teplota je forma energie, kterou mají částice hmoty. Jednotkou je kelvin (K) a stupnice je definována dvěma body. Absolutní nulou tedy 0 K a trojným bodem vody (273,16 K). V meteorologii je ale více využívána Celsiova ( $^{\circ}\text{C}$ ) stupnice nebo Fahrenheitova ( $^{\circ}\text{F}$ ) stupnice využívaná v USA. Vztah mezi teplotou uváděnou ve stupních Celsia a kelviny je uveden na následujícím převodním vztahu 1.1. Pro přepočítání ze stupních Celsia na stupně Fahrenheita lze využít vztah 1.2.[5]

$$t = t [^{\circ}\text{C}] + 273,15 [\text{K}] \quad (1.1)$$

$$t = (t [^{\circ}\text{C}] \cdot 1,8) + 32 [^{\circ}\text{F}] \quad (1.2)$$

## 1.2.2 Tlak

Atmosferický tlak lze definovat jako hydrostatický tlak, který je vyvolán tíhou vzduchového sloupce od měřené hladiny až k horní hranici atmosféry. Základní jednotkou je pascal (Pa), který se rovná síle 1 N/m<sup>2</sup>. Dalšími jednotkami vyjádření velikosti tlaku můžou být například bar, atm, psi. Převod mezi jednotkami tlaku je uveden v tabulce 1.1 Můžeme se setkat i se staršími jednotkami jako je torr nebo také milimetr rtuťového sloupce mmHg (1 Torr = 1 mmHg). Atmosferický tlak dosahuje ale větších jednotek než pascal (Pa) a proto se v meteorologii využívají násobky hPa nebo kPa. Za průměrný atmosferický tlak se považuje hodnota 1 013,25 hPa.[6]

Tab. 1.1: Převodní tabulka jednotek tlaku

Jednotky tlaku	pascal (Pa)
1 Torr	133,3
1 bar	100 000
1 atm	101 325
1 psi	6 894,8

Statický tlak prostředí můžeme vypočítat z následujícího vztahu:

$$p = \frac{F}{S} [Pa] \quad (1.3)$$

- $p$  - tlak [Pa]
- $F$  - tlaková síla [N]
- $S$  - plocha [ $m^2$ ]

## 1.2.3 Vlhkost

Množství obsažené vody (vodních par) ve vzduchu je jednou ze základních meteorologických veličin. Vlhkost vzduchu má zásadní vliv na vznik a průběh počasí (množství srážek a oblačnosti). Vlhkost vzduchu lze charakterizovat jako:

- **Absolutní vlhkost** - se značí ( $a$ ) a lze vypočítat jako poměr hmotnosti ( $m$ ) vodních par v objemu ( $V$ ) vzduchu.

$$a = \frac{m}{V} [g \cdot m^{-3}] \quad (1.4)$$

- **Relativní (poměrná) vlhkost** - se značí ( $r$ ) a vyjadřuje poměr vodních par ( $e$ ) k maximálnímu napětí nasycení ( $E$ ) při určité teplotě.

$$r = \frac{e}{E} \cdot 100 [\%] \quad (1.5)$$

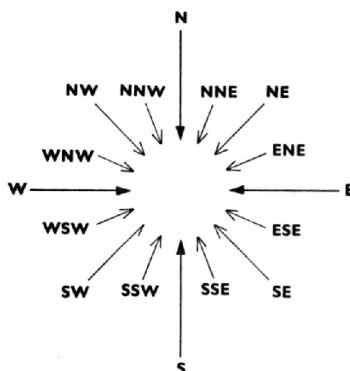
Rosný bod je další z důležitých meteorologických veličin. Značí se  $\tau$  a udává teplotu, při které je vzduch nasycen vodní párou, aniž by vodní pára byla dodána zvnějšku. Jednotkou jsou  $^{\circ}\text{C}$ . Při poklesu teploty pod rosný bod, dochází ke kondenzaci vodních par ve vzduchu. To se projeví vznikem rosy nebo mlhy. Teplota rosného bodu je vždy nižší než teplota vzduchu při relativní vlhkosti 100 %.[4][5]

### 1.2.4 Srážky

Atmosferické srážky vznikají kondenzací vodní páry v atmosféře a dopadají na zem v kapalném (déšť), pevném stavu (sníh) nebo jejich kombinací. Při kondenzaci se vodní kapičky neustále zvětšují a od určitého okamžiku výstupné proudy částice neudrží a kapky začínají padat na zem. Za základní vertikální srážky můžeme označit déšť, mrholení a sníh. Množství srážek se uvádí v mm vodního sloupce. Jeden mm spadlých srážek představuje 1 litr vody na ploše  $1\text{ m}^2$ . Nejčastěji se srážky zpracovávají jako denní, měsíční nebo roční úhrny.[1]

### 1.2.5 Rychlost a směr větru

Vítr patří mezi základní meteorologické prvky a lze ho charakterizovat jako přemísťování vzduchu vzhledem k povrchu země. Na proudění vzduchu má velký vliv atmosférický tlak. Změny atmosférického tlaku, které jsou způsobeny nerovnoměrným ohříváním země, způsobují, že částice vzduchu proudí z místa s vyšším tlakem vzduchu do míst s nižším tlakem vzduchu. Vítr můžeme popsat jako vektor, má směr a velikost(rychlost). Směr větru se vyjadřuje ve stupních azimutu, který udává úhel mezi daným směrem větru a severem. Úhel vzrůstá od severu na východ dále k jihu a na západ. Například východní vítr má azimut  $90^{\circ}$ . K určení směru větru slouží větrná růžice, která je na obrázku 1.1.



Obr. 1.1: Růžice směru větru [8]



Z hlavních světových stran lze dále skládat i vedlejší směry např. (NE - North-East (Severo-východ)).

Další charakteristickou vlastností větru je rychlost. Rychlost větru se udává v  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  nebo v  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Rychlost větru je silně ovlivněna překážkami jako jsou stromy nebo domy. Tyto překážky snižují rychlost větru. Pro stanovení rychlosti a síly větru se již od roku 1905 používá 13. dílná Beaufortova stupnice síly větru, která je uvedena v tabulce 1.2. Původně se používala k námořním účelům.[4]

Tab. 1.2: Beaufortova stupnice síly větru [4]

Stupeň	Označení	Rychlost větru	
		$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$	$[\text{km}\cdot\text{h}^{-1}]$
0	Bezvětří	0,0-0,2	<1
1	Vánek	0,3-1,5	1-5
2	Slabý vítr	1,6-3,3	6-11
3	Mírný vítr	3,4-5,4	12-19
4	Dostí čerstvý vítr	5,5-7,9	20-28
5	Čerstvý vítr	8,0-10,7	29-38
6	Silný vítr	10,8-13,8	39-49
7	Prudký vítr	13,9-17,1	50-61
8	Bouřlivý vítr	17,2-20,7	62-74
9	Vichřice	20,8-24,4	75-88
10	Silná vichřice	24,5-28,4	89-102
11	Mohutná vichřice	28,5-32,6	103-117
12	Orkán	> 32,6	> 117

Mezi další měřitelné meteorologické prvky patří měření teploty vody, oblačnosti, doba slunečního svitu, intenzita slunečního svitu, měření výparů nebo dohlednost.

### 1.3 Měření meteorologických veličin

Meteorologické snímače měří meteorologické veličiny. Meteorologické přístroje u meteorologických stanic jsou umístěny na meteorologické zahrádce. Jedná se o pozemek na kterém je trávník, který se v zimě neudrzuje. Pozemek nesmí mít v okolí překážky, aby neovlivňovaly měření. Takovými překážkami jsou například vysoké stromy nebo domy.

V minulosti meteorologické stanice vyžadovaly obsluhu, která musela odečíst hodnoty ze snímačů a zapsat. V dnešní době základní síť stanic pracuje automaticky.

Tyto stanice automaticky měří meteorologické prvky a naměřená data se odesílají ke zpracování nebo uložení.

### 1.3.1 Měření teploty

K měření teploty se nejčastěji využívají skleněné kapalinové, deformační (bimetalické) nebo elektrické teploměry.

**Kapalinové teploměry** - využívá k měření teploty roztažnost kapalin, nejčastěji se využívá rtuť, toluen nebo líh. Při zahřívání se mění délka sloupce v kapiláře. Hodnotu teploty následně lze odečíst ze stupnice.

**Deformační teploměry** - jsou založeny na roztažnosti kovů. Bimetalový pásek je složen ze dvou kovů. Změna teploty způsobuje ohýbání pásku. Tento pohyb následně pomocí ručičky ukazuje na stupnici teplotu.

**Elektrické teploměry** mohou být:

- **Odporové** - principem těchto snímačů je teplotní závislost odporu kovu. Materiálem může být platina, nikl a měď.
- **Polovodičové** - využívají teplotní závislost napětí na PN přechodu v propustném směru.
- **Termoelektrické** - jsou založeny na Seebeckově jevu. Elektrické napětí lze naměřit na svorkách obvodu dvou materiálově různých vodičů, jestliže mají spoje různou teplotu.[7]

Teplota vzduchu se převážně měřila v meteorologických budkách (obr. 1.2). Meteorologická budka je nejčastěji dřevěná nebo plastová skříň natřená bílou barvou z důvodu odrazení co největšího množství slunečního záření. Meteorologická budka je po stranách vybavena žaluziemi, které zamezují přímému slunečnímu záření a vniknutí srážek, ale umožňují ovívání přístrojů. Dvířka musí být nasměrována vždy na sever, aby při odečítání hodnot slunečního záření neovlivňovalo přístroje. K měření teploty se využívaly maximální a minimální teploměry, které měří maximální a minimální teplotu vzduchu a termograf, který zaznamenával na papír průběh teploty po celý týden. V současné době se meteorologické budky využívají pouze jako náhrada nebo ke kontrole získávání údajů. Kapalinové a deformační teploměry jsou v dnešní době nahrazeny elektrickými, jelikož umožňují automatické měření. Funkci budky u automatických meteorologických stanic nahradil radiační štít, který je zobrazen na obrázku 1.3. Jeho princip je velmi podobný meteorologické budce. Ze strany je tvořen žaluziemi, které umožňují proudění vzduchu a vrchní kryt chrání před atmosférickými srážkami. Do radiačního štítu se umísťují elektrické snímače teploty a vlhkosti. Aby bylo zajištěno proudění vzduchu kolem snímačů, existují aktivní radiační štíty, které obsahují větrák z důvodu ovívání snímačů během bezvětří. Podle světové meteorologické organizace (WMO - World Meteorological Organization) je

umístění snímačů v meteorologické budce a v radiačních štítech stanoveno ve výšce 2 m nad zemí a nad přírodním povrchem, nejlépe nad trávou.[9]



Obr. 1.2: Meteorologická budka [10]



Obr. 1.3: Radiační štít [11]

Vnitřek meteorologické budky a umístění meteorologických snímačů můžeme vidět na obrázku 1.4. Můžeme zde vidět suché a vlhké teploměry (svislé), vlasový vlhkoměr, minimální a maximální teploměry (vodorovné), termograf a hydrograf.



Obr. 1.4: Vybavení meteorologické budky [12]

Teplota půdy se měří v různých hloubkách (od 5 cm do hloubky 100 cm). Měří se půdními hloubkovými teploměry, kapalinovými nebo elektrickými. Na teplotu půdy má vliv sluneční záření a v zimě výška sněhu. Teplota půdy je důležitou meteorologickou veličinou v zemědělství nebo ve stavebnictví.

Měření teplot se nejčastěji provádí s přesností na 0,1 °C. Rozsah skleněných kapalinových teploměrů v meteorologii bývá nejčastěji v rozsahu od -50 až -30 °C do 40 až 50 °C.[4]

Meteorologická měření a pozorování se provádí 3 x denně v časech 7, 14 a 21 hodin středoevropského času. Průměrnou denní teplotu můžeme vypočítat z následujícího vztahu:

$$\bar{t}_d = \frac{t_7 + t_{14} + 2 \cdot t_{21}}{4} [^{\circ}\text{C}] \quad (1.6)$$

- $t_7, t_{14}, t_{21}$  - termínové teploty

Podle maximálních a minimálních teplot v průběhu dne lze pojmenovat 6 charakteristických dnů. Počet nebo určení prvního a posledního charakteristického dne může být důležité pro jednotlivé měsíce, období nebo roky. Určení těchto dnů se využívá následně k porovnávání během let nebo mezi oblastmi.[1]

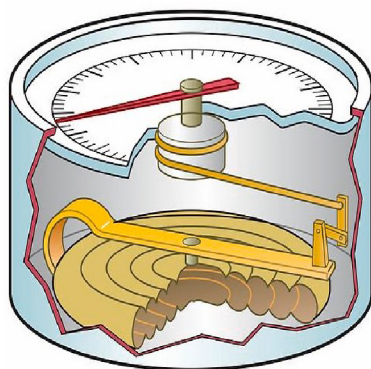
- tropický (max. denní teplota  $t_{d\_max} \geq 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- den s tropickou nocí (noční min.  $t_{n\_min} \geq 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- letní (max. denní teplota  $t_{d\_max} \geq 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- mrazový (min. denní teplota  $t_{d\_min} < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- ledový (denní max. teplota  $t_{d\_max} < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- arktický (max. denní teplota  $t_{d\_max} \leq -10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )

### 1.3.2 Měření tlaku

Atmosferický tlak se měří tlakoměry (barometry). Měření se provádí s rozlišením 0,1 hPa v rozsahu 800 - 1 100 hPa.

**Rtuťové tlakoměry** - tlak rtuťovým tlakoměrem určíme výškou rtuťového sloupce. Výška rtuťového sloupce se určuje v trubici, která je z horní strany uzavřená a ponořená do nádobky se rtutí. Jednotkou je mmHg (1 Torr = 133,322368 Pa). U rtuťových tlakoměrů se musí provést oprava na teplotu. Provádí se redukce odečítaného tlaku na teplotu 0 °C pomocí tzv. opravných tabulek. Při hodnotách teplot vyšších než 0 °C se hodnoty odečítají a při záporných zase přičítají k naměřené hodnotě tlaku.

**Aneroid** - jedná se o mechanický přístroj pro měření tlaku. Základem je pružná kovová krabička, ve které je vakuum. Změnami tlaku dochází u její plochy k průhybu, který je pak pákovým zařízením přenášen na ručičku stupnice. Aneroidy jsou méně přesné než rtuťové tlakoměry, ale jsou zase menší a snadno přenosné. Na stejném principu pracuje i barograf, ten stejně jako termograf zapisuje průběh tlaku na papír. Znázornění, jak vypadá aneroid, lze vidět na obrázku 1.5.



Obr. 1.5: Aneroid [13]

**Elektrické tlakoměry** - jsou založeny na principu převodu tlaku na měření síly. Existuje několik principů například:

- **Kapacitní** - tyto snímače pracují na principu změny kapacity, která je způsobena průhybem tenké membrány. Typicky se využívají pro měření diferenčního tlaku.
- **Piezelektrické** - piezelektrické snímače tlaku převádí působící tlak na piezelektrický materiál. Namáháním piezelektrického materiálu je generován náboj na základě piezelektrického jevu. Tyto snímače umožňují měření pouze diferenčního tlaku.
- **Deformační membránové** - základním principem těchto snímačů je namáhání vetknuté kruhové membrány. Membrána je typickým deformačním členem, u kterého vyhodnocujeme mechanické napětí, které se měří pomocí tenzometrů.[7]

### 1.3.3 Měření vlhkosti

Vlhkost vzduchu se měří psychrometry nebo vlasovými vlhkoměry. Nejčastěji se udává relativní vlhkost s přesností na 1 % v rozsahu 0 - 100 %.

**Psychrometr** - je složen ze dvou rtuťových teploměrů. Jeden je tzv. suchý a druhý tzv. vlhký. Vlhký teploměr má teploměrnou kuličku obalenou savou látkou, která je zvlhčována nádobkou s vodou. Naměřená teplota těchto teploměrů pak není stejná. Rozdíl teplot se následně použije k výpočtu relativní vlhkosti:

$$e = E_1 - A \cdot (t - t') \cdot p \quad (1.7)$$

- $E_1$  - napětí nasycené páry při teplotě vlhkého teploměru
- $A$  - psychrometrická konstanta
- $t$  - teplota suchého teploměru
- $t'$  - teplota vlhkého teploměru

- $p$  - atmosférická tlak

**Vlasové vlhkoměry** - tento přístroj využívá k měření změnu délky odmaštěného lidského vlasu, způsobenou změnou vlhkosti. Při narůstající vlhkosti se vlas nebo svazek vlasů prodlužuje. Relativní vlhkost je následně odečtena ze stupnice.

**Elektrické snímače vlhkosti** - měří vlhkost díky změně fyzikálně-chemických vlastností materiálu. Mohou být:

- **Odporové** - pracují na principu změny impedance sorpčního materiálu způsobenou vlhkostí okolního plynu.
- **Kapacitní** - snímače využívají vyšší permitivity vodní páry. Vlhkost vzduchu výrazně ovlivňuje permitivitu dielektrika. Se zvyšující vlhkostí narůstá i výsledná kapacita snímače.[7]

### 1.3.4 Měření srážek

Množství srážek se měří srážkoměry (ombrometry). Srážkoměr se skládá z velké srážkové nádoby, která má plochu 500 cm<sup>2</sup> nebo 200 cm<sup>2</sup>. Dále se skládá z nálevky, která spadlé srážky zachycuje do odměrky s mm stupnicí. Pomocí ombrografu lze průběh srážek zapisovat na papír.

Výška sněhu se měří pomocí sněhoměrné lati s přesností na 1 cm. Výška nového napadaného sněhu se měří v rozmezí 24 hodin od 7. hodiny ranní.[1]

**Člunkový srážkoměr** - Principem je podobný ombrometru. Člunkový srážkoměr tvoří záchytný válec s nálevkou. Voda z nálevky je přivedena na člunek, který se po naplnění překlopí a vyprázdní. Překlopení je zaznamenáno a voda se začíná plnit do druhé poloviny člunku. Výsledné množství srážek je dáno počtem překlopení a objemem naplněné poloviny člunku. Vytápění člunkového srážkoměru umožňuje měřit i pevné srážky.

### 1.3.5 Měření rychlosti a směru větru

K měření rychlosti větru se používají anemometry. Směr větru se měří větrnými směrovkami.

**Mechanický (miskový) anemometr** - využívá dynamické účinky tlaku vzduchu. Základem je Robinsonův kříž, který tvoří 3 nebo 4 misky, které se otáčí kolem středu. Proudící horizontální vítr působí silou na misky, které jsou následně roztočeny. Polokulový nebo kuželový tvar misek zaručuje otáčení kříže vždy jen na jednu stranu. Rychlost otáčení kříže odpovídá rychlosti větru. Výhodou je měření horizontální rychlosti větru ze všech směrů. Nevýhodou miskových anemometrů je, že tření v ložiskách neumožňuje měření slabého proudění větru a časem se může projevit opotřebení konstrukce.

**Větrná směrovka** - K určení směru větru se využívají větrné směrovky. Směr větru je dán natočením směrovky rovnoběžně s proudícím větrem. Natočení je vyhodnoceno např. spínáním jazýčkových kontaktů. Bývá často součástí anemometrů.[1]

## 2 Průzkum trhu

Před samotným návrhem je vhodné provést průzkum trhu v oblasti domácích meteorostanic. Obeznámit se s měřitelnými parametry, rozsahy, přesností nebo provedením.

### 2.1 Dostupné meteorostanice na trhu

Na trhu můžeme najít nespočet provedení domácích meteorostanic. Jednoduché domácí meteorostanice často umí měřit jen vnitřní a venkovní teplotu, vlhkost popřípadě tlak. V rámci průzkumu trhu byly vybrány tři meteorostanice, které umožňují měřit základní meteorologické prvky, tedy teplotu, vlhkost, tlak, srážky, rychlost a směr větru, jako navrhovaná meteorostanice. Popis měřitelných meteorologických prvků navrhované meteorostanice je uveden v kapitole 3. Naměřená data jsou následně zobrazována na displej.

#### 2.1.1 Sencor SWS 9300

Meteorostanice Sencor SWS 9300 (obr. 2.1) patří k nejlevnějším meteorostanicím na trhu. Meteorostanice má dvě části, venkovní bezdrátový snímač 5-V-1 a vnitřní konzolu. Venkovní část měří úhrn srážek, teplotu, vlhkost, rychlost a směr větru. Snímače jsou napájeny bateriemi a údaje odesílány do konzole. Venkovní snímač komunikuje s konzolí na frekvenci 868 MHz až na vzdálenost 150 m v otevřeném prostoru. Vnitřní část slouží k zobrazení naměřených dat a měření vnitřní teploty a vlhkosti. Stanice disponuje několika funkcemi jakou jsou zobrazení času, data, funkci budíku, nastavení alarmu při překročení hodnot, grafický vývoj tlaku a srážek nebo zobrazení maximálních a minimálních záznamů. Konzole je napájena ze sítě pomocí USB adaptérů a zároveň je vybavena záložní baterií. Displej umožňuje nastavení několika úrovní jasu nebo automatického přizpůsobení úrovní osvětlení.[14]



Obr. 2.1: Sencor SWS 9300 [14]



### 2.1.2 GARNI 940

Meteostanice GARNI 940 je velice podobná předchozí zmíněné. Je rovněž rozdělena na dvě části, přičemž venkovní část disponuje navíc měřením UV záření, intenzity osvětlení a také solárním panelem, který dobíjí baterie. Komunikace probíhá stejně jako u Sencoru a to na frekvenci 868 MHz. Dosah signálu z bezdrátového čidla je udáván až 100 m v otevřeném prostoru. Zobrazovací displej obsahuje výše zmíněné funkce jako Sencor, ale nabízí i další funkce jako nahrávání naměřených hodnot na Weathercloud přes WiFi. Meteostanice na základě změny tlaku umožňuje předpověď počasí na 12 až 24 hodin z těchto možností zobrazení: slunečno, polojasno, oblačno, déšť, sněžení. Dále je zde možnost stáhnutí několika aplikací do mobilního telefonu, které umožňují zobrazení naměřených dat z meteostanice. Meteostanici GARNI 940 lze vidět na obrázku 2.2.[15]

### 2.1.3 GARNI 3015 Arcus

Poslední vybranou meteostanicí je GARNI 3015 Arcus (obr. 2.3), která patří mezi nejdražší domácí meteostanice. Bezdrátový venkovní snímač 7-V-1 měří totožné parametry jako GARNI 940, ale uvnitř radiálního štítu má navíc ventilátor, který zajišťuje ideální podmínky k měření. Komunikace probíhá stejně jako u výše zmíněných meteostanic. Zobrazovací konzole umožňuje připojení až 7 přídavných čidel například pro měření teploty a vlhkosti. Konzole nabízí zobrazení naměřených dat do tabulek nebo grafů. Dále nabízí možnost připojení USB disku, na který lze ukládat naměřená data. Jako ostatní zmíněné meteostanice je zde možnost přepínání mezi Celsiovou a Fahrenheitovou stupnicí, rychlosti větru ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) nebo barometrického tlaku (hPa, mmHg).[16]



Obr. 2.2: GARNI 940 [15]



Obr. 2.3: GARNI 3015 Arcus [16]

V tabulce 2.1 jsou přehledně vypsány parametry snímačů zmíněných meteostanic.

Tab. 2.1: Přehled parametrů meteostanic

Parametry		Sencor SWS 9300	GARNI 940	GARNI 3015 Arcus
Vnější teplota	Rozsah	-40 °C až 80 °C	-25 °C až +60 °C	- 40°C až +60°C
	Rozlišení	0,1 °C	0,1 °C	0,1 °C
	Přesnost	±0,4°C	±1 °C	±0.4 °C
Vnější vlhkost	Rozsah	0 % až 100 %	10 % až 99 %	1 % až 99 %
	Rozlišení	1 %	1 %	1 %
	Přesnost	±3,5 %	±5 %	±2.5 %
Úhrn srážek	Rozsah	0 až 9 999 mm	0 až 6 000 mm	0 až 19 999 mm
	Rozlišení	0,4 mm	0,1 mm	0,1 mm
	Přesnost	±7 %	±7 %	±7 %
Rychlost větru	Rozsah	0 až 50 m/s	0 až 50 m/s	0 až 50 m/s
	Rozlišení	0,1 m/s	0,1 m/s	0,1 m/s
	Přesnost	±6 %	±10 %	±6 %
Směr větru	Rozlišení	16 pozic	16 pozic	16 pozic
Vnitřní teplota	Rozsah	-5 °C až 50 °C	-10 °C až +60 °C	-40 °C až +60 °C
	Rozlišení	0,1 °C	0,1 °C	0,1 °C
	Přesnost	±1 °C	±1 °C	±1 °C
Vnitřní vlhkost	Rozsah	20 % až 90 %	10 % až 99 %	1 % až 99 %
	Rozlišení	1 %	1 %	1 %
	Přesnost	±5 %	±5 %	±3.5 %
Atmosférický tlak	Rozsah	700 až 1 100 hPa	700 až 1 100 hPa	700 až 1 100 hPa
	Rozlišení	1 hPa	0,1 hPa	1 hPa
	Přesnost	±5 hPa	±3 hPa	±5 hPa
UV index	Rozsah	NE	0 až 15	0 až 16
	Rozlišení	NE	1	0,1
Intenzita slun. z.	Rozsah	NE	0 až 400k Lux	0 až 200k Lux
	Rozlišení	NE	0,01	0,01
Cloudové služby		NE	ANO	ANO
USB připojení		NE	NE	ANO
Cena		1 999 Kč	4 698 Kč	9 989 Kč

## 3 Požadavky na zařízení

Na základě průzkumu trhu jsou definovány požadavky na navrhovanou domácí meteostanici, zahrnující meteorologické veličiny, které bude meteostanice schopna měřit i s jakými parametry. Z průzkumu trhu vyplývá, že navrhována meteostanice musí být rozdělena na venkovní a vnitřní část. Venkovní část musí měřit a odesílat vnější meteorologická data. Vnitřní jednotka (konzole) musí být schopna tato data přijímat a následně zobrazit.

### 3.1 Požadavky venkovní jednotky

Hlavními požadavky na venkovní část meteostanice jsou meteorologické prvky, které je meteostanice schopna měřit. Z průzkumu trhu byly definovány následující:

- Teplota
- Vlhkost
- Tlak
- Úhrn srážek
- Rychlost a směr větru

K těmto šesti základním meteorologickým prvkům bylo přidáno měření napětí baterie. Informaci o stavu baterie lze využít k předcházení vybití akumulátoru a vypnutí meteostanice.

Aby bylo zajištěno správné měření teploty, vlhkosti a tlaku, je nutné snímač umístit do výšky 2 m nad zemí nad travnatý a rovný povrch, jak již bylo zmíněno v kapitole 1.3.1. Snímače musí být umístěny tak, aby byly chráněny před vniknutím vody, ale zároveň aby docházelo k ovívání snímačů. Snímače rychlosti a směru větru musí být umístěny tak, aby bylo zajištěno proudění vzduchu ze všech směrů. Z průzkumu trhu bylo rozhodnuto i o rozložení snímačů a řídicí jednotky. Všechny snímače musí být umístěny na jedné konstrukci a v dosahu od řídicí jednotky.

V tabulce 3.1 jsou vydefinovány jednotlivé parametry snímačů venkovní části meteostanice.

Tab. 3.1: Požadavky parametrů snímačů venkovní jednotky

Parametry		Hodnota
Teplota	Rozsah	-40 °C až 80 °C
	Rozlišení	0,1 °C
	Přesnost	±0,5°C
Vlhkost	Rozsah	0 % až 100 %
	Rozlišení	1 %
	Přesnost	±3 %
Tlak	Rozsah	700 až 1 100 hPa
	Rozlišení	0,1 hPa
	Přesnost	±1 hPa
Úhrn srážek	Rozsah	0 až 9 999 mm
	Rozlišení	0,3 mm
	Přesnost	±10 %
Rychlost větru	Rozsah	0 až 50 m/s
	Rozlišení	0,1 m/s
	Přesnost	±6 %
Směr větru	Rozlišení	16 pozic

Důležitým požadavkem je i časový interval měření. Navrhovaná meteostanice musí být schopna odesílat naměřená data alespoň jednou za 10 min.

Jelikož musí být venkovní část umístěna na volném prostranství, kde nebude možné se připojit k síti, musí být meteostanice napájena z akumulátoru. Aby nedocházelo k časté výměně akumulátorů, je požadavkem použití solárního panelu z důvodu dobíjení akumulátorů.

Z důvodu umístění je nutné použití bezdrátového přenosu dat. Jelikož se jedná o domácí meteostanici, předpokládá se umístění blízko domu nebo bytu. Z tohoto důvodu je vybrán i typ bezdrátové sítě a to pomocí WiFi, kterou v dnešní době disponuje téměř každý. Požadavkem je tedy zajistit dosah signálu WiFi k venkovní jednotce a přístup k internetu.

Dále je nutné zajistit ukládání naměřených veličin, aby bylo možné zpětně data procházet.

Aby bylo možné odečítat naměřená data i u venkovní jednotky, je potřeba k meteostanici umístit displej. V rámci úspory odebíraného proudu z akumulátoru musí displej být typu OLED, jelikož spotřeba závisí na počtu rozsvícených pixelů.

Veškeré komponenty venkovní části meteostanice, musí splňovat rozsah provozních teplot od -30 °C do 50 °C.

## 3.2 Požadavky vnitřní jednotky

Základním požadavkem na vnitřní jednotku (konzoli) je čitelné zobrazení naměřených dat na displej. Displej musí být barevný a dotykový, aby bylo možné přecházet mezi naměřenými parametry a pohodlně vyčítat naměřená data. Velikost displeje musí být alespoň 5" a rozlišení 800 x 480 pixelů. Dalším nezbytným parametrem je přístup konzole k internetu.

Hardware část musí být uložena v ochranném obalu, aby bylo možné mít konzoli umístěnou v místnosti.

Jelikož bude konzole umístěna v dosahu elektrické sítě, není požadován bateriový provoz. V případě výpadku elektrické energie, není požadavkem zajistit funkčnost zařízení, ale je nutné zajistit zobrazení naměřených dat z venkovní jednotky, které byly naměřeny během výpadku.

Z průzkumu trhu je patrné, že vnitřní konzole umožňují kromě zobrazení dat i měření teploty a vlhkosti v místnosti, kde je konzole umístěna. Měření teploty a vlhkosti jsou požadavky na navrhovanou konzoli. Požadované parametry vnitřní konzole jsou uvedeny v tabulce 3.2.

Tab. 3.2: Požadavky parametrů snímačů vnitřní jednotky

Parametry		Hodnota
Teplota	Rozsah	-5 °C až 60 °C
	Rozlišení	0,1 °C
	Přesnost	±0,5 °C
Vlhkost	Rozsah	0 % až 100 %
	Rozlišení	1 %
	Přesnost	±3 %

## 4 Návrh meteostanice

V této kapitole je popsán způsob komunikace, vytypovaný hardware pro venkovní a vnitřní část. V závěru kapitoly pak zvolené jednotlivé snímače.

### 4.1 Výběr snímačů

V této kapitole jsou popsány konkrétní snímače meteorologických veličin, které byly vybrány na základě požadavků v kapitole 3 a jsou použity v navrhované meteostanici.

#### 4.1.1 Snímač teploty a vlhkosti

Pro měření teploty byl vybrán snímač SHT35 od firmy Sensirion. Snímač kromě měření teploty umožňuje měřit i relativní vlhkost. Byl vybrán kvůli jeho parametrům, především z důvodu jeho přesnosti a možnosti komunikace pomocí I2C. Snímač obsahuje 16-bitový A/D převodník. Principem teplotního senzoru je silikonový bandgap teploměr, který využívá teplotní závislosti polovodičového přechodu. Senzor relativní vlhkosti je založen na kapacitním principu. Snímač je také vybaven ohřívačem, který slouží k potlačení kondenzace na snímači. Výhodou jsou jeho kompaktní rozměry, které umožňují nejrůznější využití v široké škále aplikací. Tento snímač je také od výroby zkalibrován. Snímač lze napájet rozsahem napětí 2,15 V až 5,5 V. Specifikace parametrů snímače jsou v tabulce 4.1.[27]

Tab. 4.1: Parametry snímače SHT35

Parametry		Hodnota
Teplota	Rozsah	-40 °C až 120 °C
	Rozlišení	0,01 °C
	Přesnost	±0,2 °C
Vlhkost	Rozsah	0 % až 100 %
	Rozlišení	0,01 %
	Přesnost	±1,5 %
Rozměry		2,5 x 2,5 x 0,9 mm

#### 4.1.2 Snímač atmosférického tlaku

Snímač BMP388 od firmy Bosch byl vybrán pro měření atmosférického tlaku. Snímač nabízí vysokou přesnost měření atmosférického tlaku a možnosti komunikace přes

I2C a SPI sběrnici. Snímač BMP388 je založen na piezo-rezistivním principu a obsahuje 24 bitový A/D převodník. Díky kovovému tělu a malému rozměru je využíván ve velkém množství zařízení, jako jsou mobilní telefony, moduly GPS nebo i drony. Vysoká přesnost měření atmosférického tlaku umožňuje měření i nadmořské výšky. Napájecí napětí je v rozsahu 1,65 V až 3,6 V. Parametry snímače BMP388 jsou uvedeny v tabulce 4.2.[28]

Tab. 4.2: Parametry snímače BMP388

Parametry		Hodnota
Tlak	Rozsah	300 hPa až 1 250 hPa
	Rozlišení	0,02 Pa
	Přesnost	$\pm 0,5$ hPa
Rozměry		2 x 2 x 0,75 mm

### 4.1.3 Srážkoměr

K měření úhrnu srážek byl vybrán srážkoměr MS-WH-SP-RG, který je zobrazen na obrázku 4.1. Jedná se o plastový člunkový srážkoměr, který zaznamenává překlopení člunku pomocí jazýčkového kontaktu. Jedno překlopení člunku odpovídá 0,3 mm srážek. Srážkoměr je určen jako náhradní díl k meteostanici Mi-Sol WH2081. Výhodou tohoto srážkoměru je vyšší lem, který zvyšuje přesnost měření srážek, jelikož srážky se po dopadnutí lépe zachytí. Srážkoměr není vytápěný, takže umožňuje měření pouze dešťových srážek. Parametry srážkoměru jsou v tabulce 4.3.

Tab. 4.3: Parametry srážkoměru MS-WH-SP-RG [29]

Parametry		Hodnota	
Úhrn srážek	Rozsah		0,3 – 9 999 mm
	Rozlišení		0,3 mm
	Přesnost	srážky < 1 000 mm	0,3 mm
		srážky > 1 000 mm	1 mm



Obr. 4.1: Srážkoměr MS-WH-SP-RG [30]

#### 4.1.4 Rychlost větru

Ke snímání rychlosti větru byl vybrán miskový anemometr WH-SP-WS01 (obr. 4.2). Rychlost větru je snímána pomocí magnetického jazýčkového kontaktu, který se spíná magnetem při otáčení kříže. Z dostupných údajů vyplývá, že 1 impulz za 1 s, odpovídá rychlosti větru 2,4 km/h (0,667 m/s). Výhodou tohoto anemometru je jednoduché provedení a cena. Parametry anemometru jsou uvedeny v tab. 4.4.[31]

Tab. 4.4: Parametry anemometru WH-SP-WS01 [29]

Parametry		Hodnota
Rychlost větru	Rozsah	0 – 160 km/h
	Rozlišení	0,1 km/h
	Přesnost	rychl. větru < 10 m/s
rychl. větru > 10 m/s		± 10 %



Obr. 4.2: Anemometr WH-SP-WS01 [31]



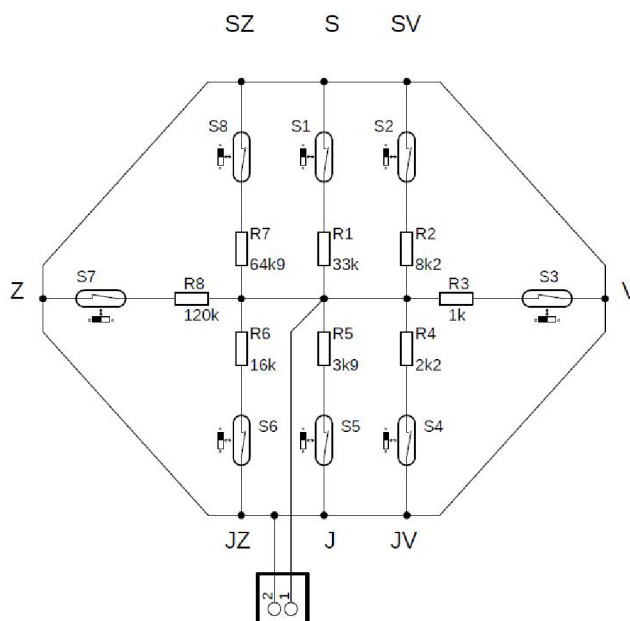
### 4.1.5 Směr větru

Pro určení směru větru byla zvolena směrovka WH-SP-WD (obr. 4.3) pracující rovněž na mechanickém principu jako výše zmíněný anemometr. Směrovka obsahuje celkem 8 jazýčkových kontaktů, které jsou spínány magnetem upevněným na otočné části směrovky. Ke každému z jazýčkových kontaktů náleží rozdílná hodnota z příslušných rezistorů. Směr větru je tedy vyhodnocován pomocí různých hodnot odporů. Konstrukční umístění jazýčkových kontaktů a magnetu ve směrovce umožňuje spínání dvou jazýčkových kontaktů současně, čímž je docíleno nové hodnoty odporu. Toto řešení umožňuje vyhodnocení až 16 různých pozic směrovky.



Obr. 4.3: Směrovka WH-SP-WD [32]

Zapojení jazýčkových kontaktů s různými hodnotami odporů je na obrázku 4.4.



Obr. 4.4: Schéma zapojení jazýčkových kontaktů

Tab. 4.5: Tabulka úhlů natočení s odpovídajícím odporem směrovky WH-SP-WD [32]

Směr větru [°]	Odpor [kΩ]
0	33
22,5	6,57
45	8,2
67,5	0,891
90	1
112,5	0,688
135	2,2
157,5	1,41
180	3,9
202,5	3,14
225	16
247,5	14,12
270	120
292,5	42,12
315	64,9
337,5	21,88

V tabulce 4.6 přehledně uvedeny použité snímače venkovní jednotky. Tabulka 4.7 uvádí použité snímače pro vnitřní jednotku (konzoli).

Tab. 4.6: Tabulka použitých snímačů venkovní jednotky

Meteorologická veličina	Snímač
Teplota/vlhkost	SHT35
Atmosférický tlak	BMP388
Srážkoměr	MS-WH-SP-RG
Rychlost větru	WH-SP-WS01
Směr větru	WH-SP-WD

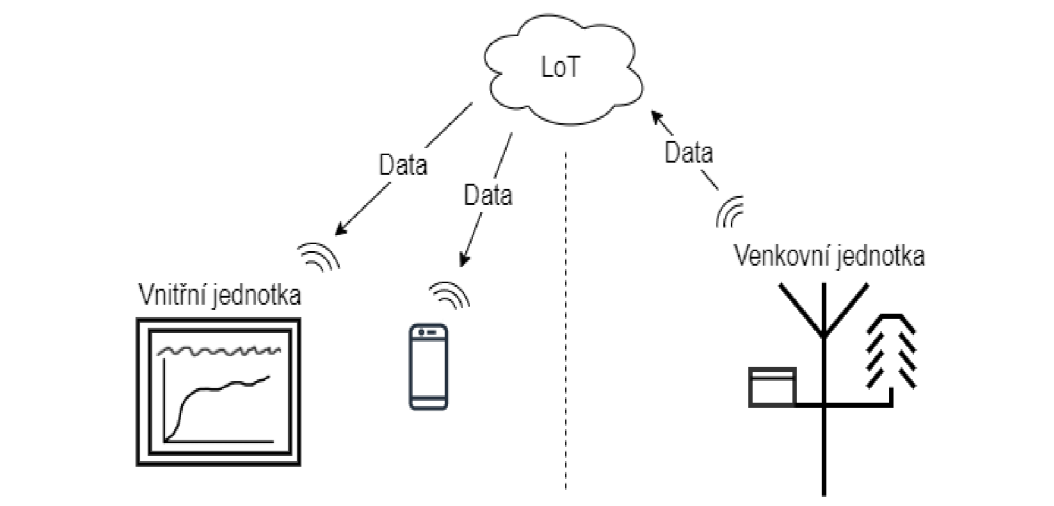
Tab. 4.7: Tabulka použitých snímačů vnitřní jednotky

Meteorologická veličina	Snímač
Teplota/vlhkost	SHT35
Atmosférický tlak	BMP388

## 4.2 Způsob komunikace

Z požadavků na zařízení vyplývá způsob komunikace prostřednictvím WiFi. Průzkum trhu ukázal, že meteostanice komunikují přímo mezi venkovní jednotkou a konzolí. Pro navrhovanou meteostanici byl vybrán odlišný způsob komunikace. Venkovní jednotka bude odesílat naměřená data na internet do Cloudové IoT (Internet of Things) platformy. Platforma umožní zároveň i ukládání naměřených dat.

Toto řešení má několik výhod, ale i nevýhod. Mezi výhody patří snadné rozšíření zobrazovacích jednotek. Po připojení k internetu je zajištěn přístup k datům. Připojit se lze pomocí mobilního telefonu, notebooku, stolního počítače, prakticky jakýmkoliv zařízením, které má přístup k internetu, a to kdekoliv. Další výhodou je možnost připojení dalších měřicích zařízení, které mohou měřit např. teploty v místnosti. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost přístupu k internetu u jednotlivých částí meteostanice. Princip komunikace meteostanice je na obrázku 4.5.



Obr. 4.5: Znárodnění komunikace meteostanice

## 4.2.1 Venkovní jednotka

Při návrhu venkovní části meteostanice byly stěžejními parametry snímače meteorologických veličin, bateriový provoz a komunikace. Z požadavků 3.1 na zařízení vyplývá celkem 7 meteorologických veličin. Bližší informace k jednotlivým vybraným snímačům jsou uvedeny v kapitole 4.1.

Jako řídicí jednotka byl vybrán mikrokontrolér ESP32-WROOM-32UE od společnosti Espressif Systems. ESP32 obsahuje dvoujádrový mikroprocesor Xtensa LX6 32-bit s frekvencí 80 MHz až 240 MHz a 520 kB SRAM. Disponuje vyšším počtem vstupních a výstupních pinů (celkem 32) než jeho předchůdce ESP8266. Mikrokontrolér podporuje základní sběrnice, jako jsou například UART, SPI, I2C. Mikrokontrolér obsahuje dva 12 bitové SAR A/D převodníky. Další výhodou je integrace WiFi a Bluetooth V4.2. Napájecí napětí mikrokontroléru je 3,0 - 3,6 V. Další výhodou ESP32 je použití režimů nízké spotřeby, při kterých dochází k výraznému snížení odebíraného proudu (až na několik  $\mu\text{A}$ ). Tohoto je využíváno u aplikací, které jsou napájeny např. akumulátorem. Tato funkcionality bude využita při čekání na měření. Provozní okolní teplota je udávána v rozsahu -40 až 85 °C. Mikrokontrolér byl vybrán z následujících důvodů. Splňuje požadavky pro návrh venkovní jednotky, je v současné době dostupný na trhu a příznivá je i jeho cena 90 Kč.

K odeslání naměřených dat byl využit již integrovaný WiFi modul v ESP32, který podporuje standardy IEEE 802.11b/g/n. Spotřeba energie WiFi modulu je udávána 95 - 240 mA. Při komunikaci záleží na mnoha parametrech jako je síla signálu, použitý protokol anebo zda se jedná o odesílání nebo přijímání. Verze ESP32-WROOM-32UE umožňuje připojit i externí anténu pomocí U.FL (IPEX) konektoru.[17]

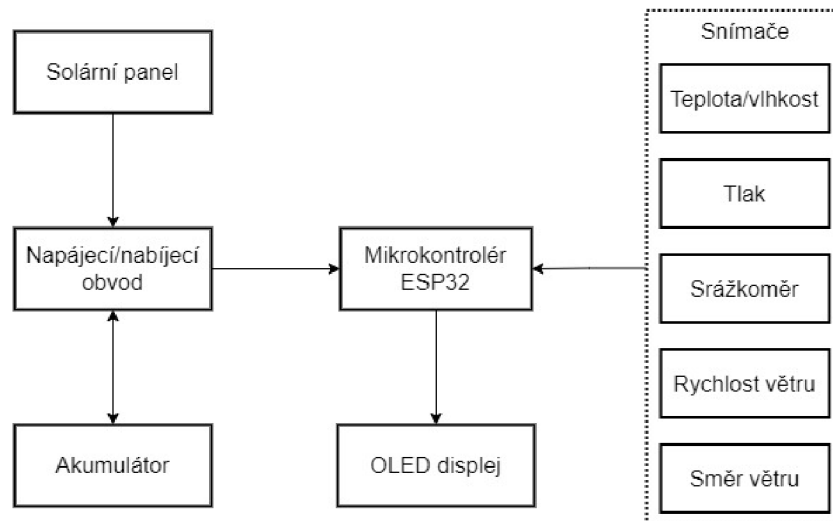
Z požadavků na zařízení byl stanoven bateriový provoz venkovní části meteostanice. K napájení meteostanice byly vybrány 4 akumulátory Li-Ion (Lithium-iontové) typu 18650 výrobce Samsung ICR18650-26J. Jejich nominální napětí je 3,7 V. Kapacita těchto článků je udávána výrobcem na 2600 mAh. Výhoda těchto baterií je vysoká kapacita i při malých rozměrech baterie a vysoké nominální napětí. Nevýhoda těchto baterií je, že se nesmí nechat vybit pod určitou mez. Tyto baterie tedy vyžadují ochranné obvody tzv. BMS (Battery Management System). Ty chrání baterie v případě podvybití nebo naopak při nabíjení nedovolí BMS baterií přebít.[18]

Z požadavků na zařízení bylo definováno i solární dobíjení baterií. Pro navrhovanou meteostanici byl vybrán solární panel Mazava CNC165X165-6 s nominálním napětím 6 V a výkonem 4,5 W. Jedná se o monokrystalický solární panel, který je zataven do plastového obalu. Výhodou této ochrany je, že panel je odolný proti dešti. Rozměry panelu jsou 165x165x3 mm.[19]

Další částí je nabíjecí a napájecí obvod. Pro nabíjení baterií ze solárního panelu

byl vybrán integrovaný obvod CN3791. Tento obvod umožňuje nabíjení Li-Ion baterií a je vybaven funkcí MPPT (Maximum Power Point Tracking), která dokáže sledovat bod maximálního výkonu fotovoltaického panelu. Obvod CN3791 je vybaven ochranou proti přebití baterie. Vstupní napětí může být v rozsahu 4,5 V - 28 V. Pro napájení mikrokontroléru ESP32 byl zvolen 3,3 V stabilizátor TPS79633 od firmy Texas Instruments. Vstupní napájecí napětí je 2,7 V - 5,5 V a výstupní proud až 1 A. Výhoda tohoto stabilizátoru je malý úbytek napětí 220 mV a rozsah pracovní teploty -40 °C až 125 °C.

Poslední součástí venkovní jednotky meteostanice je 1,3" OLED displej SH1106 s rozlišením 128 x 64 pixelů a komunikací pomocí I2C. Rozsah napájení je 2,8 V - 5,5 V. Rozsah provozních teplot je -40 °C - 85 °C, což odpovídá definovaným požadavkům. Displej byl zvolen z důvodu požadavku zobrazení naměřených dat přímo u venkovní části. Na obrázku 4.6 je uvedeno blokové schéma zapojení venkovní části meteostanice.



Obr. 4.6: Blokové schéma venkovní části

## 4.2.2 Vnitřní jednotka

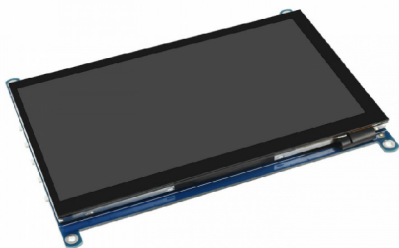
Vnitřní zobrazovací konzole musí kromě zobrazení naměřených dat umožnit měřit teplotu a vlhkost v místě, kde je umístěna.

K zobrazení dat byl vybrán 7" IPS displej od firmy Waveshare s rozměry 124 x 165 mm. Jedná se o kapacitně dotykový displej s rozlišením 1 024 × 600 bodů a HDMI vstupem. Dotykovou vrstvu lze připojit pomocí USB konektoru. Na okraji displeje jsou umístěna funkční tlačítka, která slouží k nastavení jasu nebo kontrastu.[20]

S požadavky na měření teploty a vlhkosti byl zvolen stejný snímač jako u venkovní části meteostanice a to SHT35.

K řízení vnitřní konzole byl zvolen minipočítač Raspberry Pi 4B v 4 GB verzi. Jedná se o jednodeskový mikropočítač s čtyřjádrovým 64-bit procesorem ARM-Cortex A72 1.5GHz. Raspberry umožňuje připojení WiFi i Bluetooth ve verzi 5.0 nebo pomocí gigabitového Ethernet portu. Dále na desce nachází dva micro HDMI konektory, audio Jack, několik USB konektorů, 28 GPIO I/O a napájecí 5V USB-C konektor.[22]

Ovládání bude probíhat pomocí dotykové vrstvy displeje. Toto ovládání umožňuje pohodlné zvolení požadovaných naměřených dat z platformy ThingsBoard.

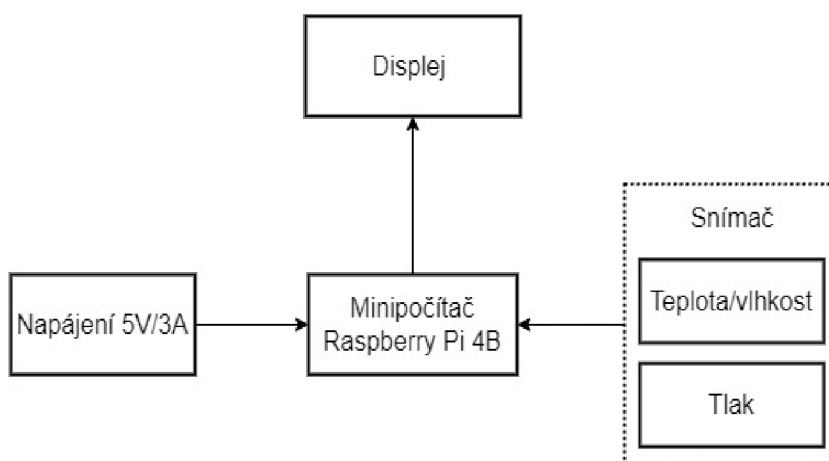


Obr. 4.7: Displej Waveshare 7" [20]



Obr. 4.8: Raspberry Pi 4B [23]

Blokové schéma zapojení konzole je na obrázku 4.9. Na blokovém schématu vnitřní části si lze všimnout i snímače atmosférického tlaku. Důvod umístění tohoto snímače je uveden v kapitole 4.3.



Obr. 4.9: Blokové schéma vnitřní části

### 4.2.3 ThingsBoard

V rámci cloudové služby byla vybrána platforma ThingsBoard. Jedná se open-source IoT platformu, která umožňuje vizualizaci a správu zařízení připojených do IoT. Umožňuje ukládání dat a jejich vizualizaci z připojených zařízení. Je dostupná i jako aplikace pro mobilní telefony.

Platforma také nabízí automatizaci a zpracování dat pomocí frameworku Rule Engine, který je součástí platformy. Rule Engine umožňuje definovat a provádět pravidla nebo akce na základě podmínek získaných z připojených zařízení. Vytváření pravidel je možné pomocí vizuálního editoru založeném na propojování (řetězení) vztahů a uzlů. Mezi případy použití tohoto editoru patří například, vyvolání alarmu na základě překročené naměřené hodnoty, spuštění zařízení na základě událostí nebo odesílání e-mailu při nadefinovaných podmínkách.

ThingsBoard je nabízen v různých verzích. První je Professional Edition, která je placená a zaměřená pro podnikové prostředí. Nabízí pokročilejší funkce jako například správu uživatelských rolí, oprávnění nebo export dat. Druhou verzí je Community Edition, která je bezplatná a dostupná pro veřejnost. Umožňuje provádět úpravy a práci se základními funkcemi. Community Edition je zaměřena spíše na menší projekty. Tato verze je využita i pro navrhovanou meteostanici.

ThingBoard lze také stáhnout a je možné ho provozovat přímo na lokálních výkoných serverech nebo také na Raspberry Pi.

Důvodem proč byla vybrána právě tato platforma je využití bezplatného hostingu a také možnost vytvoření vlastního návrhu zobrazení.

ThingsBoard nabízí vytváření vlastního zobrazovacího panelu tzv. dashboardu přímo v platformě. Jedná se o vizuální nástroj, ve kterém pomocí widgetů lze vkládat různé vizuální prvky jako jsou grafy, ovládací prvky, numerické indikátory nebo mapy.[21]

## 4.3 Návrh hardware

Pro navrhovanou meteostanici bylo nutné vytvořit dvě DPS (Desku plošného spoje). První DPS obsahuje napájecí/nabíjecí obvod společně s mikrokontrolérem ESP32 a druhá obsahuje snímač teploty/vlhkosti SHT35 a tlaku BMP388. Důvodem, proč nebyla vytvořena jedna společná DPS je ten, že snímače musí být umístěny v radiačním štítu. Dalším důvodem je použití DPS se snímači i do vnitřní jednotky (konzole). Jelikož budou snímače SHT35 a BMP388 umístěny na jedné DPS a použity pro měření meteorologických veličin ve vnitřní konzoli i venkovní jednotky, bude konzole kromě měření teploty a vlhkosti schopna měřit i atmosférický tlak.

Při návrhu byl použit program Autodesk Eagle 9.6.2. Jelikož byly DPS vyrobeny firmou JLCPCB, bylo nutné dodržet maximální rozměry navrhovaných desek 100 x 100 mm. Při překročení těchto rozměrů dochází k navýšení ceny. V rámci použití typů součástek byly zvoleny v SMD provedení převážně v pouzdrech 0805, především z důvodu malých rozměrů. Součástí výroby řídicí DPS bylo i strojové osazení integrovaného obvodu CN3791, protože tento IC byl skladem pouze u výrobce JLCPCB. Při výrobě byly osazeny dvě DPS z pěti vyrobených. Ostatní součástky byly osazeny v domácích podmínkách.

V případě výroby druhé DPS obsahující snímače, bylo rovněž využito možnosti osazení součástek. Možnost osazení snímačů a okolních součástek byla využita z obavy zničení snímačů při osazování v domácích podmínkách. Při výrobě byly osazeny dvě DPS z pěti vyrobených, protože totožné snímače jsou využity jak u venkovní jednotky tak i u konzole. Seznamy součástek obou navržených desek jsou uvedeny v přílohách A a B.

### 4.3.1 Řídicí DPS

Samotnou DPS lze rozdělit na napájecí a řídicí část. Napájecí část obsahuje integrovaný obvod CN3791, ochranný obvod pro baterii DW01A a 3,3 V stabilizátor TPS79633. Řídicí část obsahuje mikrokontrolér ESP32, připojení programování a jednotlivých snímačů. Při návrhu DPS pro jednotlivé IC byly použity doporučené zapojení součástek z datasheetu.

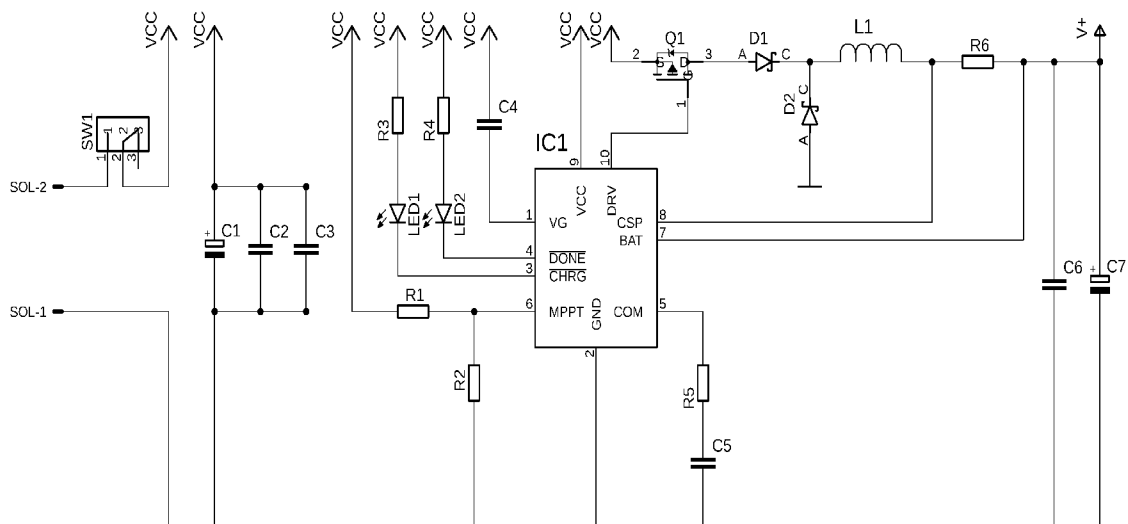
Zapojení integrovaného obvodu CN3791 se vstupním připojením solárního panelu je na obrázku 4.10. Pro připojení solárního panelu byl použit konektor JST-XH (SOL-1/2) společně s vypínačem SW1, který umožňuje pohodlné odpojení solárního panelu od zbytku obvodu. Na připojení solárního panelu navazuje obvod CN3791. Veškeré hodnoty použitých součástek vychází z datasheetu [24]. V zapojení bylo nutné stanovit hodnoty rezistorů  $R_1$  a  $R_2$  podle následujícího vzorce 4.1 uvedeném v datasheetu tak, aby napětí  $V_{MPPT}$  odpovídalo nominálnímu napětí použitého solárního panelu. V tomto případě 6 V. Hodnoty rezistorů nastavují pracovní bod obvodu CN3791.

$$V_{MPPT} = 1,205 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \quad (4.1)$$

- $V_{MPPT}$  - nominální napětí solárního panelu

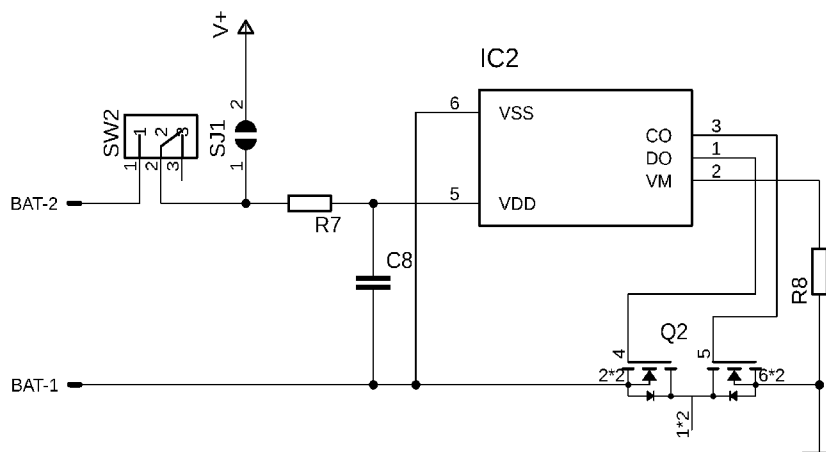
Hodnoty rezistorů byly stanoveny na  $R_1 = 178 \text{ k}\Omega$  a  $R_2 = 44,2 \text{ k}\Omega$ . Led dioda LED1 indikuje nabíjení a LED2 signalizuje ukončení nabíjení.





Obr. 4.10: Schéma zapojení obvodu CN3791

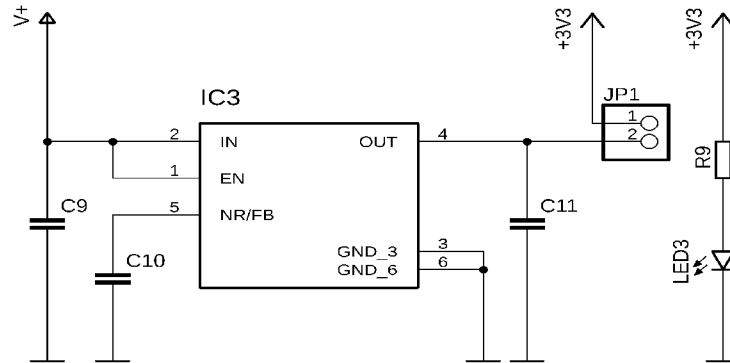
V rámci ochrany baterie je použit integrovaný obvod DW01A (IC2), který chrání baterii proti přebití, vybití a zkratu. Baterie se stejně jako solární panel připojuje stejným konektorem a vypínačem SW2. Baterie je v případě přebití nebo podvybití odpojována od zbytku obvodu dvojicí MOSFET tranzistorů. Hodnoty detekce přebití nebo podvybití jsou uvedeny v datasheetu.[25] Dvojice jednotlivých tranzistorů byla nahrazena dvojitým N-kanalovým MOSFET tranzistorem 8205A, ve schématu označenám jako Q2. Hodnoty rezistorů R7, R8 a kondenzátoru C8 byly převzaty z datasheetu. Zapojení ochráněného obvodu je na obrázku 4.11.



Obr. 4.11: Schéma zapojení obvodu DW01A

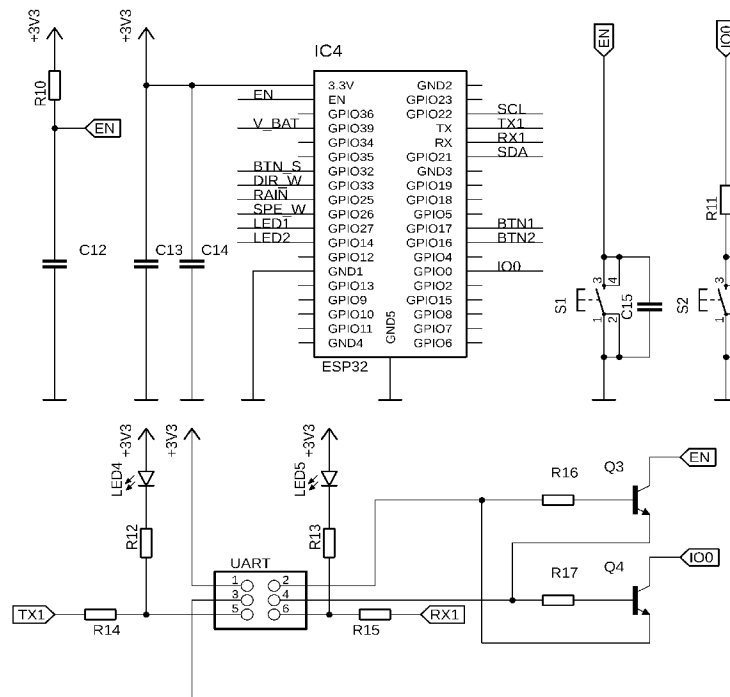
Napětí z baterie je následně stabilizováno pomocí 3,3 V low-dropout lineárního regulátoru TPS79633 (IC3). Napájecí a řídicí část odděluje jumper JP1, který slouží

pro odpojení napájení mikrokontroléru. Hodnoty kondenzátorů jsou převzaty z doporučeného zapojení v datasheetu.[26] Led dioda LED3 signalizuje připojení napájení do mikrokontroléru. Zapojení 3,3 V regulátoru TPS79633 a signalizační diody je uvedeno na následujícím obrázku 4.12.



Obr. 4.12: Schéma zapojení obvodu TPS79633

Tranzistory Q3 a Q4 slouží k umožnění nahrávání programu do mikrokontroléru. Tlačítko S1 slouží k resetování mikrokontroléru a S2 k uvedení do BOOT režimu. Led diody LED4 a LED5 indikují průběh nahrávání. Kolíková lišta 2 x 3 označená ve schématu jako UART, slouží k připojení USB převodníku FT232RL. Zapojení ESP32 je uvedeno na obrázku 4.13.



Obr. 4.13: Schéma zapojení mikrokontroléru ESP32

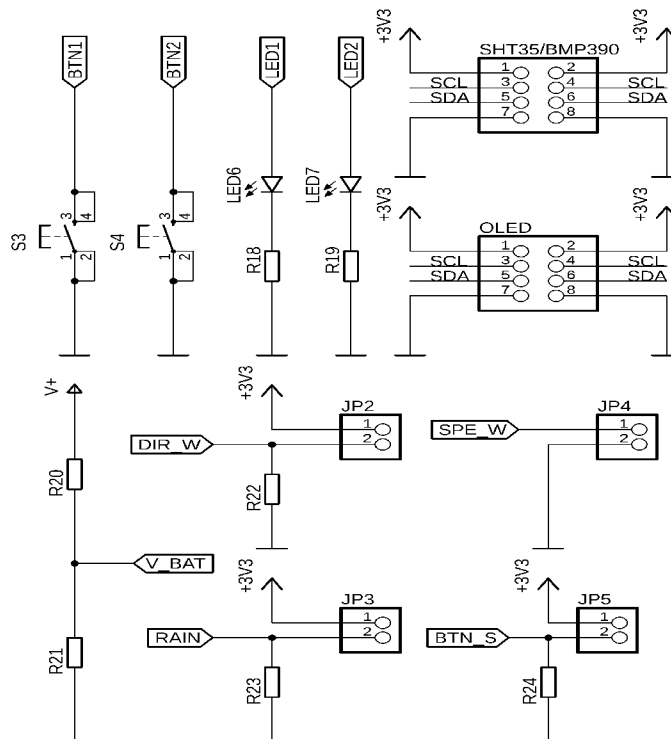
Z požadavků na zařízení je stanoveno i měření napětí akumulátoru. Napětí na bateriích při úplném nabití je 4,2 V. Mikrokontrolér ESP32 umožňuje ale připojit maximální napětí 3,3 V. Z tohoto důvodu byl navržen napěťový dělič s rezistory R20 a R21, který snižuje napětí z baterií na měřitelné napětí mikrokontrolérem. Pro výpočet hodnot rezistorů byl použit základní vzorec pro napěťový dělič 4.2.

$$U_2 = \frac{R_{21}}{R_{20} + R_{21}} \cdot U_1 \quad (4.2)$$

- $U_1$  - výstupní napětí
- $U_2$  - napětí baterií

Zvolené hodnoty rezistorů jsou tedy  $R_{20} = 16 \text{ k}\Omega$  a  $R_{21} = 30,1 \text{ k}\Omega$ .

Poslední částí DPS je připojení jednotlivých snímačů. Komponenty komunikující pomocí sběrnice I2C, tedy SHT35, BMP388 a OLED displej, jsou připojeny pomocí 4 x 2 kolíkové lišty. Srážkoměr, anemometr a směrovka jsou připojeny na jumpery JP2-JP4. Tlačítka S3 a S4 lze použít jako vstupní ovládací periférii. Posledním vstupem je mikrospínač, který je vyveden mimo DPS. Tento mikrospínač je připojen na jumper JP5. Spínač slouží k probuzení ESP32 ze spánku. Led diody LED6 a LED7 byly navrženy pro použití určitých funkcionalit. LED6 je použita pro signalizaci vyvolání přerušování srážkoměrem (kap. 6.1.5). LED7 je trvale rozsvícená v případě výpadku WiFi. Schéma zapojení snímačů a vstupů/výstupů je na obrázku 4.14.



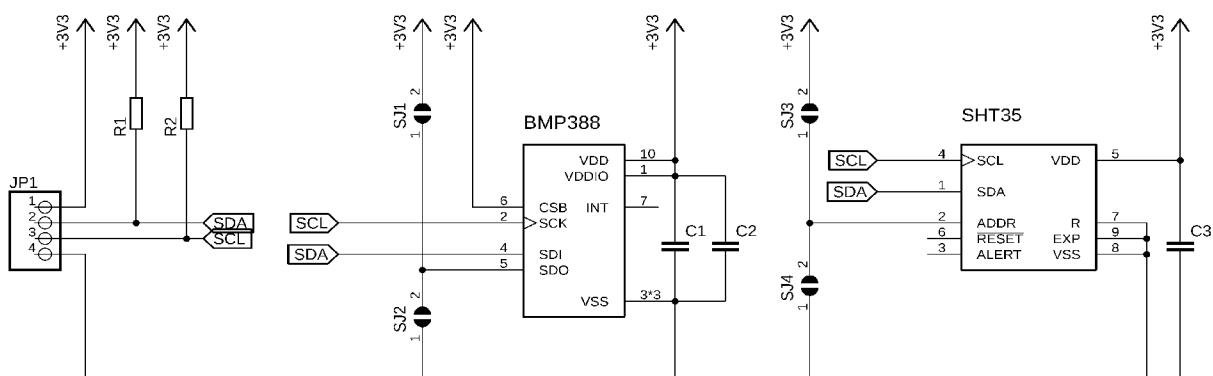
Obr. 4.14: Schéma zapojení snímačů a ovládacích prvků

Na obrázku 4.16a je ukázan 3D model řídicí DPS vygenerován programem Eagle. Rozměry této desky jsou 88,5 x 52 mm. Celé schéma řídicí desky je uvedeno v příloze A.1 a A.2.

### 4.3.2 Snímače

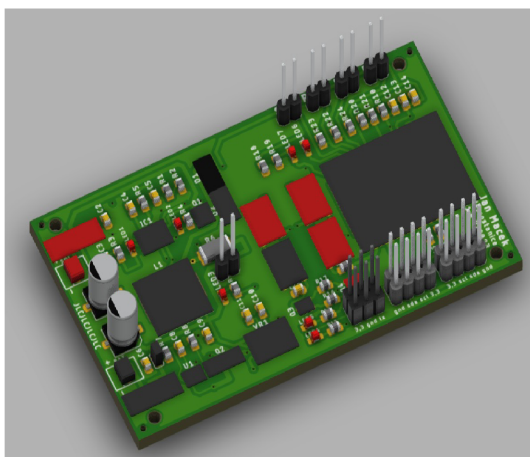
Druhou navrhovanou DPS tvoří dva snímače. Snímač atmosférického tlaku BMP388 a teploty/vlhkosti SHT35. Při návrhu schématu bylo opět vycházeno z datasheetu jednotlivých snímačů. Oba tyto snímače lze napájet 3,3 V a oba podporují rozhraní I2C. Z důvodu využití sběrnice I2C, je nutné použít i dva pull-up rezistory R1 a R2 s hodnotami 4,7 k $\Omega$ , aby byla zajištěna logická úroveň 1 v klidovém stavu.

Snímače umožňují volbu mezi dvěma I2C adresami. U snímače BMP388 lze volit adresu mezi 0x76 a 0x77 pomocí pinu SDO, který se připojí k +3V3 nebo GND. U snímače SHT35 lze vybrat mezi adresou 0x44 nebo 0x45. Volba adresy spočívá připojení pinu ADDR k +3V3 nebo GND. Pro volbu adresy byly do schématu přidány propojovací plošky (JUMPERY) SJ1-SJ4. Schéma zapojení snímačů je uvedeno na obrázku 4.15 nebo také v příloze B.[28][27]

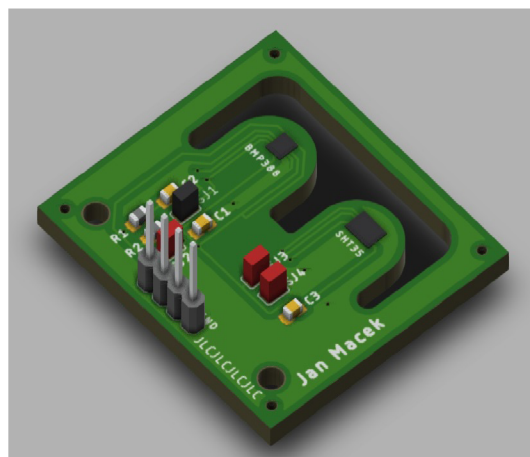


Obr. 4.15: 3D model řídicí DPS

Rozměry navržené DPS se snímači teploty/vlhkosti a tlaku jsou 40,9 x 37,2 mm. Fotografie navržené DPS lze vidět na následujícím obrázku 4.16.



(a) 3D model řídicí DPS



(b) 3D model snímačů

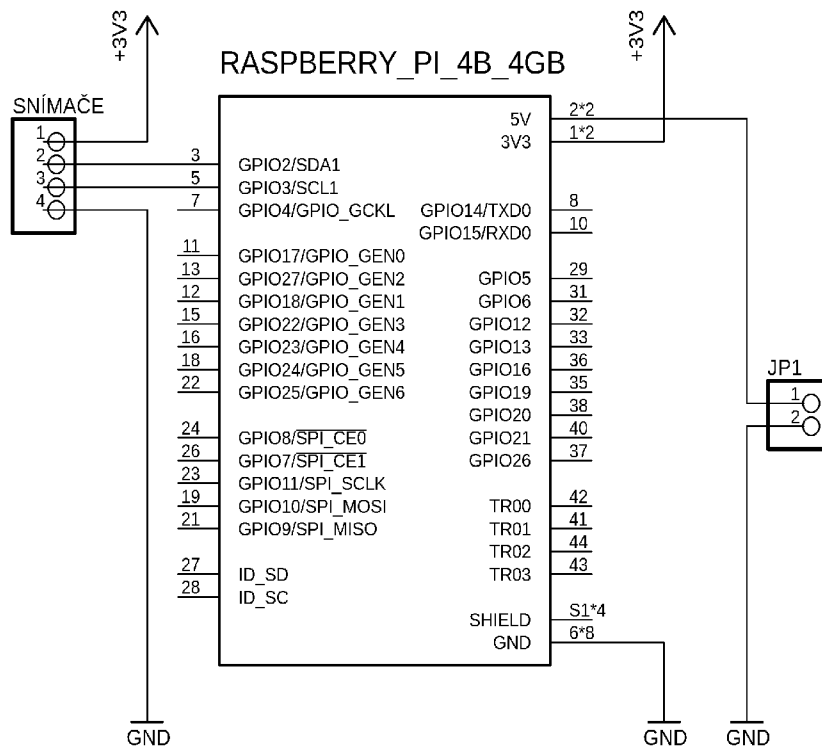
Obr. 4.16: 3D modely DPS

### 4.3.3 Konzole

Pro vnitřní zobrazovací jednotku (konzoli) nebylo nutné navrhovat další DPS. Celkové zapojení konzole tvoří mikropočítač Raspberry Pi 4B, 7"IPS displej a DPS obsahující snímače. Displej byl připojen k Raspberry pomocí kabelu s HDMI/micro-HDMI konektorem. Pro zajištění napájení displeje a funkčnosti dotykové vrstvy je nutné připojit micro-USB/USB-A kabel rovněž z Raspberry.

Pro zajištění správné funkčnosti snímačů je nutné propojit DPS s mikropočítačem Raspberry pomocí sběrnice I2C, které mikropočítač umožňuje. Samotný mikropočítač obsahuje řadu GPIO vstupů/výstupů a umožňuje tedy přímé propojení s DPS. Na pinu GPIO 2 se nachází SDA a na GPIO3 SLC. Dále mikropočítač umožňuje připojení k 3,3 V nebo 5 V zdroji napětí.

Aby nedocházelo k přehřívání mikropočítače, byl připojen větrák na konektor JP1. Mikropočítač je napájen zdrojem 5 V / 3 A s USB-C konektorem, dodávaný k Raspberry. Zapojení vnitřní konzole je uvedeno na obrázku 4.17.



Obr. 4.17: Schéma zapojení konzole

## 5 Konstrukce

V této kapitole je popsán konstrukční návrh meteostanice i vnitřní konzole.

### 5.1 Venkovní část

Jelikož musí být meteostanice umístěna ve venkovním prostředí, musí být k tomuto účelu uzpůsobena i konstrukce. Hlavním požadavkem venkovní konstrukce je výška. DPS se snímači musí být umístěna ve výšce 2 m nad travnatým povrchem.

Jako hlavní rám byla zvolena železná tyč o průměru 34 mm a tloušťce 3mm, která zajistí stabilitu a pevnost i při nepříznivém počasí. Pro upevnění jednotlivých snímačů, krabičky s DPS a solárního panelu, byly vymodelovány 3D modely v programu SolidWorks 2022.

Pro umístění hlavní řídicí DPS s mikrokontrolérem byla vybrána montážní plastová krabička Z111J o rozměrech 119.8 x 119.8 x 60.1 mm s průhledným víkem. Krabička nabízí stupeň krytí IP65, tudíž ochranu vůči tryskající vodě. Do krabičky byla následně umístěna samotná DPS, baterie a OLED displej. Průhledné víko bylo vybráno ze dvou hlavních důvodů. Díky průhlednému víku je možno nahlížet na DPS a sledovat stav LED diod, a také číst naměřené hodnoty z OLED displeje umístěném uvnitř krabičky.

Pro upevnění DPS a baterií byla nakreslena deska, která umožňuje uložení baterií a připevnění DPS pomocí šroubů ke krabičce. Pro umístění OLED displeje byl vymodelován úchyt, který drží displej těsně u průhledného víka 5.1a. Tyto modely byly následně vytištěny na 3D tiskárně z černého PET-G materiálu. Pro samotné uchycení krabičky byl navržen držák 5.1b, který umožňuje přišroubení krabičky a zároveň pomocí stahovacích pásek ho lze připevnit k hlavní konstrukci. Tento díl byl vytištěn z bílého PET-G. Na spodní straně krabičky byly vyvrtané dvě díry pro umístění kabelových průchodek typu PG9. Tyto průchodky slouží k přivedení kabelů od snímačů. Na spodní straně, jak je vidět na obrázku 5.1b, je umístěn také mikrospínač. Tento mikrospínač je připojen na konektor JP5 (BTN\_S) jak je znázorněno v příloze A.2. Jeho funkce je blíže popsána v kapitole 6.1.9 a 6.1.10. Výslednou sestavu krabičky, řídicí DPS a displej lze vidět na následujícím obrázku 5.1.



(a) Přední pohled krabičky



(b) Zadní pohled krabičky

Obr. 5.1: Fotografie krabičky s ostatními komponenty

Z požadavků na umístění snímačů teploty/vlhkosti a atmosférického tlaku vyplývá, že tyto snímače musí být umístěny tak, aby bylo zamezeno vniknutí vody, ale zároveň umožněno ovívání snímačů. Z tohoto důvodu byl použit radiační štít, který tyto podmínky splňuje a je využíván i u profesionálních meteostanic. Pro navrhovanou meteostanici byl vybrán bílý plastový radiační štít 98.1114.02 TFA. Jedná se o pasivní radiační štít, který neumožňuje aktivní ovívání snímačů pomocí větráku. Vnější průměr radiačního štítu je 95 mm a výška 180 mm. Průměr vnitřní měřicí komory je 60 mm a výška 160 mm. Rozměr vnitřní komory je tedy dostatečný pro umístění DPS se snímači. Radiační štít je uzpůsoben k namontování na zeď nebo na tyč a umožňuje snadné vysunutí z úchytné lišty. Jeho výhodou jsou kompaktní rozměry a cena.

Pro solární panel a ostatní komponenty, jako srážkoměr, anemometr nebo směrovku, byl navržen úchyt, který se pomocí stahovacích pásek připevní k hlavní konstrukci a také umožňuje připojení ramen, na kterých jsou zmíněné komponenty. Navržený úchyt umožňuje snadné odnímání připojených ramen. Pro uchycení solárního panelu byla navržena platforma. Ta byla vytvořena z důvodu upevnění solárního panelu k hlavní konstrukci a také ke zpevnění solárního panelu, aby se zamezilo například prasknutí. K platformě solárního panelu bylo vymodelováno rameno, které umožňuje přichycení k úchytu a také umožňuje nastavení sklonu solárního panelu. K upevnění srážkoměru byl použit stejný princip jako u solárního panelu. Liší se pouze platformou pro uchycení.

Poslední částí venkovní konstrukce jsou dvě ramena, která drží anemometr a smě-



rovku. Tyto ramena spojuje oboustranný úchyt s vnitřním průměrem použité tyče a dírou pro zajištění proti pootočení. Rameno které drží směrovku je opatřeno zámkem, který zamezuje pootočení směrovky, aby nedošlo ke zkreslení naměřených údajů směru větru. Pro umístění těchto snímačů je požadováno, aby nebyly zastíněny nějakou překážkou. Z tohoto důvodu jsou umístěny na vrcholu konstrukce. Výše zmíněné díly byly tisknuty z bílého PET-G materiálu, aby bylo zamezeno deformaci při slunečných dnech a dosaženo co největšího odrazu slunečních paprsků. Výslednou sestavu s umístěnými snímači na kovové konstrukci lze vidět na následujícím obrázku 5.2.



Obr. 5.2: Výsledná konstrukce meteostanice

## 5.2 Konzole

Vnitřní zobrazovací konzole je tvořena 7" IPS displejem, minipočítačem Raspberry Pi a DPS se snímači teploty/vlhkosti a tlaku. Z tohoto důvodu bylo nutné navrhnout konstrukci pro upevnění těchto hlavních dílů. Jako v předešlé konstrukci venkovní meteostanice, i zde bylo přistoupeno k technologii 3D tisku. Veškeré komponenty jsou vytisknuty z černého PET-G materiálu.

Při návrhu bylo hlavním požadavkem oddělení displeje a minipočítače od snímačů. Převážně displej generuje teplo, které by mohlo ovlivňovat měření snímače SHT35.

Pro displej s minipočítačem byl navržen ochranný obal ve tvaru kvádru skládající se ze třech dílů. Prvním dílem je vrchní deska, na kterou je přišroubovaný displej. Druhým dílem je základní platforma, na kterou je připevněn minipočítač. Do platformy byly vymodelovány větrací otvory, aby se zařízení zbytečně nepřehřívalo a také dva otvory, které slouží k uchycení ke stojanu. Posledním dílem je obvodová stěna, která spojuje předchozí dva díly. Tyto díly jsou následně sešroubeny společně dohromady.

Aby mohla konzole být umístěna v místnosti, byl navržen stojan, který drží kvádr v dané poloze. Pro nastavení úhlu natočení displeje, byl vytvořen otočný kloub, který umožňuje natočení s aretací displeje. Jelikož nemůže být DPS se snímači umístěna přímo u displeje, byl stojan uzpůsoben k uchycení DPS. K DPS byl navržen ochranný obal, který umožňuje díky průduchům přístup vzduchu. Hotovou sestavu konzole lze vidět na obrázku 5.3 a 5.4.



Obr. 5.3: Konzole (přední pohled)



Obr. 5.4: Konzole (zadní pohled)

## 6 Software

Po návrhu konstrukce bylo přistoupeno k programovému řešení meteostanice. Tato kapitola se věnuje návrhu programu venkovní meteostanice i vnitřní konzole. Hlavní úlohou mikrokontroléru ESP32 je sběr naměřených dat ze snímačů, zobrazení dat na OLED displej a odesílání pomocí WiFi na internet do IoT platformy ThingsBoard. Úlohou mikropočítače Raspberry Pi je zobrazení naměřených dat, získávání naměřených hodnot ze snímačů a následné odesílání do platformy ThingsBoard.

### 6.1 Meteostanice

Pro navrhovaný program bylo vybráno vývojové prostředí Visual Studio Code. Toto IDE (Integrated Development Environment) je volně přístupné (Open Source) prostředí od společnosti Microsoft, které slouží k vývoji software pro nejrůznější embeded platformy. VS Code je dostupné pro operační systémy Windows, macOS nebo Linux. Prostředí podporuje několik druhů programovacích jazyků jako například C/C++, Python, Java atd. Program lze rozšířit o různé doplňky a rozšíření, které umožňují přidání dalších jazyků nebo umožňují programování embeded zařízení. Dalším důvodem pro použití tohoto programu je rychlost, snadné procházení v kódu a také automatické doplňování kódu, kdy program nabízí seznam použitých možností. [34]

Pro mikrokontrolér ESP32 bylo použito rozšíření Platform IO. Toto rozšíření podporuje 50 platforem jako například Atmel, Arduino, Texas Instruments, Espressif a více jak 1 500 mikrokontrolérů. Pro mikrokontrolér ESP32 byl použit framework Arduino, který obsahuje již předchystané základní knihovny pro používání mikrokontroléru. Při návrhu lze využít 13 400 knihoven dostupných on-line nebo vkládat a vytvářet vlastní. Program pro ESP32 byl napsán v jazyce C/C++. [35]

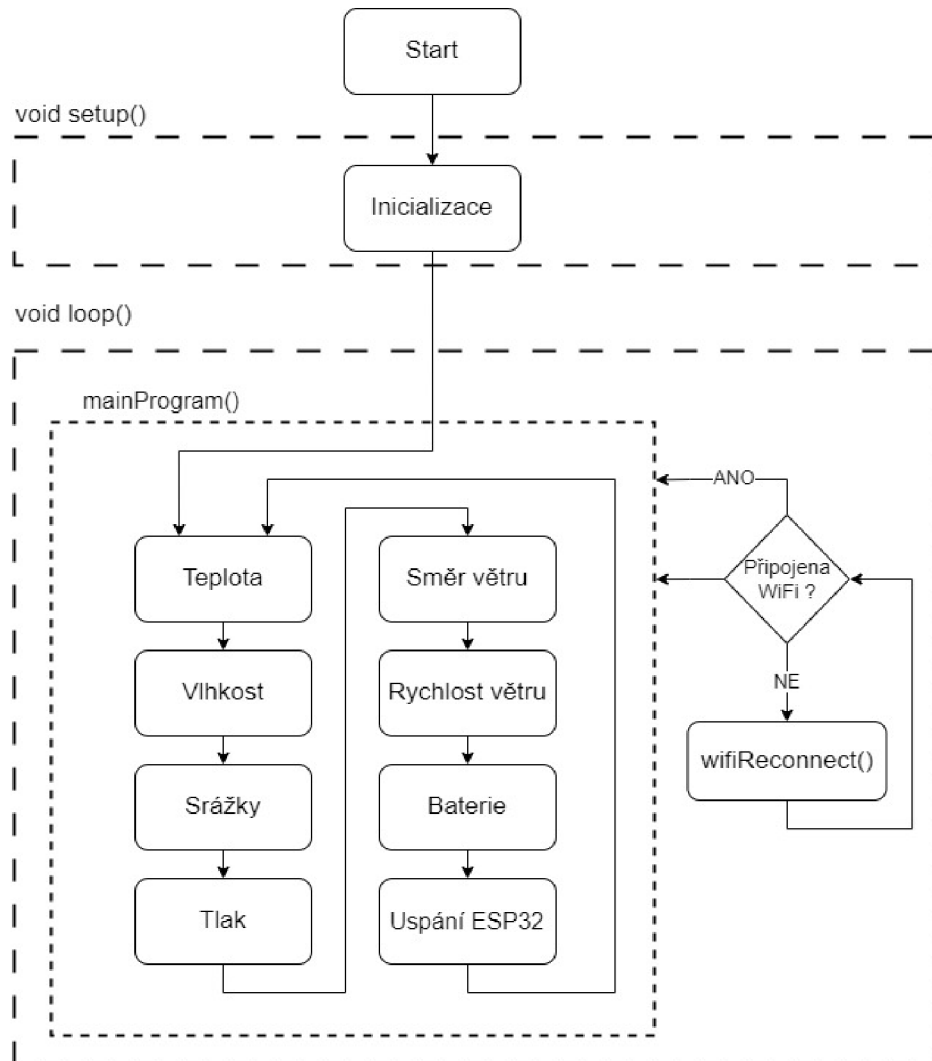
Pro nahrávání programu byl využit USB-UART převodník FT232RL, který se připojí na řídicí DPS do kolíkové lišty. Veškeré knihovny a programy jsou vloženy v elektronické příloze práce.

#### 6.1.1 Návrh programu

Při založení projektu byla vytvořena funkce `setup()` a funkce `loop()`. Do funkce `setup()` byly vloženy především prvotní inicializace snímačů, nastavení sériové komunikace nebo vstupů/výstupů, jelikož tato funkce se vykoná jen jednou při spuštění programu. Funkce `loop()` se spustí následně po vykonání `setup()` a je vykonávána jako nekonečná smyčka do vypnutí nebo resetu mikrokontroléru. Ve funkci `loop()`

se nachází ostatní funkce například pro výpis na OLED displej nebo funkce umožňující restart WiFi.

Hlavní funkcí, která plní požadavky na měření a odesílání meteorologických veličin, je funkce `mainProgram()`. Detailnější popis této funkce je vysvětlen v kapitole 6.1.2. Tato funkce je vykonávána pokaždé, co je splněna podmínka kontrolující připojení mikrokontroléru ESP32 k WiFi a k internetu. V případě, že tato podmínka není splněna, například špatným signálem nebo výpadkem internetu, je zavolána funkce `wifiReconnect()`. Základní průchod programu je znázorněn na obrázku 6.1.



Obr. 6.1: Blokové schéma průchodu programu

Funkce `wifiReconnect()` slouží k znovupřipojení mikrokontroléru ESP32 k WiFi síti. V případě zavolání této funkce je nejdříve WiFi vypnuta. Po uplynutí 3 s je opět WiFi zapnuta a proveden pokus o připojení. V případě, že připojení je během 15 s, je tato funkce ukončena a program pokračuje v měření. V opačném případě se pokus o připojení opakuje vypnutím WiFi.

## 6.1.2 Měření meteorologických veličin

Hlavní část programu, tedy měření a odesílání dat, byla navržena prostřednictvím příkazu `switch/case` jako stavový automat a je vložena do funkce `mainProgram()`. Pro nastavení parametrů měření byla vytvořena funkce `sendData()`, která po odeslání hodnot do platformy Thingsboard vrací `true`. Tato hodnota je uložena do proměnné `flag`. Jestliže jsou data odeslána, je jejich hodnota vypsaná na displej a je zajištěn přechod k měření další meteorologické veličiny.

Ukázka části příkazu `switch/case` ve funkci `mainProgram()` umožňující měření teploty, vlhkosti a množství srážek je zobrazena na obrázku 6.2. Před každým přechodem do dalšího stavu jsou získány odeslané hodnoty pomocí funkce `sendNumber()` a uloženy do příslušných hodnot. V případě měření teploty je to například proměnná `disp_temperature`. Ve třetím stavu, který umožňuje měřit množství srážek je použita funkce `sendData_once()`. Tato funkce je popsána později. Ještě předtím než se ze stavu 3 přejde do následujícího stavu, je zavolána funkce `rainUpdate()`, která vynuluje odeslanou hodnotu srážek.

```
void mainProgram(){
    mainProgramDisp();
    shtHeater(100);

    switch (measure_case){
    case 1: //TEPLOTA
        main_wifi = 1;
        flag = sendData(sht31.readTemperature(), "temperature", 6000, 500, 1);

        if(flag){
            disp_temperature = sendNumber();
            measure_case = 2;
            i_measure = true;
            heater_counter++;
            i_heater = true;
        }
        break;

    case 2: //VLHKOST
        flag = sendData(sht31.readHumidity(), "humidity", 6000, 500, 1);

        if(flag){
            disp_humidity= sendNumber();
            measure_case = 3;
        }
        break;

    case 3: //SRÁŽKY
        flag = sendData_once(rain(),"rain");

        if(flag){
            disp_rain = sendNumber_once();
            rainUpdate();
            measure_case = 4;
        }
        break;
    }
```

Obr. 6.2: Ukázka funkce `mainProgram()`

Funkce `sendData()`, jak již bylo zmíněno, nastavuje parametry měření a odesílá naměřená data do platformy ThingsBoard. Vstupem funkce jsou měřená data ze snímačů, název měřené hodnoty, časový rozestup mezi stavy, časový rozestup mezi měřeními a počet opakování měření. Před odesláním naměřených hodnot je proveden aritmetický průměr pomocí funkce `average()`. Funkce postupně plní pole o velikosti deseti prvků a jakmile je naplněno, vrací výslednou hodnotu z aritmetického průměru. Časové intervaly měření byly vytvořeny z důvodu nastavení doby měření jak mezi jednotlivými hodnotami získaných ze snímačů, tak mezi přechody do jednotlivých stavů. Funkce také nabízí nastavení počtu měření pomocí vstupní proměnné `anumber`. Tato funkce je použita u všech měření, tedy teploty, vlhkosti, tlaku, směru větru, rychlosti větru a baterie. U měření srážek není žádoucí počítat aritmetický průměr. Z tohoto důvodu byla vytvořena i funkce `sendData_once()`, která přímo odesílá získanou hodnotu ze snímače srážek. Parametry této funkce jsou měřené hodnoty snímače a název veličiny. Funkce `sendData()` je ukázána na následujícím obrázku 6.3.

```
bool sendData(float ameaure, const char* aname, int tmill_time, int tmill_int_time, int anumber){
    out_send = false;
    if((tmill + tmill_time) < millis()) tflag = true;

    if(tflag){
        if((tmill_int + tmill_int_time) < millis()){
            tprom_odeslani = average(ameasure);
            ti_odeslani++;
            tmill_int = millis();
        }

        if(ti_odeslani == 10){
            tb.sendTelemetryFloat(aname, tprom_odeslani);
            Serial.print(aname);
            Serial.println(" sent");
            tmill = millis();
            ti_odeslani = 0;
            tflag = false;
            counter_number++;
        }
    }

    if(counter_number == anumber){
        out_send = true;
        counter_number = 0;
    }

    return out_send;
}
```

Obr. 6.3: Funkce `sendData()`

### 6.1.3 Teplota

Pro získání naměřených dat ze snímače SHT35 byla použita knihovna od společnosti Adafruit (Adafruit\_SHT31.h). [36] Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.1.1, snímač komunikuje pomocí sběrnice I2C. Aby bylo možné získat měřená data ze snímače, je nutné nastavit adresu pro komunikaci se snímačem. To je provedeno pomocí funkce `sht35.begin()`. Jednotlivé hodnoty teploty a vlhkosti jsou 16 bitové. Během přenosu je každá hodnota dat kontrolována pomocí CRC součtu. Konkrétní hodnotu teploty lze získat pomocí funkce `sht35.readTemperature()`, hodnotu vlhkosti lze získat pomocí `sht35.readHumidity()`. Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.1.1, SHT35 obsahuje i ohřívač. Zapnutí ohřevu lze pomocí funkce `sht35.heater()`. Pro ovládní ohřevu byla vytvořena funkce `shtHeater()` (obr. 6.4), která vždy zapne ohřev na 100 ms a následně vypne. Funkce je umístěna na začátku funkce `mainProgram()`. Zapínání ohřevu je provedeno před měření teploty a vlhkosti pomocí proměnné `i_heater`.

```
void shtHeater(int aheater_millis){
    if(i_heater){
        sht35.heater(true);
        heater_millis = millis();
        Serial.println("HEATER ON");
        counter_heat = 1;
        i_heater = false;
    }

    if((heater_millis + aheater_millis) < millis() && counter_heat == 1){
        sht35.heater(false);
        counter_heat = 0;
        Serial.println("HEATER OFF");
    }
}
```

Obr. 6.4: Funkce `shtHeater()`

### 6.1.4 Atmosférický tlak

K získání hodnot atmosférického tlaku ze snímače BMP388 byla použita rovněž knihovna od společnosti Adafruit (Adafruit\_BMP3XX.h). Snímač rovněž komunikuje pomocí I2C. Ve funkci `setup()` je stejně jako snímač SHT35 nastavena adresa pro komunikaci. Pro tento snímač je to adresa 0x76. Výsledná hodnota atmosférického tlaku je získána pomocí funkce `bmp.readPressure()`. Jelikož je výstupní hodnota z této funkce v jednotce Pa, je nutné ji vydělit 100.

### 6.1.5 Srážky

U měření atmosférických srážek nelze použít měření v daný okamžik, jelikož překlopení člunkového srážkoměru MS-WH-SP-RG může nastat kdykoliv. Z tohoto důvodu bylo použito přerušování. Aby bylo možné využívat přerušování, je ve funkci `setup()` nastaveno přerušování pomocí funkce `attachInterrupt()` s parametry použitého pinu, názvu funkce přerušování a nastavení spuštění přerušování na sestupnou hranu.

V případě vyvolání externího přerušování pomocí sepnutí jazýčkového kontaktu z hodnoty HIGH na LOW je vykonána obsluha přerušování `ISR_RAIN`. V přerušování byla vytvořena proměnná `counter`, která se při každém vyvolání přerušování navýší o 1. Aby bylo zamezeno vícenásobnému přičtení hodnoty způsobené například zákmity jazýčkového kontaktu, je pozdrženo další navýšení `counteru` časem 1 s od předešlé změny `counteru`. To je provedeno pomocí podmínky, ve které musí být splněn uplynulý čas 1 s od předešlé hodnoty. V přerušování je také rozsvícena LED6, Hodnota `counteru` je následně využita ve funkci `rain()`, kde je vynásobena konstantou 0,3 uváděnou pro jedno překlopení. Po odeslání hodnoty do platformy ThingsBoard je hodnota `counteru` vynulována funkcí `rainUpdate()`, jak již bylo zmíněno u popisu obrázku 6.2. Vytvořené funkce byly vloženy do knihovny `srazkomer`. Ukázka použití přerušování, výstupní funkce `rain()` a `rainUpdate()` je na následujícím obrázku 6.5.

```
void IRAM_ATTR ISR_RAIN(){           //RAIN INTERRUPT
  digitalWrite(27,HIGH);

  if((previousPress + 1000) < millis() )
  {
    previousPress = millis();
    counter ++;
  }
}

double rain(){                       //OUTPUT VALUE
  rainAmount = counter * 0.3;
  return rainAmount;
}

void rainUpdate() {                 //UPDATE
  counter = 0;
}
```

Obr. 6.5: Funkce `rain()` a `rainUpdate()`

### 6.1.6 Směr větru

Měření směru větru je založeno na spínání jazýčkových kontaktů a rozdílných hodnot rezistorů, způsobené otáčením směrovky, jak již bylo popsáno v kapitole 4.1.5.



Pro určení hodnoty natočení směrovky byla vytvořena funkce `windDir()`. Pro stanovení směru větru je nutné rozlišit hodnoty sepnutých rezistorů ve směrovce. Mikrokontrolér ESP32 má 12-bitový vstupní ADC převodník a umožňuje tedy rozsah hodnot 0 - 4095. Čtení analogové hodnoty je realizováno pomocí již implementované funkce `analogRead()`. Směrovka WH-SP-WD je připojena na pin 33 (`DIR_W`), jak lze vidět na schématu zapojení v příloze A.2. Pro určení směru větru je využito podmíněného příkazu `if...else`, který pro každou z naměřených hodnot přiřadí konkrétní úhel natočení směrovky. Odpovídající úhly natočení směrovky jsou uvedeny v tabulce 4.5. Funkce `windDir()` vrací úhel natočení uložený v proměnné `dir`. Funkce `windDir()` je zobrazena na následujícím obrázku 6.6.

```
float windDir(){
    raw = analogRead(WIND_DIR_PIN);

    if( (100 < raw ) && (raw <= 350)) {dir = 270;}
    else if( (350 < raw ) && (raw <= 550)) {dir = 315;}
    else if( (550 < raw ) && (raw <= 850)) {dir = 292.5;}
    else if( (850 < raw ) && (raw <= 1050)) {dir = 0;}
    else if( (1050 < raw ) && (raw <= 1450)) {dir = 337.5;}
    else if( (1450 < raw ) && (raw <= 1650)) {dir = 225;}
    else if( (1650 < raw ) && (raw <= 1900)) {dir = 247.5;}
    else if( (2000 < raw ) && (raw <= 2400)) {dir = 45;}
    else if( (2400 < raw ) && (raw <= 2700)) {dir = 22.5;}
    else if( (2700 < raw ) && (raw <= 3050)) {dir = 180;}
    else if( (3050 < raw ) && (raw <= 3300)) {dir = 202.5;}
    else if( (3300 < raw ) && (raw <= 3450)) {dir = 135;}
    else if( (3450 < raw ) && (raw <= 3850)) {dir = 157.5;}
    else if( (3850 < raw ) && (raw <= 3980)) {dir = 90;}
    else if( (3980 < raw ) && (raw <= 4075)) {dir = 67.5;}
    else if( (4075 < raw ) && (raw <= 4095)) {dir = 112.5;}
    else { dir = 99999;}

    return dir;
}
```

Obr. 6.6: Funkce `windDir()`

### 6.1.7 Rychlost větru

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.1.4, měření rychlosti větru pomocí anemometru WH-SP-WS01 je založeno na spínání jazýčkového kontaktu. Měření rychlosti větru je provedeno pomocí přerušení, vyvolané sepnutím jazýčkového kontaktu. Nastavení přerušení je totožné jako u srážkoměru v kapitole 6.1.5. Při vyvolání přerušení se vykoná obsluha přerušení `ISR_WIND_SPEED`. V této rutině je provedeno stejné načítání `counteru2` jako u srážkoměru, ale hodnota pozdržení načtení je jen 10 ms. Hodnota `counteru2` je dále využita ve funkci `windSpeed()`. Výsledná rychlost v jednotkách km/h je vypočtena pomocí následujícího vzorce 6.1:

$$windspeed = \frac{counter}{meassure\_interval} \cdot 2,4 \quad (6.1)$$

- *windspeed* - rychlost větru v km/h
- *counter* - počet pulzů
- *meassure\_interval* - délka intervalu

Měřicí interval byl stanoven na 3 sekundy.

Ve funkci `windSpeed()` je použit předešlý vzorec 6.1. Výpočet rychlosti větru je proveden vždy jen po uplynutí intervalu měření. Po uložení rychlosti větru do proměnné `windspeed`, je vynulován `counter2`. Funkce vrací výslednou hodnotu rychlosti větru pomocí proměnné `windspeed`. Použití přerušení a funkce `windSpeed()` je na následujícím obrázku 6.7.

```
void IRAM_ATTR ISR_WIND_SPEED(){
    if(((previousPress2 + 10) < millis())){
        previousPress2 = millis();
        counter2 ++;
    }
}

double windSpeed()
{
    if((prom + meassure_interval ) < millis()){
        prom = millis();
        windspeed = counter2 / (meassure_interval/1000) * 2.4;
        counter2 = 0;
    }

    return windspeed;
}
```

Obr. 6.7: Funkce `windSpeed()`

### 6.1.8 Měření napětí

Pro měření napětí akumulátoru je využito stejné funkce `analogRead()` jako u měření směru větru. Ve schématu v příloze A.2 lze vidět, že napěťový dělič je připojen na pin 39 (V\_BAT) mikrokontroléru ESP32. Výpočet tohoto děliče je uveden v kapitole 4.3.1. Pro měření a výpočtu napětí na akumulátoru byla vytvořena funkce `batVoltage()` a vložena do vytvořené knihovny `mer_bat.h`. Pro určení napětí na baterii bylo nejdříve nutné převést analogovou hodnotu získanou z napěťového děliče pomocí funkce `analogRead()` na napětí. To bylo provedeno pomocí následujícího vzorce:

$$U = \frac{\text{analog\_value} \cdot 3,3V}{2^{12}} [V] \quad (6.2)$$

Tuto hodnotu je ovšem ještě nutno převést pomocí vzorce pro napěťový dělič 4.2. Hodnoty rezistorů R20 a R21 v kódu odpovídají hodnotám ze schématu uvedeném v příloze A.2. Funkci `batVoltage()` lze vidět na obrázku 6.8.

```
float batVoltage(){
    val = analogRead(39);
    Vout = (val * 3.30) / 4096;
    Vin = Vout / (R21/(R21+R20));
    Out = Vin + 0.19;
    return Out;
}
```

Obr. 6.8: Funkce `batVoltage()`

### 6.1.9 Light-sleep

Jedním z požadavků uvedeným v kapitole 3 je i interval měření. Meteostanice musí být schopna odesílat naměřená data alespoň jednou za 10 min. Celkový průběh měření závisí na nastavení časových parametrů funkce `sendData()`. U dosavadního nastavení je doba celkového průběhu měření 46 sekund. Z důvodu dosažení co nejdélsí výdrže akumulátoru, byl využit režim spánku, v tomto případě `light-sleep`, který omezí odběr proudu mikrokontroléru ESP32 při čekání na další měření. Snížení odběru proudu použitím tohoto režimu společně s dosaženou výdrží akumulátoru je uveden v kapitole 7.3.

Uspání ESP32 bylo vloženo do posledního osmého stavu příkazu `switch/case` ve funkci `mainProgram()`. Uvedení ESP32 do režimu nízké spotřeby je provedeno pomocí funkce `esp_light_sleep_start()`. Probuzení z režimu spánku je možné dvěma způsoby. Prvním způsobem je probuzení pomocí časovače. Po uplynutí nastavené doby se ESP32 uvede znovu do aktivního režimu. Nastavená doba pro probuzení je zároveň interval měření, v tomto případě 5 minut. Druhým způsobem probuzení mikrokontroléru z režimu spánku je pomocí sepnutí externího tlačítka `BTN_S`. To bylo vytvořeno z důvodu probuzení mikrokontroléru uživatelem, v případě že by chtěl odečítat naměřená data z OLED displeje. Probuzení časovačem je provedeno pomocí funkce `esp_sleep_enable_timer_wakeup()` a pomocí tlačítka `esp_sleep_enable_ext1_wakeup()`. Při vývoji programu nastal problém se znovupřipojení WiFi mikrokontroléru, jelikož v režimu spánku je vypnuta. Tento problém byl odstraněn řádným vypnutím WiFi před uložením mikrokontroléru do režimu spánku pomocí funkce `WiFi.disconnect()`. Po probuzení je WiFi znovu za-

pnutá, jak lze vidět na obrázku 6.9. Jestliže je ESP32 připojena k WiFi i k platformě ThingsBoard, je umožněna další sekvence měření. V případě, že se ESP32 nepřipojí do 10 s, je zajištěn přechod do funkce `wifiReconnect()`.

```

case 8: //USPÁNÍ
  if(i_measure){
    main_wifi = 0;
    wait_case = millis();
    wait_sleep = millis();
    i_measure = false;
  }
  if(butt_sleep_flag == 0) disp_time(display,wait_case,wait_set); //USPÁNÍ DISPLEJE /VÝPIS DOBY DO DALŠÍHO MĚŘENÍ

  if(sleep_prom < 1){
    display.clearDisplay();
    WiFi.disconnect(true); //VYPNUTÍ WIFI
    if((wait_sleep + 1000) < millis()) {
      wait_sleep = millis();
      sleep_prom = 1;
      prom_wifi = 1;
      Serial.println("STOP WIFI");
      Serial.flush();
      esp_light_sleep_start(); //LIGHT SLEEP
    }
  }

  esp_sleep_enable_timer_wakeup((wait_set - 3000) * 1000); //PROBUZENÍ ZE SPÁNKU POMOCÍ TIMERU

  if(prom_wifi == 1){ //ZAPNUTÍ WIFI
    WiFi.enableSTA(true);
    WiFi.mode(WIFI_STA);
    delay( 10 );
    Serial.println("START WIFI");
    WiFi.begin(WIFI_AP);
    prom_wifi = 0;
  }

  if((wait_case + wait_set + 10000) < millis() && (WiFi.status() != WL_CONNECTED) && !wifi_info()) main_wifi = 1;

  if((wait_case + wait_set) < millis() && (WiFi.status() == WL_CONNECTED) && wifi_info()){
    display.clearDisplay();
    wait_case = millis();
    measure_case = 1;
    sleep_prom = 0;
    prom_wifi = 0;
  }
}
break;

```

Obr. 6.9: Light-sleep

### 6.1.10 Displej

Venkovní součástí meteostanice je také 1,3" OLED. Pro zobrazení dat na displeji byly použity knihovny `Adafruit_GFX.h` a `Adafruit_SH1106.h`. V části úvodní inicializace programu funkce `setup()`, je provedeno i úvodní nastavení displeje jako nastavení I2C adresy (0x3C), zapnutí displeje a nastavení velikosti písma.

Jelikož displej není velký a všechna naměřená data by se nevlezla na jednu obrazovku, byla vytvořena funkce `mainProgramDisp()`, která umožňuje přepínání mezi

dvěma plochami. Na první ploše jsou zobrazeny první 4 meteorologické veličiny příkazu `switch/case`, tedy teplota, vlhkost, srážky a tlak. Na druhé ploše jsou umístěny zbylé veličiny: směr větru, rychlost větru a baterie. Obrazovky jsou automaticky přepínány mezi sebou v intervalu 4 s. Ukázka funkce `mainProgramDisp()` je na následujícím obrázku 6.10. Tato funkce je umístěna na začátku funkce `mainProgram()`, jak lze vidět na obrázku 6.2.

```

void mainProgramDisp(){
    if((mill_screen + 4000 ) < millis()){
        mill_screen = millis();
        if(buttonCounter == 1){
            buttonCounter = 0;}
        else{
            buttonCounter = 1;}
    }

    if(butt_sleep_flag == 0){
        switch (buttonCounter){
            case 0:
                disp_screen0(display, disp_temperature, disp_humidity, disp_pressure, disp_rain);
                button_counter(buttonCounter,measure_case);
                break;

            case 1:
                disp_screen1(display, disp_wind_dir, disp_wind_speed,disp_battery);
                button_counter(buttonCounter,measure_case);
                break;
        }
    }
}

```

Obr. 6.10: Funkce `mainProgramDisp()`

Součástí funkce `mainProgram()` jsou i další 3 vytvořené funkce, `dispScreen0()`, `dispScreen1()` a `button_counter()`. Funkce `dispScreen()` 0 a 1 slouží k výpisu textu a hodnot první i druhé obrazovky. Funkce `button_counter()` posouvá znak ">" na levé straně obrazovky.

Na následujícím obrázku 6.11 lze vidět oba navržené obrazovky. Na obrázku 6.11a je vyfocena první obrazovka s výpisem naměřených hodnot. Průběh měření je indikován nápisem "Probiha mereni" a také indikací pomocí znaku ">", který ukazuje konkrétním měřenou veličinu. Na obrázku 6.11b je druhá obrazovka, která slouží k zobrazení zbylých veličin. V pravém horním rohu obrazovky je odpočítáván čas do dalšího intervalu měření.

Aby displej zbytečně nesvítil, je provedeno automatické usnutí po uplynutí 2 min od spuštění programu. Probuzení displeje lze pomocí externího tlačítka `BTN_S`.



(a) Displej (1. obrazovka)

(b) Displej (2. obrazovka)

Obr. 6.11: Obrazovky displeje

## 6.2 ThingsBoard

Aby bylo možné data odesílat do platformy ThingsBoard, bylo nutné si nejdříve založit účet na stránce <https://demo.thingsboard.io/>. Dále bylo nutné vytvořit profily dvou zařízení. Při vytvoření každého zařízení se generuje unikátní přístupový klíč, tzv. "token", který slouží k přístupu a ověření hardware zařízení, v tomto případě venkovní jednotky a konzole, k platformě ThingsBoard.

K odesílání naměřených dat byla použita knihovna `ThingsBoard.h`. K propojení zařízení a platformy ThingsBoard je ve smyčce `void loop()` volána funkce `tb_init()`, jejímiž parametry je adresa serveru "demo.thingsboard.io", a již zmiňovaný přístupový token. Odesílání naměřených hodnot je provedeno pomocí funkce `sendTelemetryFloat()`. Prvním parametrem této funkce je odesílaná hodnota, a druhým je název klíče, pod kterým je hodnota uvedena. Názvy klíčů odpovídají názvům měřených veličin.

Stejným způsobem je provedeno i odesílání naměřených dat z konzole, jen byla použita jiná knihovna, a to knihovna `paho-mqtt.client.py`.

Příjem hodnot z venkovní jednotky v platformě ThingsBoard lze vidět na následujícím obrázku 6.12.

Meteostanice			
Detail zařízení			
Detail	Atributy	Poslední telemetrie	Alarmy
Události	Vztahy	Záznamy auditu	Version control
Poslední telemetrie			
<input type="checkbox"/>	Čas poslední aktualizace Klíč ↑		Hodnota
<input type="checkbox"/>	2023-05-13 20:15:32	battery	3.897571564
<input type="checkbox"/>	2023-05-13 20:15:12	humidity	71.65400696
<input type="checkbox"/>	2023-05-13 20:15:19	pressure	987.2161255
<input type="checkbox"/>	2023-05-13 20:15:13	rain	0
<input type="checkbox"/>	2023-05-13 20:15:01	temperature	13.64999962
<input type="checkbox"/>	2023-05-13 20:15:21	wind direction	130.5
<input type="checkbox"/>	2023-05-13 20:15:25	wind speed	0

Obr. 6.12: Příjem meteorologických dat

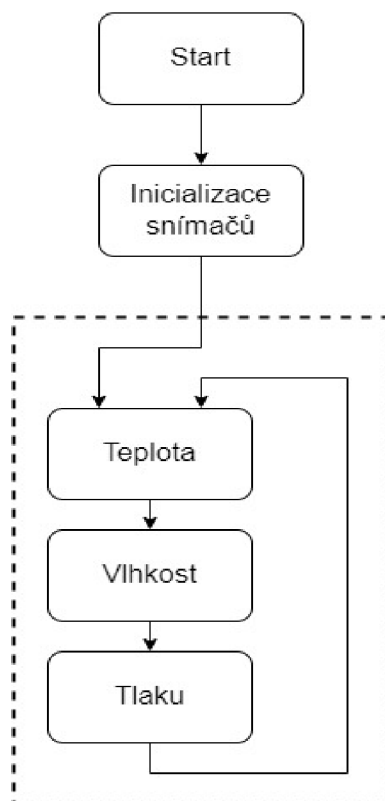
## 6.3 Konzole

Na mikropočítač Raspberry Pi byl nainstalován operační systém Raspbian, který je open-source. Pro návrh programu byl vybrán program PyCharm. Jedná se o vývojové prostředí pro jazyk Python.

Program byl navržen stejně jako pro venkovní jednotku pomocí stavového automatu. K vytvoření stavového automatu byl použit příkaz `if...else`. Navržený program vychází již z navrženého software pro mikrokontrolér ESP32. Z návrhu vnitřní konzole vyplývá, že konzole musí být schopna číst naměřená data ze snímačů SHT35 a BMP388. Pro tyto snímače byly nainstalovány knihovny rovněž od společnosti Adafruit. V rámci DPS byly zvoleny opačné možnosti I2C adres snímačů než u venkovní jednotky. U snímače SHT35 byla nastavena adresa 0x45 a u snímače BMP388 adresa 0x77. Pro odesílání dat do platformy ThingsBoard, byla přidána knihovna `paho-mqtt`.

- `adafruit_sht31d.py`
- `adafruit_bmp3xx.py`
- `paho-mqtt.client.py`

Diagram funkce navrženého programu pro konzoli je uveden na následujícím obrázku 6.13.



Obr. 6.13: Diagram programu konzole

Mezi vytvořené funkce v Pythonu patří `sendData()`, `average()` a `shtHeater()`. Funkce `sendData()` je totožná již s vytvořenou funkcí použité u programu vnitřní jednotky. Tato funkce je již uvedena na obrázku 6.3. Funkce `average()` provádí aritmetický průměr, pomocí postupným plněním pole o velikosti pěti prvků. Použití funkce `shtHeater()` je stejné jak u programu venkovní jednotky. Ohřívač je zapíná před měřením teploty a vlhkosti vždy na 0,5 s. Doba mezi stavy měřením je nastavena na 20 s a s rozestupy mezi jednotlivými měřeními hodnot 0,5 s. Ukázka části programu pro vnitřní konzoli je na obrázku 6.14.



```

1 ▾ if __name__ == '__main__':
2 ▾     while True:
3 ▾         shtHeater(100)
4 ▾         if measure == 0:
5 ▾             flag = sendData(sht.temperature, "Teplota", 20000, 500, 1)
6 ▾             if flag:
7 ▾                 i_heater = True
8 ▾                 measure = 1
9
10 ▾         elif measure == 1:
11 ▾             flag = sendData(sht.relative_humidity, "Vlhkost", 20000, 500, 1)
12 ▾             if flag:
13 ▾                 measure = 2
14
15 ▾         elif measure == 2:
16 ▾             flag = sendData(bmp.pressure, "Tlak", 20000, 500, 1)
17 ▾             if flag:
18 ▾                 measure = 0
19 ▾                 i_heater = True

```

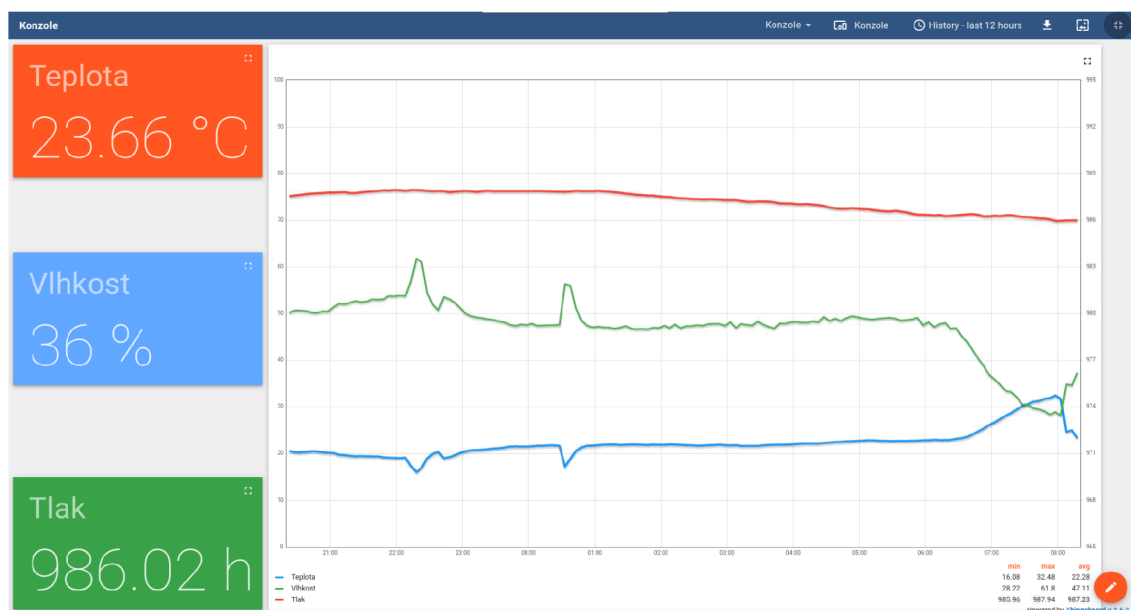
Obr. 6.14: Smyčka main konzole

## 7 Ověření funkčnosti

V této kapitole je uvedeno zhodnocení dosažených výsledků meteostanice.

### 7.1 Popis realizované meteostanice

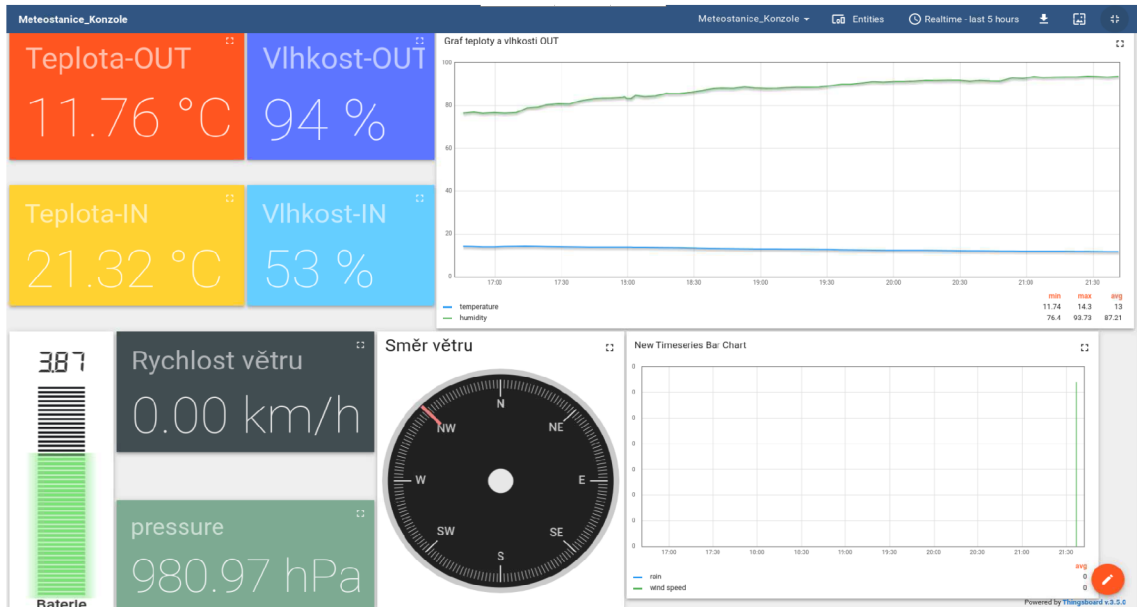
Jedním z hlavních důvodů výběru platformy ThingBoard je vytváření vlastních zobrazovacích panelů (dashboardů). Pro navrhovanou meteostanici byly navrženy 3 dashboardy, protože ThingsBoard umožňuje pohodlné přepínání mezi těmito obrazovkami. Veškeré dashboardy byly navrženy tak, aby byla data co nejvíce čitelná. První zobrazovací obrazovka byla vytvořena pouze pro zobrazení naměřených hodnot vnitřní konzole. Na obrázku 7.1 lze vidět konečný návrh této obrazovky. V levé části byly umístěny 3 numerické indikátory pro teplotu, vlhkost a tlak. Zbylou část tvoří graf. V tomto grafu jsou zobrazeny průběhy těchto třech hodnot v čase. Časový interval lze jednoduše měnit v horní liště a lze jej nastavit v libovolné délce nebo v určitém časovém intervalu. Ve spodní části grafu jsou zobrazeny minimální, maximální a průměrné naměřené hodnoty grafu.



Obr. 7.1: Dashboard konzole

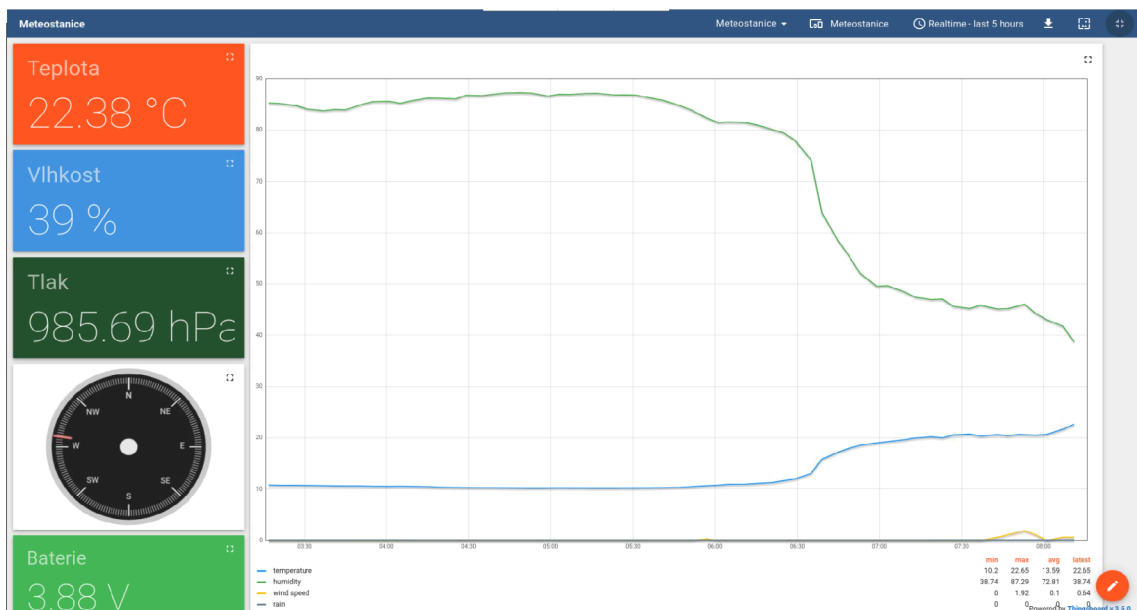
Druhá navržená obrazovka (obr. 7.2) je kombinací zobrazení dat meteostanice a vnitřní konzole. Pro zobrazení naměřených dat z venkovní jednotky byly použity stejné widgety. V levé části jsou opět umístěny indikátory jak pro venkovní jednotku tak pro konzoli. V pravé části je umístěn graf zobrazující průběh teploty venkovní jednotky. Ve spodní části dashboardu je umístěn indikátor stavu nabití baterie,

dále indikátor rychlosti větru a atmosférického tlaku. Dalším widgetem je větrná růžice, ve které se zobrazují naměřené hodnoty ze směrovky. V pravém dolním rohu je umístěn sloupcový graf, ve kterém se zobrazují rychlosti větru a také naměřené srážky.



Obr. 7.2: Dashboard meteostanice a konzole

Poslední vytvořená obrazovka (obr. 7.3) zobrazuje naměřená data pouze jen z venkovní meteostanice. Je navržena stejným způsobem jako první obrazovka.



Obr. 7.3: Dashboard meteostanice

Méně čitelnými z větší dálky jsou pouze minimální, maximální a průměrné hodnoty umístěné pod grafy. Při přiblížení jsou ale i tyto hodnoty čitelné.

## 7.2 Testovací měření

V rámci ověření měřených hodnot ze snímače teploty SHT35 a anemometru WH-SP-WS01, bylo provedeno laboratorní měření.

Pro porovnání naměřených dat teploty byl použit odporový snímač TG3-60 PT100/3850/A od společnosti Sensit. Snímač byl připojen pomocí 4-vodičového zapojení do analogového vstupního modulu od společnosti National Instruments NI-9219. Tento modul byl vložen do šasi CompactDAQ-9171 a následně připojen k počítači. Měřená hodnota byla odečítána pomocí programu LabVIEW s již vytvořeným VI. Parametry snímače PT100 jsou umístěny v tabulce 7.1.

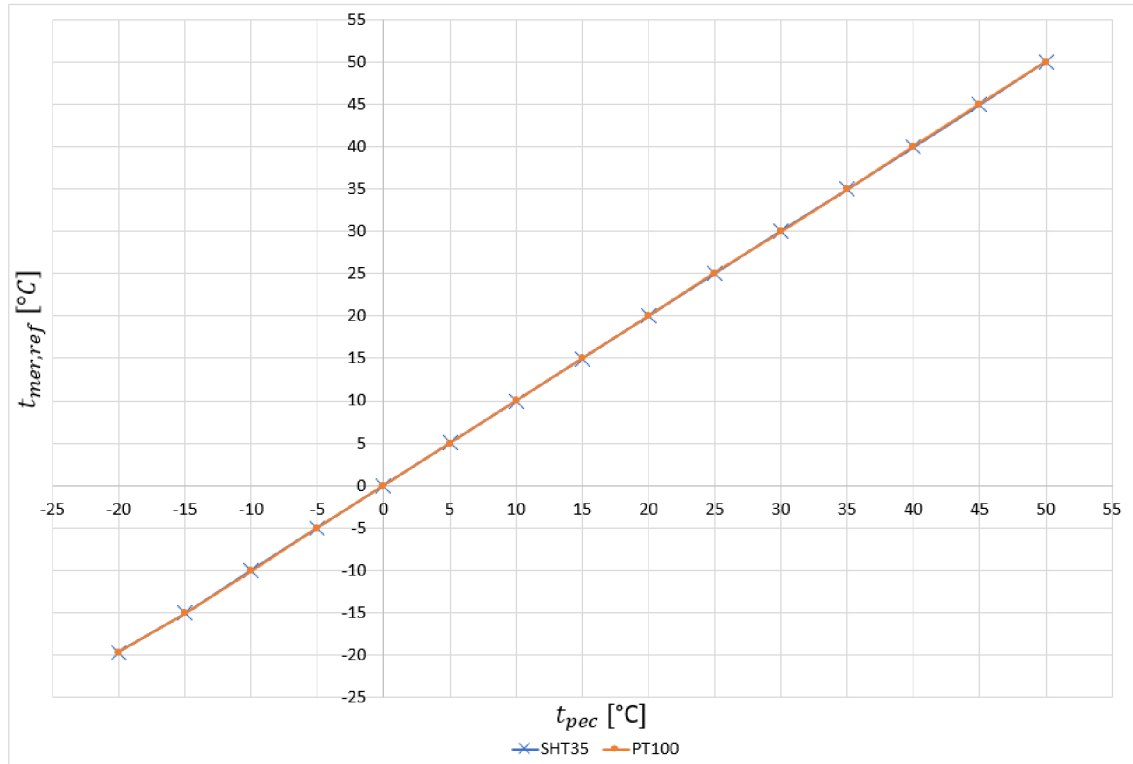
Tab. 7.1: Parametry snímače PT100

Parametry		Hodnota
Teplota	Rozsah	-50 °C až 200 °C
	Rozlišení	0,01 °C
	Přesnost	±0,15 °C

Odporový snímač byl přichycen k navržené DPS obsahující snímač SHT35. Oba tyto snímače pak byly vloženy do kalibrační pece Hyperion BP 182 od společnosti Aoip. Do kalibrační komory této pece byly vloženy oba snímače teploty a vrchní část byla utěsněna. V komoře byla postupně nastavována teplota v rozsahu -20 °C až 50 °C s krokem 5 °C. Naměřené hodnoty teplot obou snímačů a výpočet absolutní chyby měření ( $\Delta_{tep}$ ) pro jednotlivé nastavené hodnoty teploty pece jsou zaneseny v tabulce 7.2. Hodnoty z této tabulky jsou znázorněny i pomocí grafu uveden na obrázku 7.4. Referenční snímač PT100 je označen ( $t_{ref}$ ) a snímač SHT35 jako ( $t_{mer}$ ).

Tab. 7.2: Naměřené hodnoty teplot snímači SHT35 a PT100

$t_{pec}$ [°C]	$t_{mer}$ [°C]	$t_{ref}$ [°C]	$\Delta_{tep}$ [°C]
-20	-19,67	-19,71	-0,04
-15	-15,03	-15,02	0,01
-10	-9,97	-10,03	-0,06
-5	-5,01	-5,02	-0,01
0	-0,02	0,01	0,03
5	5,04	4,99	-0,05
10	10	10,03	0,03
15	14,99	15,01	0,02
20	20,03	20,02	-0,01
25	25,01	25,05	0,04
30	30,04	30	-0,04
35	34,98	34,99	0,01
40	40	40,02	0,02
45	44,97	45,06	0,09
50	49,99	50,04	0,03



Obr. 7.4: Graf teploty

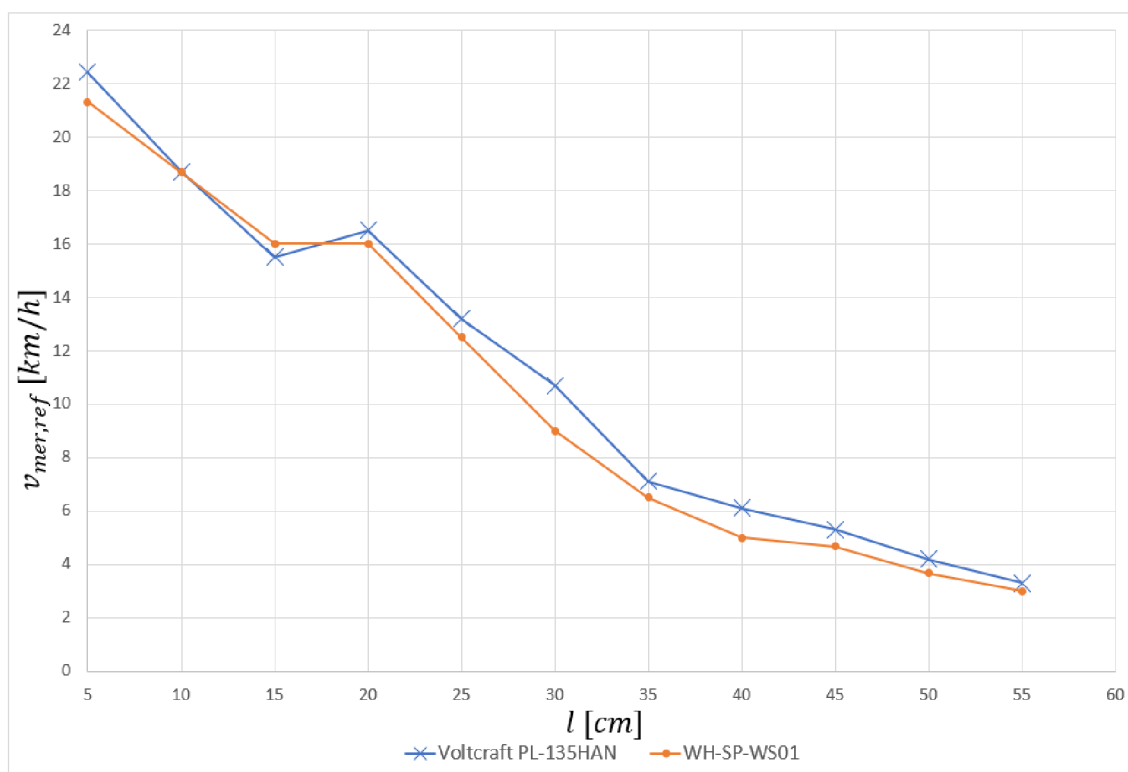
K ověření rychlosti větru použitého anemometru WH-SP-WS01 u navrhované meteostanice byl použit termický anemometr Voltcraft PL-135HAN. Jako zdroj větru byl použit elektrický ventilátor s trubicí, která umožnila nasměrování proudění větru k anemometrům. Snímače byly umístěny ve stejné vzdálenosti od ventilátoru. Jelikož ventilátor neumožňoval nastavení otáček, byla změna rychlosti proudění dosažena pomocí postupného oddálení ventilátoru. Trubice ventilátoru byla postupně oddalována stejným směrem proudění větru po 5 cm od anemometrů. V tabulce 7.4 jsou uvedeny vzdálenosti ventilátoru od snímačů rychlosti větru, odpovídající naměřené hodnoty rychlosti větru obou anemometrů a absolutní chybu měření ( $\Delta_{rych}$ ). Za referenční anemometr je považovaný Voltcraft PL-135HAN ( $v_{ref}$ ) a anemometr WH-SP-WS01 je označen ( $v_{mer}$ ). Hodnoty z tabulky 7.4 jsou opět zobrazeny v grafu na obrázku 7.5. Parametry snímače Voltcraft PL-135HAN jsou umístěny v tabulce 7.3.

Tab. 7.3: Parametry snímače Voltcraft PL-135HAN

Parametry		Hodnota
Rychlost větru	Rozsah	1,4 - 108 km/h
	Rozlišení	0,1 km/h
	Přesnost	$\pm 5$ %

Tab. 7.4: Naměřené hodnoty rychlosti větru anemometry Voltcraft PL-135HAN a WH-SP-WS01

l [cm]	$v_{mer}$ [km/h]	$v_{ref}$ [km/h]	$\Delta_{rych}$ [km/h]
5	21,3	22,4	1,1
10	18,67	18,7	0,03
15	16	15,5	-0,5
20	16,5	16,5	0,5
25	12,5	13,2	0,7
30	9	10,7	1,7
35	6,5	7,1	0,6
40	5	6,1	1,1
45	4,67	5,3	0,63
50	3,67	4,2	0,53
55	3	3,3	0,3



Obr. 7.5: Graf rychlosti větru

Z testovacího měření teploty vyplývá, že snímač SHT35 splňuje požadavky na přesnost. Odchylka od snímače PT100 nebyla větší než 0,09 °C. Z grafu (obr. 7.4) je patrné, že chyba měření je zanedbatelná.

U měření rychlosti větru byla funkčnost anemometru WH-SP-WS01 ověřena termický anemometrem Voltcraft PL-135HAN. Maximální odchylka v rámci anemometrů je 1,7 km/h. Odchylka naměřených hodnot je ze značné části dána nerovnoměrným prouděním z použitého ventilátoru.

### 7.3 Výdrž akumulátoru

Jedním z hlavní parametrů je výdrž akumulátoru venkovní jednotky. Aby byla výdrž akumulátoru co nejdéle, byl realizován režim nízké spotřeby (light-sleep), který je popsán v kapitole 6.1.9. Odebíraný proud byl měřen na jumperu JP1, který odděluje mikrokontrolér od zbytku napájecí části. Při vykonávání programu odebírá ESP32 různé hodnoty proudu. Největší náročnost je při odesílání naměřených dat pomocí WiFi. Tyto hodnoty jsou ale pouze krátkodobé 1 - 2 s. Další fází je v průběhu měření meteorologických veličin a následně i v režimu spánku. K výdrži akumulátoru také přispívá uspaní OLED displeje. Rozdíl mezi aktivním a uspaným displejem je 5 mA.

V následující tabulce 7.5 jsou uvedeny hodnoty odebíraného proudu mikrokontroléru ESP32 v různých fázích průběhu programu a jejich doby trvání. Doby trvání jsou uvedeny pro jeden interval měření, tedy 5 min. Doba odesílání jedné meteorologické veličiny je 0,5 s. V každém intervalu je odesláno 7 veličin. Doba cyklu měření je přibližně 46 s.

Tab. 7.5: Hodnoty odebíraného proudu ESP32

Režimy	I [mA]	t [s]
Odesílání dat	110	3,5
Měření	55	42,5
Light-sleep	9,6	254

Z těchto hodnot byla vypočtena pomocí následujícího vzorce 7.1 přibližná doba výdrže akumulátoru.

$$t = \frac{Q_{bat} \cdot 4}{\sum \left( \frac{t}{3600} \cdot 12 \cdot I \right)} = \frac{2600 \cdot 4}{17,19} = 605 \text{ h} \quad (7.1)$$

Odhadovaná výdrž meteostanice čistě na akumulátor je 25,2 dní. Tato doba je dostatečná i pro případ, že by delší dobu nesvítlo slunce a nedobíjelo by akumulátor.

## 7.4 Cena meteostanice

Na závěr je také vhodné uvést cenové náklady navržené meteostanice, v tabulce 7.6 jsou uvedeny ceny komponent venkovní části meteostanice. V cenách komponent nejsou zahrnuty náklady za dopravu. V ceně snímačů meteorologických veličin jsou zahrnuty náklady jak pro snímače venkovní jednotky tak konzole. Ve výrobě DPS jsou zahrnuty jak výrobní náklady samotných desek, tak náklady za osazení součástek. V ceně součástek jsou zahrnuty veškeré ostatní komponenty, např. solární panel, krabička, displej a SMD součástky. V tabulce 7.7 jsou uvedeny ceny komponent vnitřní konzole.



Tab. 7.6: Ceny komponent venkovní meteostanice

Komponenty	Cena [Kč]
Snímače	1 326
Součástky	3 056
Výroba DPS	740
3D tisk	500
Celkem	5 622

Tab. 7.7: Ceny komponent vnitřní konzole

Komponenty	Cena [Kč]
Raspberry Pi sada	3 359
Displej	1 975
3D tisk	700
Celkem	6 034

Celková cena navržené meteostanice je 11 656 Kč. Cena je vyšší než nejdražší meteostanice z průzkumu trhu. Meteostanice GARNI 3015 Arcus stojí 9 989 Kč. Navržená meteostanice ovšem dosahuje lepší přesnosti měření teploty, vlhkosti a tlaku. Vyšší cena navržené meteostanice je dána především cenou mikropočítače Raspberry Pi, který by byla před 2 lety poloviční. V tomto případě by pak byly meteostanice srovnatelné.

Velkou výhodou navržené meteostanice je možnost přidání dalších meteorologických snímačů jako např. snímač osvětlení, kvality vzduchu nebo UV indexu. Tyto možnosti ovšem meteostanice dostupné na trhu neumožňují.

Důvodem použití Raspberry i navzdory vyšší ceny byla využitelnost při budoucích projektech. Navrženou konzoli lze využít kromě zobrazení meteorologických veličin například k ovládání chytré domácnosti.

# Závěr

V rámci diplomové práce byla navržena domácí meteostanice. V první kapitole byly vypracovány základní meteorologické prvky a měřicí zařízení pro jednotlivé veličiny. Pro jednotlivá měření byly uvedeny různé druhy snímačů nebo zařízení.

Následuje vypracování průzkumu trhu. Zde byly vybrány tři dostupné meteostanice, které svými parametry a funkcemi odpovídají navrhované domácí meteostanici. Vybranými meteostanicemi jsou Sencor SWS 9300, GARNI 940 a GARNI 3015 Arcus. Sencor je z vybraných meteostanic parametry nejslabší a nabízí nejméně funkcí, je ovšem nejlevnější. Garni 940 nabízí už pokročilejší funkce, ale zase je dražší. Nejlepší a nejdražší meteostanicí je ovšem GARNI 3015 Arcus, která nabízí veškeré potřebné funkce i skvělé parametry měření.

Před samotným návrhem byly vydefinovány požadavky na domácí meteostanici. Byly stanoveny požadavky na venkovní a vnitřní část meteostanice. Pro venkovní část bylo zvoleno měření teploty, vlhkosti, tlaku, úhrnu srážek, rychlosti a směru větru. Pro vnitřní konzoli bylo hlavním požadavkem zobrazení naměřených dat a měření vnitřní teploty a vlhkosti.

Následně bylo přistoupeno k samotnému návrhu hardware vnitřní a venkovní jednotky meteostanice. V první části byly vybrány konkrétní snímače meteorologických veličin, popis zvolené komunikace a samotný návrh DPS. K řízení byl vybrán mikrokontrolér ESP32-WROOM-32UE.

U návrhu konstrukce obou jednotek byla využita z velké části technologie 3D tisku. Pro venkovní jednotku se jedná zejména o vytištěné díly pro uchycení snímačů a uložení komponent v řídicí krabici. Celá konstrukce vnitřní konzole byla vyrobena pomocí 3D tisku, a tím bylo dosaženo vlastního návrhu, který je funkční.

V kapitole 6 je popsán navržený software meteostanice. Kapitola nejdříve popisuje návrh programu a jeho fungování, následně způsob měření meteorologických veličin a na závěr popis čtení hodnot z jednotlivých snímačů. Důležitou součástí programu je implementace light-sleep režimu, který snižuje energetickou náročnost venkovní meteostanice. Na závěr kapitoly je popsán i samotný návrh programu vnitřní konzole, který vychází z programu pro venkovní jednotku.

V poslední kapitole 7 jsou uvedeny dosažené výsledky navrhované meteostanice. Pro navrhovanou meteostanici byly vytvořeny celkem 3 obrazovky. Dále jsou uvedeny výsledky měření testování snímače teploty a rychlosti větru v laboratoři. U snímače teploty byla ověřena jeho přesnost a jeho odchylka od referenčního teploměru nebyla větší než 0,09 °C. Snímač rychlosti větru vykazoval větší odchylku, přesněji 1,7 km/h, způsobenou nerovnoměrným prouděním větru.

Navržená meteostanice je plně funkční a všechny body zadání diplomové práce byly splněny.

# Literatura

- [1] VYSOUDIL, Miroslav. *Meteorologie a klimatologie*, 2.vyd.Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2006. ISBN 80-244-1455-4.
- [2] Praha Klementinum. *chmi.cz*, Český hydrometeorologický úřad, Portál ČHMÚ-Historická data-Počasi-Praha Klementinum. [online]. [cit. 15.11.2022]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/praha-klementinum>
- [3] KRÁLOVÁ, Magda. *edu.techmania.cz*, Techmania Science Center, Encyklopedie - Fyzika - Meteorologie - Meteorologie, [online]. [cit. 15.11.2022]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/meteorologie/meteorologie>
- [4] UHLÍŘ, Pavel. *Meteorologie a klimatologie v zemědělství*, Československá akademie zemědělských věd, 1961, str.91, str.152-155
- [5] KRČMAR, Jan. *Meteorologie (050 00)*, Akademické nakladatelství CERM,s.r.o., Brno 2006
- [6] BEDNÁŘ, Jan. *Meteorologie : úvod do studia dějů v zemské atmosféře*, Praha: Portál, 2003. ISBN 80-7178-653-5.
- [7] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. *Senzory a měřicí obvody*, Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01500-9.
- [8] Větrná růžice. *commons.wikimedia.org* [online], 2006 [cit. 30.10.2022]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brosen\\_windrose.svg#/media/File:Brosen\\_windrose.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brosen_windrose.svg#/media/File:Brosen_windrose.svg)
- [9] Guide to Instruments and Methods of Observation - Volume I – Measurement of Meteorological Variables. *library.wmo.int* [online], 2021 [cit. 6.5.2023]. Dostupné z: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=11386](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11386)
- [10] Meteorologická stanice. *pardubice.rozhlas.cz* [online], pardubice.rozhlas, 2022 [cit. 5.11.2022]. Dostupné z: <https://pardubice.rozhlas.cz/nejstarsi-meteorologicka-stanice-stoji-na-otave-6039726>
- [11] COMETEO F8001 štít. *cometsystem.cz* [online], cometsystem, 2022 [cit. 5.11.2022]. Dostupné z: <https://www.cometsystem.cz/produkty/cometeo-profesionalni-univerzalni-meteokryt-pred-vlivy-pocasi-prirozene-vent-reg-f8001>

- [12] Vybavení meteorologické budky obr. 1.7. *is.muni.cz* [online], 2022 [cit. 5.11.2022]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz\\_geogr/web/pages/01-uvod.html](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/01-uvod.html)
- [13] Aneroid Barometer. *pixels.com* [online], pixels, 2022 [cit. 15.11.2022]. Dostupné z: <https://pixels.com/featured/1-aneroid-barometer-science-photo-library.html>
- [14] Sencor SWS 9300. *sencor.cz* [online], sencor, 2022 [cit. 13.11.2022]. Dostupné z: <https://www.sencor.cz/meteorologicka-stanice/sws-9300>
- [15] GARNI 940. *garni-meteo.cz* [online], garni-meteo, 2022 [cit. 13.11.2022]. Dostupné z: <https://www.garni-meteo.cz/wi-fi-meteorologicka-stanice-garni-940.html>
- [16] GARNI 3015 Arcus. *garni-meteo.cz* [online], garni-meteo, 2022 [cit. 13.11.2022]. Dostupné z: <https://www.garni-meteo.cz/wi-fi-meteorologicka-stanice-garni-3015-arcus.html>
- [17] Datasheet *ESP32-WROOM-32E* [online], 2020 [cit. 30.12.2022]. Dostupné z: [https://cz.mouser.com/datasheet/2/891/esp32\\_wroom\\_32e\\_esp32\\_wroom\\_32ue\\_datasheet\\_en-1855879.pdf](https://cz.mouser.com/datasheet/2/891/esp32_wroom_32e_esp32_wroom_32ue_datasheet_en-1855879.pdf)
- [18] Samsung 18650 *Samsung ICR18650-26J 2600mAh* [online], [cit. 7.5.2023]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/2600mah-samsung-icr18650-26j-18650-li-ion-baterie/>
- [19] Solární panel *Solární panel 6V 4.5W* [online], [cit. 7.5.2023]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/solarni-panel-6v-4-2w/>
- [20] Waveshare 7"QLED 1024×600 *rpishop.cz* [online], 2022 [cit. 30.12.2022]. Dostupné z: [https://rpishop.cz/vyhledavani?search\\_query=WAV168](https://rpishop.cz/vyhledavani?search_query=WAV168)
- [21] ThingsBoard Open-source IoT platform *thingsboard.io* [online], 2022 [cit. 30.12.2022]. Dostupné z: <https://thingsboard.io/>
- [22] Datasheet *Raspberry Pi 4B* [online], 2020 [cit. 30.12.2022]. Dostupné z: <https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-datasheet.pdf>
- [23] Raspberry Pi 4B *rpishop.cz* [online], rpishop, 2022 [cit. 30.12.2022]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/raspberry-pi-4b/1598-raspberry-pi-4-model-b-4gb-ram-765756931182.html>

- [24] Datasheet *CN3791* [online], [cit. 7. 5. 2023]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132685/CONSONANCE/CN3791.html>
- [25] Datasheet *DW01A* [online], [cit. 7. 5. 2023]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1150541/HMSEMI/DW01A.html>
- [26] Datasheet *TPS79633* [online], [cit. 7. 5. 2023]. Dostupné z: [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps796.pdf?HQS=dis-mous-null-mouser-mode-dsf-pf-null-wwe&ts=1683471667100&ref\\_url=https](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps796.pdf?HQS=dis-mous-null-mouser-mode-dsf-pf-null-wwe&ts=1683471667100&ref_url=https)
- [27] Datasheet *SHT35* [online], 2020 [cit. 30. 12. 2022]. Dostupné z: [https://cz.mouser.com/datasheet/2/682/Sensirion\\_Humidity\\_Sensors\\_SHT3x\\_Datasheet\\_digital-2001026.pdf](https://cz.mouser.com/datasheet/2/682/Sensirion_Humidity_Sensors_SHT3x_Datasheet_digital-2001026.pdf)
- [28] Datasheet *BMP388* [online], 2020 [cit. 7. 5. 2023]. Dostupné z: <https://www.mouser.com/pdfdocs/BST-BMP388-DS001-01.pdf>
- [29] Datasheet *MS-WH-SP-RG, WH-SP-WS01* [online], 2020 [cit. 7. 5. 2023]. Dostupné z: <https://www.manualslib.com/manual/895569/Mi-Sol-Wh2081.html?page=13#manual>
- [30] Srážkoměr MS-WH-SP-RG *laskakit.cz* [online], laskakit, 2022 [cit. 30. 12. 2022]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/ms-wh-sp-rg-srazkomer/>
- [31] Anemometr WH-SP-WS01 *laskakit.cz* [online], laskakit, 2022 [cit. 30. 12. 2022]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/wh-sp-ws01-cidlo-rychlosti-vetru-anemometr/>
- [32] Směrovka WH-SP-WD *laskakit.cz* [online], laskakit, 2022 [cit. 30. 12. 2022]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/wh-sp-wd-cidlo-smeru-vetru/>
- [33] Snímač osvětlení BH1750 *www.mouser.com* [online], mouser, 2022 [cit. 7. 5. 2022]. Dostupné z: <https://www.mouser.com/datasheet/2/348/bh1750fvi-e-186247.pdf>
- [34] Microsoft VS Code [online], 2023 [cit. 3. 5. 2023]. Dostupné z: <https://code.visualstudio.com/>
- [35] PlatformIO [online], 2020 [cit. 3. 5. 2023]. Dostupné z: <https://platformio.org/>
- [36] Library Adafruit SHT31 [online], 2020 [cit. 10. 5. 2023]. Dostupné z: [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_SHT31](https://github.com/adafruit/Adafruit_SHT31)

# Seznam symbolů a zkratek

## Symboly:

$T, t$	termodynamická teplota [K]
$p$	atmosferický tlak [Pa]
$F$	tlaková síla [N]
$S$	plocha [m <sup>2</sup> ]
$l$	délka [m]
$m$	hmotnost [kg]
$V$	objem [m <sup>3</sup> ]
$a$	absolutní vlhkost [g/m <sup>3</sup> ]
$\tau$	relativní vlhkost [°C]
$s_v$	směr větru [°]
$C$	kapacita baterie [Ah]
$t$	čas [s]
$v$	rychlost [m/s]
$U$	elektrické napětí [V]
$I$	elektrický proud [A]
$R$	elektrický odpor [ $\Omega$ ]
$P$	elektrický výkon [W]

## Zkratky:

<b>USA</b>	United States of America
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>UART</b>	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
<b>SPI</b>	Serial Peripheral Interface

<b>I2C</b>	Inter-Integrated Circuit
<b>SAR</b>	Successive Approximation Register
<b>A/D</b>	Analogově-digitální (převodník)
<b>GSM</b>	Groupe Spécial Mobile
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service
<b>SIM</b>	Subscriber Identity Module
<b>AT (příkazy)</b>	Attention commands
<b>Li-Ion</b>	Lithium-Ionový
<b>BMS</b>	Battery Management System
<b>MPPT</b>	Maximum Power Point Tracking
<b>IPS</b>	In-Plane Switching
<b>HDMI</b>	High-Definition Multimedia Interface
<b>Wi-Fi</b>	Wireless Fidelity
<b>GPIO</b>	General-purpose input/output
<b>I/O</b>	Input/Output
<b>DPS</b>	deska plošných spojů
<b>SMD</b>	surface mount technology
<b>IC</b>	Integrated Circuit
<b>OLED</b>	Organic Light-Emitting Diode

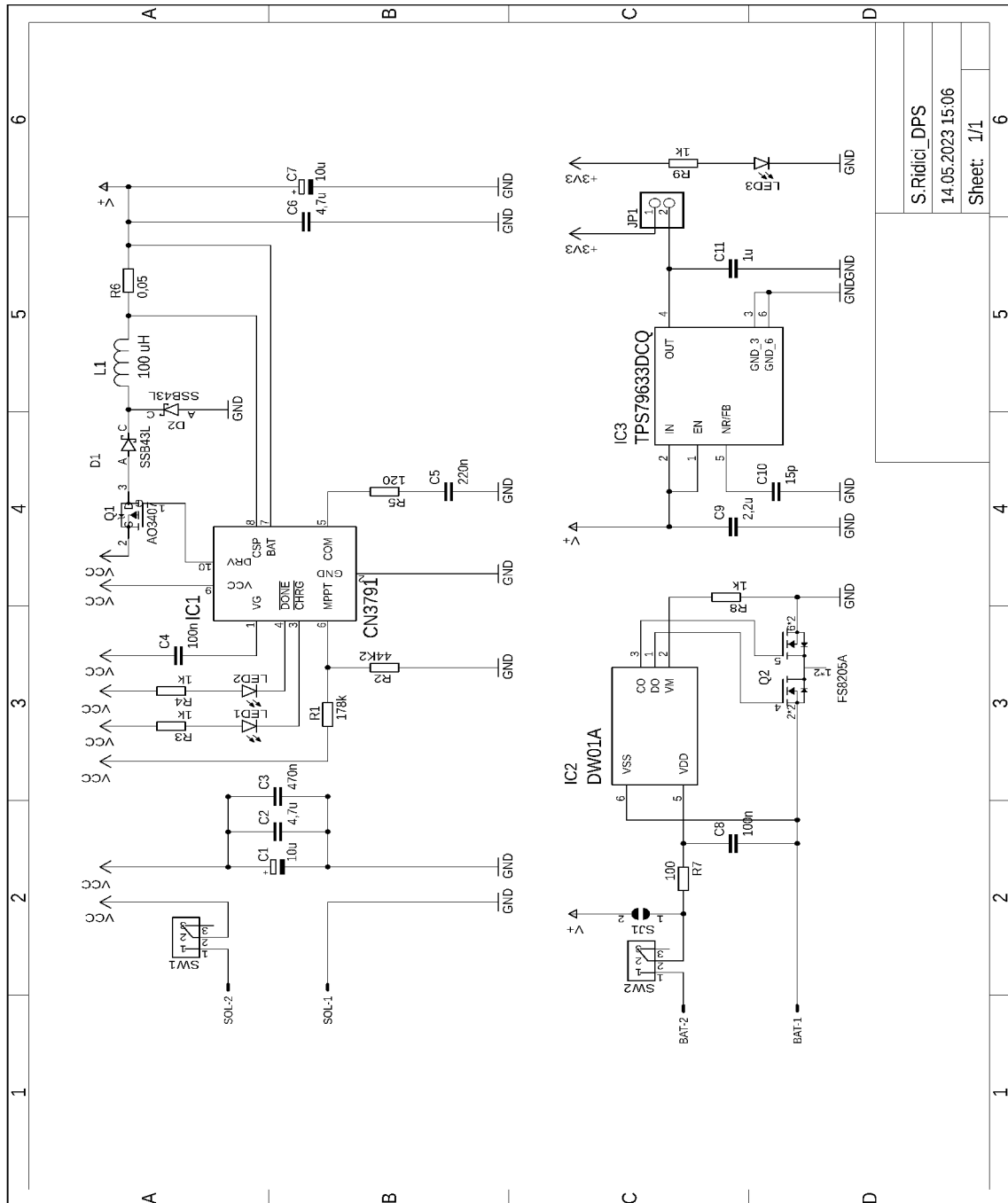
# Seznam příloh

<b>A</b>	<b>Řídicí obvod</b>	<b>81</b>
A.1	Napájecí část . . . . .	81
A.2	Řídicí část . . . . .	82
<b>B</b>	<b>Snímače</b>	<b>84</b>
<b>C</b>	<b>Obsah přílohy</b>	<b>86</b>



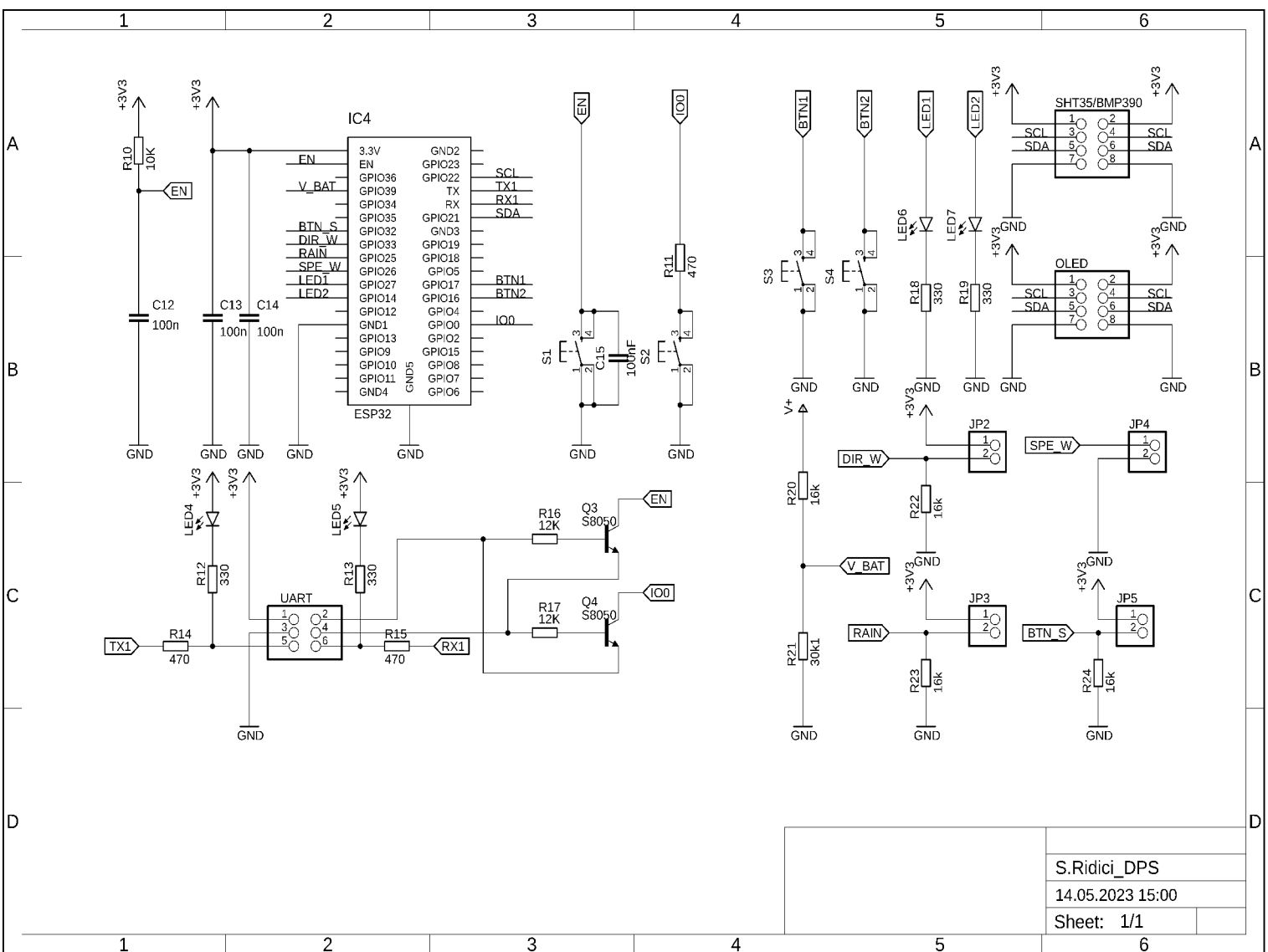
# A Řídicí obvod

## A.1 Napájecí část



Obr. A.1: Předloha zapojení napájecího obvodu

# A.2 Řídicí část

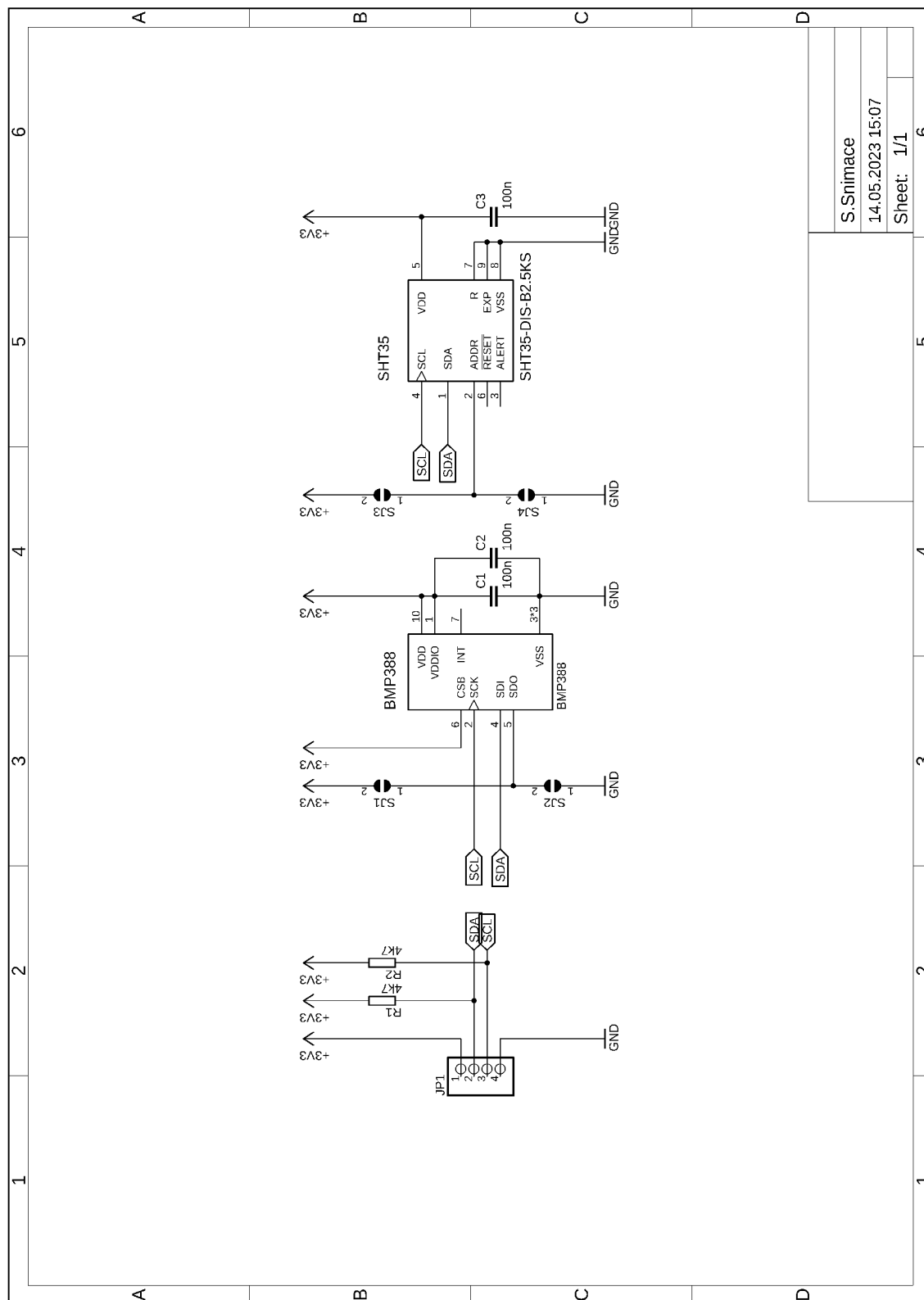


Obr. A.2: Předloha zapojení řídicího obvodu

Part	Value	Package
R1	178k	R0805
R2	44k2	R0805
R3,R4,R8,R9	1k	R0805
R5	120	R0805
R6	0,05	R2512
R7	100	R0805
R10	10k	R0805
R11,R14,R15	470	R0805
R12,R13	330	R0805
R16,R17	12k	R0805
R18,R19	330	R0805
R20	16k	R0805
R21	30k1	R0805
R22,R23,R24	12k	R0805
C1	10u	153CLV-0605
C2,C6	4,7u	C0805
C3	470n	C0805
C4,C8,C12,C13,C14,C15	100n	C0805
C5	220n	C0806
C7	10u	153CLV-0605
C9	2,2u	C0808
C10	15p	C0809
C11	1u	C0810
L1	100 uH/1.9 A	
LED1,2,3,4,5,6,7		805
Q1	AO3407	SOT23
Q2	FS8205A	SOP65P64
Q3,Q4	S8050	SOT23
S1,S2,S3,S4	DTSM-6	DTSM-6
IC1	CN3719	SSOP-10-150
IC2	DW01A	SOT-26-6
IC3	TPS79633DCQ	SOT-223-6
IC4	ESP32-WROOM	
SW1,2	OS102011MS2QN1	

Obr. A.3: Seznam součástek řídicí DPS

# B Snímače



S.Snimace
14.05.2023 15:07
Sheet: 1/1

Obr. B.1: Schéma zapojení snímačů

Part	Value	Package
R1	4k7	R0805
R2	4k7	R0805
C1,C2,C3	100n	C0805
SHT35	SHT35	DFN-8-EP(2.5x2.5)
BMP388	SHT35	LGA-10(2x2)

Obr. B.2: Seznam součástek snímací DPS

## **C Obsah přílohy**

- 3D tisk
  - Konzole
  - Meteostanice
- Diplomová práce
- DPS
- Fotodokumentace
- Software
  - Konzole
  - Meteostanice