



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## SYSTÉM METEOROLOGICKÝCH STANIC

METEOROLOGICAL STATION SYSTEM

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Čada

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Ivo Lattenberg, Ph.D.

BRNO 2022

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Telekomunikační a informační systémy**

Ústav telekomunikací

**Student:** Jan Čada

**ID:** 220885

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2021/22

**NÁZEV TÉMATU:**

## Systém meteorologických stanic

### POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte problematiku měření teploty, vlhkosti, atmosférického tlaku, rychlosti větru a úhrnu srážek. Vyberte pro tato měření vhodné senzory. Navrhněte meteorologickou stanici s mikrokontrolérem Raspberry Pi, která bude v pravidelných intervalech provádět měření a posílat je do vhodné cloudové služby. Proveďte rozbor existujících cloudových služeb, popřípadě navrhněte vlastní. Vytvořte webovou aplikaci a aplikaci pro Android pro přehledné zobrazení dat z meteorologických stanic.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] BRTNÍK, Bohumil a David MATOUŠEK. Mikroprocesorová technika: [práce s mikrokontroléry řady ATMEL AVR ATXmega A4]. Praha: BEN - technická literatura, 2011. ISBN 978-80-7300-406-4.

[2] MATOUŠEK, David. Práce s mikrokontroléry ATMEL. 2. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. µC & praxe. ISBN 80-7300-209-4.

**Termín zadání:** 7.2.2022

**Termín odevzdání:** 31.5.2022

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Ivo Lattenberg, Ph.D.

**prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací systému online meteorologických stanic, skládajícího se z jednotlivých meteostanic a serverové části, se kterou tyto stanice komunikují prostřednictvím internetu. Úvodní část práce rozebírá principy měření základních meteorologických veličin a zabývá se výběrem vhodných senzorů pro měření teploty, atmosférického tlaku, vlhkosti vzduchu, rychlosti větru a srážkového úhrnu. V praktické části je navržena a zrealizována jedna z meteostanic založená na mikropočítači Raspberry Pi Zero. Jako doplněk k měřeným datům je součástí stanice kamera snímající aktuální pohled z místa instalace. Pro realizaci většiny mechanických částí je využito 3D tisku, jehož výhodou je rychlost, přesnost a jednoduchá reprodukovatelnost. Pro měření teploty, tlaku a vlhkosti vzduchu je použit kombinovaný senzor BME280 od firmy Bosch, který je umístěn ve zmenšené meteorologické budce. Rychlost větru je měřena miskovým anemometrem, jehož rotace je snímána integrovanou hallovou sondou. Výstupní pulzy jsou následně počítány pomocí obvodu PCF8583, který disponuje I<sup>2</sup>C rozhraním pro vyčítání hodnot mikropočítačem Raspberry Pi. Zvláštní pozornost je věnována konstrukci vlastního kalibrovatelného člunkového srážkoměru s rozlišením 0,5 mm, jehož mechanický pohyb je taktéž snímán hallovou sondou stejně jako v případě anemometru. Vyčítání dat ze senzorů a jejich odesílání serveru je řešeno pomocí skriptu napsaného v jazyce Python. Pro uchovávání a prezentaci dat uživatelům je realizováno vlastní serverové řešení založené na LAMP webserveru napsané v jazycích PHP, HTML, JavaScript a CSS. Kromě webového rozhraní, zobrazujícího data v grafech, mohou být naměřená data prezentována uživateli i prostřednictvím aplikace pro mobilní zařízení s OS Android, která byla vytvořena v jazyce C# s pomocí frameworku Xamarin ve vývojovém prostředí Microsoft Visual Studio. Tato aplikace implementuje mimo jiné widget pro rychlý přístup k naměřeným hodnotám přímo z domovské obrazovky. V závěrečné části práce jsou zmíněny zajímavé poznatky získané pozorováním měřených hodnot.

## KLÍČOVÁ SLOVA

3D tisk, Android, anemometr, atmosférický tlak, BME280, C#, člunkový srážkoměr, Ethernet, HTML, HTTP, Hallův senzor, internet, JavaScript, meteorologie, MySQL, měření, PCF8583, PHP, PoE, Python, Raspberry Pi, srážky, teplota, vlhkost vzduchu, webserver, widget, Xamarin

## ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design and implementation of an online meteorological station system, which consists of individual weather stations that communicate via the Internet with the server. The first part of the thesis discusses the principles of measuring major meteorological variables and deals with the selection of suitable sensors for measuring temperature, atmospheric pressure, humidity, wind speed and rainfall. In the practical part, one of the weather stations based on Raspberry Pi Zero microcomputer is designed and realized. As a complement to the measured data, the station includes a camera that captures the view from the site where the meteorostation is installed. 3D printing is used to realize most of the mechanical parts, it has the advantage of speed, accuracy and easy reproducibility. For the measurement of temperature, pressure and humidity, a combined sensor BME280 from Bosch is used, which is placed in a small Stevenson screen. The wind speed is measured by a cup anemometer whose rotation is sensed by an integrated Hall sensor. The output pulses are then counted using the PCF8583 circuit, which has an I<sup>2</sup>C interface for reading the values with a Raspberry Pi microcomputer. Special attention is paid to the construction of a custom calibratable tipping bucket rain gauge with a resolution of 0,5 mm, whose mechanical motion is also sensed by a Hall sensor as in the anemometer. The reading of the data from sensors and sending it to the server is handled by a Python script. For storing and presenting data to users, a custom server solution based on LAMP webserver is implemented, its source codes are written in PHP, HTML, JavaScript and CSS. In addition to the web interface, which displays the data in graphs, the measured data can be also presented to the user via an application for mobile devices based on Android. The application was developed in C# using the Xamarin framework in the Microsoft Visual Studio development environment. Among other things, it implements a widget for quick access to the measured values directly from the home screen. In the final part of the thesis, interesting findings obtained by observing the measured values are mentioned.

## KEYWORDS

3D printing, Android, anemometer, atmospheric pressure, BME280, C#, Ethernet, Hall sensor, HTML, HTTP, humidity, internet, JavaScript, measurement, meteorology, MySQL, PCF8583, PHP, PoE, Python, Rainfall, Raspberry Pi, temperature, tipping bucket rain gauge, webserver, widget, Xamarin



ČADA, Jan. *Systém meteorologických stanic*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2022, 94 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Ivo Lattenberg, Ph.D.

# Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení autora:** Jan Čada  
**VUT ID autora:** 220885  
**Typ práce:** Bakalářská práce  
**Akademický rok:** 2021/22  
**Téma závěrečné práce:** Systém meteorologických stanic

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

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

Brno .....  
.....  
podpis autora\*

---

\* Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu semestrální práce panu doc. Ing. Ivovi Lattenbergovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Děkuji také panu Lukášovi Pazderovi za pomoc s výrobou desky plošných spojů. Dále bych chtěl poděkovat Technickému klubu mládeže v Litoměřicích za podporu a umožnění tisku dílů meteostanice na 3D tiskárnách Prusa.

# Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| Úvod   | 15        |
| <b>1 Teoretická část bakalářské práce</b>  | <b>17</b> |
| 1.1 Historie meteorologie  | 17        |
| 1.2 Měření meteorologických veličin  | 17        |
| 1.2.1 Měření teploty vzduchu   | 17        |
| 1.2.2 Měření vlhkosti vzduchu  | 18        |
| 1.2.3 Měření atmosférického tlaku  | 19        |
| 1.2.4 Měření rychlosti větru   | 19        |
| 1.2.5 Měření srážkových úhrnů  | 20        |
| 1.3 Umístění senzorů meteorologické stanice  | 20        |
| 1.4 Výběr vhodných senzorů   | 21        |
| 1.4.1 Integrovaný senzor teploty vzduchu, atmosférického tlaku a<br>vzdušné vlhkosti | 21        |
| 1.4.2 Miskový anemometr  | 22        |
| 1.4.3 Člunkový srážkoměr   | 22        |
| 1.4.4 Snímání mechanického pohybu  | 22        |
| 1.4.5 Čítání impulzů   | 24        |
| <b>2 Výsledky bakalářské práce</b>   | <b>25</b> |
| 2.1 Návrh meteostanice   | 25        |
| 2.1.1 Výběr desky Raspberry Pi   | 25        |
| 2.1.2 Návrh blokového schématu   | 26        |
| 2.2 Návrh schématu zapojení rozvodné DPS   | 29        |
| 2.3 Deska plošných spojů   | 30        |
| 2.3.1 Návrh  | 30        |
| 2.3.2 Výroba   | 33        |
| 2.3.3 Osazení  | 34        |
| 2.4 Centrální jednotka   | 34        |
| 2.4.1 Kryt   | 34        |
| 2.4.2 Umístění komponent   | 36        |
| 2.4.3 Krytí kamery   | 38        |
| 2.5 Rozvodný box   | 41        |
| 2.5.1 Kryt   | 41        |
| 2.5.2 Kably a konektory  | 42        |
| 2.5.3 Zapojení   | 42        |
| 2.6 BME280 (teploměr/tlakoměr/vlhkoměr)  | 44        |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.6.1  | Kryt . . . . .                                      | 44 |
| 2.6.2  | Zapojení senzoru . . . . .                          | 44 |
| 2.7    | Anemometr . . . . .                                 | 47 |
| 2.7.1  | Mechanická část . . . . .                           | 47 |
| 2.7.2  | Zapojení senzoru . . . . .                          | 47 |
| 2.8    | Srážkoměr . . . . .                                 | 48 |
| 2.8.1  | Konstrukce . . . . .                                | 48 |
| 2.8.2  | Zapojení senzoru . . . . .                          | 53 |
| 2.8.3  | Kalibrace . . . . .                                 | 54 |
| 2.9    | Montáž meteostanice . . . . .                       | 55 |
| 2.10   | Další meteostanice integrované do systému . . . . . | 58 |
| 2.10.1 | Meteostanice Radobýl . . . . .                      | 58 |
| 2.10.2 | Meteostanice Rumburk . . . . .                      | 58 |
| 2.10.3 | Meteostanice Šluknov . . . . .                      | 60 |
| 2.11   | Sběr a uchování naměřených dat . . . . .            | 60 |
| 2.11.1 | Komerční cloudové služby . . . . .                  | 61 |
| 2.11.2 | Řešení vlastní serverové služby . . . . .           | 62 |
| 2.11.3 | Webserver na vlastním hardware . . . . .            | 62 |
| 2.11.4 | Přenos dat z meteostanice do databáze . . . . .     | 64 |
| 2.12   | Software meteostanice . . . . .                     | 64 |
| 2.12.1 | Instalace OS . . . . .                              | 64 |
| 2.12.2 | Základní konfigurace OS . . . . .                   | 65 |
| 2.12.3 | Python script . . . . .                             | 67 |
| 2.12.4 | Síťový watchdog . . . . .                           | 69 |
| 2.12.5 | Spouštění scriptů pomocí daemonu Cron . . . . .     | 70 |
| 2.12.6 | Readonly filesystem . . . . .                       | 71 |
| 2.13   | Webserver . . . . .                                 | 71 |
| 2.13.1 | Konfigurace databáze . . . . .                      | 72 |
| 2.13.2 | Příjem dat z meteostanice . . . . .                 | 72 |
| 2.13.3 | Webové rozhraní meteostanice . . . . .              | 73 |
| 2.13.4 | Centrální webové rozhraní . . . . .                 | 74 |
| 2.14   | Aplikace pro Android . . . . .                      | 76 |
| 2.14.1 | Uživatelské rozhraní . . . . .                      | 78 |
| 2.14.2 | Widget . . . . .                                    | 78 |
| 2.14.3 | Vnitřní fungování aplikace . . . . .                | 81 |
| 2.15   | Zajímavé naměřené údaje . . . . .                   | 83 |
| 2.15.1 | Výbuch sopky Hunga Tonga-Hunga Ha'apai . . . . .    | 83 |

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| <b>Literatura</b>                   | <b>88</b> |
| <b>Seznam symbolů a zkratk</b>      | <b>92</b> |
| <b>3 Obsah elektronické přílohy</b> | <b>94</b> |

# Seznam obrázků

|      |   |    |
|------|---|----|
| 2.1  | Deska Raspberry Pi Zero s připojenou USB síťovou kartou . . . . .                   | 26 |
| 2.2  | Blokové schéma navrhované meteostanice . . . . .                                    | 28 |
| 2.3  | Konektory typu pin header . . . . .   | 29 |
| 2.4  | Schéma zapojení rozvodné DPS . . . . .  | 31 |
| 2.5  | Motiv horní (top) a spodní (bottom) vrstvy rozvodné DPS . . . . .                   | 32 |
| 2.6  | Osazovací plán součástek a konektorů na rozvodné DPS při pohledu<br>shora . . . . . | 34 |
| 2.7  | Osazená rozvodná DPS při pohledu shora . . . . .                                    | 35 |
| 2.8  | Osazená rozvodná DPS při pohledu ze spodu . . . . .                                 | 35 |
| 2.9  | Render držáku komponent centrální jednotky . . . . .                                | 37 |
| 2.10 | Zapojení GPIO konektoru na Raspberry Pi Zero . . . . .                              | 38 |
| 2.11 | Upevnění krycího skla . . . . .   | 38 |
| 2.12 | Render krytu kamery . . . . .   | 39 |
| 2.13 | Realizovaný kryt kamery na centrální jednotce . . . . .                             | 39 |
| 2.14 | Zkompleťovaná centrální jednotka . . . . .  | 40 |
| 2.15 | Render spojovacího boxu . . . . .   | 41 |
| 2.16 | Nakrimpované a osazené konektory pin header (male, 2,54 mm) . . . .                 | 42 |
| 2.17 | Zapojení rozvodné DPS . . . . .   | 43 |
| 2.18 | Zapojený rozvodný box . . . . .   | 43 |
| 2.19 | Vnitřní vložka upravená pro montáž modulu se senzorem BME280 . .                    | 45 |
| 2.20 | Držák meteorologické budky na stožár o průměru 42 mm . . . . .                      | 45 |
| 2.21 | Sestavování meteorologické budky . . . . .  | 45 |
| 2.22 | Sestavená meteorologická budka . . . . .  | 46 |
| 2.23 | Modul senzoru BME280 umístěný na vnitřní vložce meteorologické<br>budky . . . . .   | 46 |
| 2.24 | Detail umístění magnetu a uchycení ložiska . . . . .                                | 48 |
| 2.25 | Hallův senzor A3144 s připájeným kabelem . . . . .                                  | 48 |
| 2.26 | Sestavený anemometr . . . . .   | 49 |
| 2.27 | Render mechanismu srážkoměru z boku . . . . .                                       | 50 |
| 2.28 | Render mechanismu srážkoměru ze strany pro montáž hallova senzoru                   | 50 |
| 2.29 | Render řezu srážkoměrem . . . . .   | 51 |
| 2.30 | Render kompletního srážkoměru . . . . .   | 52 |
| 2.31 | Upevnění a připojení hallova senzoru A3144 ve srážkoměru . . . . .                  | 53 |
| 2.32 | Zapojení srážkoměru k desce Arduino UNO pro provedení kalibrace .                   | 54 |
| 2.33 | Průběh kalibrace srážkoměru . . . . .   | 55 |
| 2.34 | Hotové komponenty meteostanice před montáží na místo určení . . .                   | 56 |
| 2.35 | Senzory namontované na výložníku . . . . .  | 57 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 2.36 | Namontovaná a zapojená meteostanice . . . . .                         | 57 |
| 2.37 | Meteostanice Radobýl . . . . .  | 59 |
| 2.38 | Senzorická část meteostanice Rumburk . . . . .                        | 59 |
| 2.39 | Senzorická část meteostanice Šluknov . . . . .                        | 60 |
| 2.40 | Hardware vlastního serveru . . . . .                                  | 63 |
| 2.41 | Webové rozhraní řešené meteostanice . . . . .                         | 75 |
| 2.42 | Centrální webové rozhraní v nočním režimu . . . . .                   | 77 |
| 2.43 | Hlavní stránka uživatelského rozhraní aplikace pro OS Android . . . . | 79 |
| 2.44 | Stránka nastavení aplikace pro OS Android . . . . .                   | 80 |
| 2.45 | Widget a ikona aplikace na domovské obrazovce mobilního telefonu .    | 81 |
| 2.46 | Naměřené průběhy tlaku vzduchu po erupci sopky ve státě Tonga . .     | 84 |



# Seznam tabulek

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.1 | Porovnání integrovaných senzorů teploty vzduchu, atmosférického tlaku<br>a vzdušné vlhkosti . . . . . | 23 |
| 2.1 | Použité součástky . . . . .   | 33 |
| 2.2 | Porovnání parametrů vybraných cloudových služeb . . . . .   | 61 |

# Seznam výpisů

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | Funkce pro vyčítání a nulování čítačů PCF8583 . . . . .                  | 67 |
| 2.2 | Vyčítání dat ze senzoru BME280 . . . . .                                 | 68 |
| 2.3 | Přepočet tlaku a výpočet rosného bodu . . . . .                          | 68 |
| 2.4 | Vytvoření fotografie a odesílání dat k PHP scriptu na serveru . . . . .  | 69 |
| 2.5 | Bash script zajišťující restart napájení síťové karty po brownoutu . . . | 70 |
| 2.6 | Přidané řádky konfigurace daemonu Cron . . . . .                         | 70 |
| 2.7 | Konfigurace tabulky SQL databáze pro ukládání dat . . . . .              | 72 |
| 2.8 | Vkládání přijatých dat do MySQL databáze . . . . .                       | 73 |

# Úvod

Tato bakalářská práce se věnuje projektu systému meteorologických stanic, konkrétně rozboru problematiky meteorologických měření, výběru a konstrukci vhodných senzorů pro měření vybraných meteorologických veličin, pro jejichž výrobu je využito možností 3D tisku, který umožňuje snadnou malosériovou výrobu i případnou operativní výrobu náhradních dílů. Dále je navržena a realizována jedna meteorologická stanice s použitím jednodeskového počítače Raspberry Pi. Tato stanice je připojena prostřednictvím metalického rozhraní Ethernet k datové síti, prostřednictvím které bude v pravidelných intervalech odesílat naměřená data na server. Měřenými veličinami jsou teplota, vlhkost a tlak vzduchu, rychlost větru a srážkový úhrn. Jako doplněk k naměřeným datům meteostanice pořizuje a odesílá aktuální fotografii pohledu z místa instalace. Dále je v práci řešen software meteostanice a serverová část systému. Závěrečná část je zaměřena na zobrazení naměřených dat uživateli, konkrétně pomocí webového rozhraní a aplikace pro mobilní zařízení s operačním systémem Android.

Teoretická část práce stručně seznamuje s historií meteorologie, dále rozebírá měření teploty a vlhkosti vzduchu, atmosférického tlaku, rychlosti větru a srážkových úhrnů včetně přiblížení funkce nejběžnějších typů měřících přístrojů. Dále jsou zde rozebrány konvenční požadavky na umístění měřících přístrojů s ohledem na zamýšlené umístění navrhované meteostanice. V závěrečné kapitole teoretické části je pak objasněn výběr konkrétních senzorů.

Praktická část je zaměřena na návrh a konstrukci samotné meteostanice, konkrétně se věnuje výběru vhodné desky Raspberry Pi, návrhu blokového schématu, schématu zapojení desky plošných spojů stanice, návrhu, realizaci a osazení této desky. Dále je zde popsáno sestavení centrální jednotky s kamerou a rozvodného boxu. Taktéž je zde popsána realizace zjednodušené meteorologické budky pro umístění kombinovaného teploměru, tlakoměru a vlhkoměru se senzorem BME280 a výroba miskového anemometru. Zvláštní pozornost je věnována konstrukci člunkového srážkoměru, který byl navržen v rámci této práce. Další kapitola je věnována montáži této meteostanice ve vybrané lokalitě. Jsou zde také představeny další tři meteostanice zprovozněné již dříve, které jsou taktéž integrovány do systému. V další části je proveden rozbor hlavních parametrů vybraných komerčních služeb pro sběr a uchování dat, na jehož základě je rozhodnuto o návrhu a realizaci vlastního serverového řešení. Kapitola týkající se softwaru meteostanice rozebírá instalaci a konfiguraci linuxového operačního systému Raspberry Pi OS Lite přímo určeného pro použití mikropočítač, dále je řešen samotný software napsaný v jazyce Python, zajišťující vyčítání dat ze senzorů a jejich odesílání na server. Další kapitola se pak zabývá řešením softwaru serverové části systému, zajišťující příjem, ukládání a zobrazování

naměřených dat. Předposlední kapitola se věnuje realizaci aplikace pro OS Android včetně widgetu pro rychlý přístup k datům přímo na domovské obrazovce mobilního telefonu. V poslední kapitole jsou uvedeny zajímavé výsledky měření, mimo jiné zaznamenání výbuchu sopky v Oceánii v lednu roku 2022.

# 1 Teoretická část bakalářské práce

## 1.1 Historie meteorologie

Již řecký filosof Aristoteles (384 př. n. l. - 322 př. n. l. [1]) položil ve svém díle *Me-teórologika* základy tohoto oboru, zabývajícího se atmosférou Země [2]. Jako vědní disciplína se meteorologie začíná uvažovat v 17. století. Tehdy byl zkonstruován první barometr, díky němuž mohly být pozorovány souvislosti atmosferického tlaku s počasím. V 18. století pak byl vynalezen rtuťový teploměr včetně Fahrenheitovy teplotní stupnice. O necelých 30 let později pak byla navržena i dnes nejrozšířenější stupnice Cesiova. Během 19. století pak byl sestrojen vlhkoměr a miskový anemometr.

V českých zemích prováděl první doložené pravidelné meteorologické pozorování Jan z Kunovic v 16. století. Od roku 1752 jsou prováděna pravidelná meteorologická měření v pražské klementinské observatoři, spojitá řada záznamů se dochovala již od roku 1784. [3]

## 1.2 Měření meteorologických veličin

### 1.2.1 Měření teploty vzduchu

Jednotkou teploty vzduchu je 1 °C [stupň celsia], standartně se měří s rozlišením 0,1 °C. Na území Čech se teplota pohybuje mezi -42,2 °C (11.2.1929, Litvínovice) a +40,4 °C (20.8.2021, Dobřichovice) [4]

**Kapalinový teploměr** U tohoto teploměru je využito závislosti objemu kapaliny na teplotě. Nejčastěji je využívána rtuť nebo líh.

**Plynový teploměr** Zde se využívá závislosti objemu plynu na teplotě při konstantním tlaku, případně závislosti tlaku plynu na teplotě při konstantním objemu.

**Bimetalový teploměr** Při změně teploty dochází kvůli odlišně teplotně závislé délkové roztažnosti dvou kovů k ohybu pásku. Lze pomocí něj měřit nejen aktuální teplotu pomocí ručičky pevně spojené s páskem, ale i maximální a minimální teplotu, kdy dochází k jednosměrnému posunu příslušných ručiček.

**Odporový teploměr** Tento teploměr využívá závislost rezistivity vodiče nebo polovodiče na teplotě.

**Polovodičový teploměr** Je zde využito závislosti charakteristik PN přechodu na teplotě.

**Termoelektrický teploměr** Termoelektrické napětí vznikající na rozhraní dvou různých kovů se mění v závislosti na teplotě. [5]

### 1.2.2 Měření vlhkosti vzduchu

Jednotkou relativní vlhkosti vzduchu je 1 % [procento], standartně se měří s přesností 1 %.

Obecně je velmi problematické dosáhnout vysoké přesnosti měření a jeho dlouhodobé stability. Zvláště obtížné je měření při teplotách pod bodem mrazu, kdy může na senzoru sublimovat led.

**Vlasový vlhkoměr** Využívá se zde změny délky lidských vlasů v závislosti na vlhkosti.

**Psychrometr** Relativní vlhkost lze vypočítat z rozdílu teplot měřených dvěma teploměry, vlhčeného a suchého. [6]

**Kondenzační vlhkoměr** Vlhkost vzduchu určuje z teploty rosného bodu, která je měřena po dosažení rovnováhy mezi kondenzací a odpařováním vody na zrcadle.

**Kapacitní vlhkoměr** Se změnou vlhkosti se mění dielektrická kapacita vhodného materiálu a tím elektrická kapacita.

**Rezistivní vlhkoměr** Vlivem vlhkosti dochází ke změně rezistivity materiálu (obvykle soli nebo vodivé polymery). Oproti kapacitním je méně citlivý.

**Termální vlhkoměr** Vlhkost vzduchu ovlivňuje jeho tepelnou vodivost.

**Gravimetrický vlhkoměr** Nejpresnější, resp. referenční způsob měření. Vlhkost se měří porovnáním hmotností stejného objemu suchého a měřeného vzduchu.

**Optický vlhkoměr** Měří se absorpce světla vzdušnou vlhkostí. [7]

### 1.2.3 Měření atmosférického tlaku

Jednotkou atmosférického tlaku je 1 hPa [hektopascal], tj.  $1 \cdot 10^2$  Pa, standartně se měří s rozlišením 0,1 hPa. Hodnoty tlaku se v Čechách pohybují mezi 967,2 hPa (26.2.1989, Čáslav) a 1057,2 hPa (23.1.1907, Bystřice pod Hostýnem). [8]

Měří se absolutní hodnota tlaku v místě měření. Tato hodnota se následně pro účely porovnání s dalšími meteostanicemi přepočítává na ekvivaletní hodnotu u hladiny moře podle vzorce 1.1.

$$p_0 = p \cdot \left( 1 - \frac{0,0065 \cdot h}{t_c + 273,15 + 0,0065 \cdot h} \right)^{-5,257} (hPa) [9] \quad (1.1)$$

$p_0$  (hPa) ... tlak vzduchu přepočtený na hladinu moře

$p$  (hPa) ... naměřená absolutní hodnota tlaku vzduchu

$h$  (m) ... nadmořská výška

$t_c$  (°C) ... teplota vzduchu

**Kapalinový tlakoměr** Tlakoměr je tvořen nádobou a v ní vloženou shora uzavřenou trubicí, které jsou naplněny kapalinou (nejčastěji rtutí). Na vrchu trubice vzniká vakuum. Výška hladiny v trubici se s atmosférickým tlakem mění. Z tohoto typu barometru vychází jednotka tlaku mm Hg, resp. Torr ( $1 \text{ Torr} \doteq 133,322 \text{ Pa}$  [10]). Měřenou hodnotu je nutné korigovat vzhledem k teplotě. [11]

**Aneroid** Tento tlakoměr funguje na principu mechanické deformace pružného systému, ve kterém je vakuum.

**MEMS tlakoměr** Senzor spadá do kategorie MEMS (mikroelektromechanický systém). Existuje mnoho různých technologií, např. piezorezistivní, kapacitní, piezoelektrický atd. [12]

### 1.2.4 Měření rychlosti větru

Jednotkou rychlosti větru je 1 m/s [metr za sekundu], standartně se měří s rozlišením 0,1 m/s.

**Mechanický anemometr** Pohybující se vzduch přenáší svou energii na mechanické ústrojí. Konstrukce může být rotační, kde se měří počet otočení (miskový, lopatkový anemometr), případně výkyvná.

**Aerodynamický anemometr** Rychlost větru se vypočítá z rozdílu dynamického a statického tlaku.

**Termický anemometr** Z rychlosti ochlazování vyhřívaného drátu lze vypočíst rychlost větru.

**Značkový anemometr** Rychlost větru se určuje pomocí chemického nebo tepelného značkování, měří se doba pohybu.

**Akustický anemometr** Z rychlosti šíření zvuku (obvykle se využívá ultrazvuk) lze vypočíst rychlost větru. [13]

### 1.2.5 Měření srážkových úhrnů

Jednotkou měření srážkových úhrnů je 1 mm [milimetr], tj.  $1 \cdot 10^{-3}$  m, standartně se měří s rozlišením 0,1 mm.

Pro zachytávání srážek je nutné použít nálevku s dostatečnou plochou.

**Ombrometr** Válec s nálevkou, obsluha pravidelně přelévá obsah do odměrného válce.

**Ombrograf** Ve válci s nálevkou je plovák, jehož výška se zapisuje na papír.

**Člunkový srážkoměr** Voda z nálevky je přivedena do bistabilního člunku, který se po naplnění určitým objemem vody překlápí do druhé polohy. Při použití vytápění lze měřit i množství tuhých srážek (sníh, kroupy). [14]

## 1.3 Umístění senzorů meteorologické stanice

Na kvalitu naměřených údajů má výrazný vliv poloha a stav pozemku, kde se měření provádí. Meteostanice by měla být umístěna na pozemku o rozměrech minimálně  $20 \times 20$  m v dostatečné vzdálenosti od překážek, jako např. staveb a stromů. Přípustné překážky musí být od středu dotyčného pozemku ve vzdálenosti převyšující čtyřnásobek jejich vlastní výšky. Pozemek by měl být pokryt pravidelně sečeným trávnikem bez výrazných nerovností.

Přízemní teplota se měří ve výšce 2 m nad zemským povrchem v meteorologické budce, což je standartně dřevěná či plastová skříň v bílém lesklém provedení (kvůli eliminaci zahřívání slunečním zářením), která má stěny tvořeny zdvojenými žaluziemi, kryta je rovněž zdvojenou stříškou a dno má perforované. Tuto meteorologickou budku je nutno pravidelně udržívat - je nutno pravidelně otírat prach vlhkým hadrem, v zimě odstraňovat námrazu a sníh a případný nátěr pravidelně obnovovat.



Relativní vlhkost vzduchu se měří taktéž ve výšce 2 m nad zemským povrchem.

Srážkoměr musí být umístěn tak, aby jeho záchytná plocha ani její blízké okolí nebylo zakryto jakoukoli překážkou. Standartní záchytná plocha je  $500 \text{ cm}^2$  pro měření s rozlišením 0,1 mm srážek, obvykle bývá umístěna ve výšce 1 m nad zemským povrchem. [2].

Anemometr se standartně umísťuje do výšky 10 m nad zemský povrch. [15]

Tyto náročné požadavky na polohu meteostanice nebude v případě zamýšlené meteostanice možné splnit, protože v dotyčné městské lokalitě lze pro měření využít pouze anténní stožár umístěný u okna bytu ve 4. patře panelového domu, což odpovídá přibližně 14 m nad povrchem země. Podle [2] klesá teplota s výškou nad zemským povrchem o  $0,65 \text{ }^{\circ}\text{C}$  na 100 m výšky, což zde bude tvořit odchylku přibližně  $0,091 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tato odchylka tedy bude v podstatě zanedbatelná. Senzor teploty bude umístěn ve zjednodušené a zmenšené meteorologické budce vyrobené z bílého plastu pomocí 3D tisku. Pro co nejmenší ovlivňování měřených veličin budovou budou senzory umístěny na výložníku ve vzdálenosti minimálně 1 m od fasády. Pro minimalizaci ovlivnění měření teploty tepelným vyzařováním budovy je výhodou zařazení pláště budovy minerální vatou. Srážkoměr bude z důvodu polohy a možnosti výroby na běžné 3D tiskárně navrhnout se záchytnou plochou  $100 \text{ cm}^2$  s rozlišením 0,5 mm srážek. Hodnoty měřených veličin tedy nebudou přímo porovnatelné s údaji naměřenými profesionálními meteostanicemi, nicméně pro účel orientačního měření budou dostačovat.

## 1.4 Výběr vhodných senzorů

### 1.4.1 Integrovaný senzor teploty vzduchu, atmosférického tlaku a vzdušné vlhkosti

Senzory v podobě miniaturizovaných integrovaných řešení měřící požadované veličiny vyrábí celá řada výrobců, na trhu jich je nepřehledné množství. Při výběru byla požadována kompatibilita s použitou deskou Raspberry Pi Zero, tj. komunikační rozhraní I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit, standardizovaná dvoudrátová sériová sběrnice) nebo SPI (Serial Peripheral Interface, standardizovaná sériová sběrnice) s logickou úrovní 3,3 V. Vzhledem k zachování jednoduchosti byly vybírány integrované obvody, které v sobě integrují všechny tři požadované senzory. S těmito požadavky byly na trhu nalezeny senzory BME280, BME680 a BME688 od výrobce Bosch Sensortec GmbH a MS8607 od výrobce TE Connectivity Ltd.. Srovnání jejich parametrů je uvedeno v tabulce 1.1. Vzhledem k vysoké ceně a horší udané absolutní přesnosti měření teploty i atmosférického tlaku byl z výběru jako vyřazen senzor MS8607. Tento senzor totiž také žádným uvažovaným parametrem nepřekonává zbývající. Ze

zbývajících třech senzorů má nejlepší absolutní přesnost při měření teploty senzor BME280. Sensory vzdušné vlhkosti mají u těchto třech stejné udané parametry. BME680 a BME688 mají při měření atmosférického tlaku o něco lepší absolutní přesnost v rozsahu 0–65 °C ( $\pm 0,6$  hPa) než BME280 ( $\pm 1,0$  hPa), avšak nemají na rozdíl od něj v datasheetech [17] [18] uvedenu absolutní přesnost v rozsahu  $-20-0$  °C (u BME280  $\pm 1,7$  hPa). Zbylé parametry senzoru atmosférického tlaku jsou stejné. Z tohoto důvodu nelze jednoznačně určit, který z těchto senzorů má lepší parametry. Z důvodu nejnižší ceny a mírně lepší absolutní přesnosti teplotního senzoru byl tedy z těchto zbývajících třech senzorů zvolen BME280. Tento senzor bude pořízen jako osazený na modulu, který obsahuje diskrétní součástky potřebné ke správné funkci senzoru. Modul bude umístěn do zjednodušené a zmenšené meteorologické budky vytištěné na 3D tiskárně.

### 1.4.2 Miskový anemometr

Vzhledem k vysokým cenám profesionálních miskových anemometrů a možnosti snadné opravitelnosti při případném mechanickém poškození byl pro orientační měření rychlosti větru vybrán miskový anemometr vyrobený s pomocí 3D (trojrozměrný) tisku. Konkrétně byl zvolen model <<https://www.thingiverse.com/thing:2559929>> dostupný pod licencí Creative Commons - Attribution od autora "jostak". Rotace bude snímána pomocí Hallova senzoru umístěného v základně a neodmagnetizovaného magnetu umístěného na otočné části.

### 1.4.3 Člunkový srážkoměr

Také tento senzor bude vyroben pomocí 3D tisku, model bude navrhnout vlastní. Využívat bude bistabilního překlápěcího člunku, jehož krajní pozice půjde kalibrovat pomocí šroubů, čímž se kalibruje množství vody potřebné pro jedno překlacení. Horizontální zachytná plocha nálevky byla zvolena s rozměrem 100 cm<sup>2</sup> z důvodu zachování optimální velikosti. Množství vody pro jedno překlacení lze kalibrovat na 5 ml, čímž lze dosáhnout rozlišení 0,5 mm srážek. Počet překlacení bude stejně jako u miskového anemometru snímán Hallovým senzorem a magnetem.

### 1.4.4 Snímání mechanického pohybu

Data z anemometru a srážkoměru budou získávána pomocí Hallova senzoru, který bude snímat pohyb magnetu upevněného na pohyblivé části. Bylo zvoleno integrované řešení Hallova senzoru A3144 od firmy Allegro MicroSystems Inc., který integruje kromě samotného senzoru magnetického pole obvod s hysterezí pro odstranění nežádoucích přebytečných pulzů při průchodech mezní polohou. Výstup je

Tab. 1.1: Porovnání integrovaných senzorů teploty vzduchu, atmosférického tlaku a vzdušné vlhkosti

| Senzor                         | <b>BME280</b> | <b>BME680</b> | <b>BME688</b> | <b>MS8607</b> |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Zdroj dat                      | [16]          | [17]          | [18]          | [19]          |
| Cena (Aliexpress, 11/2021)     | 210 CZK       | 350 CZK       | 500 CZK       | 430 CZK       |
| <b>Měření teploty vzduchu</b>  |               |               |               |               |
| Rozsah min. [°C]               | −40           | −40           | −40           | −40           |
| Rozsah max. [°C]               | 85            | 85            | 85            | 85            |
| Abs. přesnost 0–65 °C [°C]     | ±0,5          | ±1,0          | ±1,0          | ±1            |
| Abs. přesnost −20–0 °C [°C]    | ±1,25         | neuv.         | neuv.         | ±2            |
| Rozlišení [°C]                 | 0,01          | 0,01          | 0,01          | 0,01          |
| <b>Měření vzdušné vlhkosti</b> |               |               |               |               |
| Rozsah min. [%RH]              | 0             | 0             | 0             | 0             |
| Rozsah max. [%RH]              | 100           | 100           | 100           | 100           |
| Abs. přesn. 20–80 %RH [%RH]    | ±3            | ±3            | ±3            | ±3            |
| Rozlišení [%RH]                | 0,008         | 0,008         | 0,008         | 0,04          |
| Dlouhodobá stabilita [%RH]     | 0,5           | 0,5           | 0,5           | 0,5           |
| <b>Měření tlaku atmosféry</b>  |               |               |               |               |
| Rozsah min. [hPa]              | 300           | 300           | 300           | 300           |
| Rozsah max. [hPa]              | 1100          | 1100          | 1100          | 1100          |
| Abs. přesnost 0–65 °C [hPa]    | ±1,0          | ±0,6          | ±0,6          | ±4            |
| Abs. přesnost −20–0 °C [hPa]   | ±1,7          | neuv.         | neuv.         | ±4            |
| Rozlišení [hPa]                | 0,0018        | 0,0018        | 0,0018        | 0,016         |
| Dlouhodobá stabilita [hPa]     | ±1,0          | ±1,0          | ±1,0          | ±1,0          |

řešen pomocí integrovaného NPN tranzistoru s otevřeným kolektorem. Na výstup je tedy v případě dostatečného přiblížení korektně natočeného magnetu sepnut potenciál země. Napájecí napětí je 4,5–24 V, což by se mohlo zdát jako problém v případě mikrokontroléru Raspberry Pi Zero, který používá 3,3V logickou úroveň. Výstup s otevřeným kolektorem ale umožňuje použití 3,3V logických úrovní pomocí připojeného pull-up rezistoru. Deska samotná je napájena napětím 5 V, které je také vyvedeno na výstupní konektor, nebude tedy problém zajistit napájení použitého senzoru tímto napětím. [20]

### 1.4.5 Čítání impulzů

Vzhledem k problematickému čítání pulzů softwarem přímo na GPIO portu použitého mikrokontroléru Raspberry Pi Zero bylo zvoleno použití integrovaného obvodu PCF8583 od firmy NXP Semiconductors N.V., který umožňuje nastavit mód Event Counter. Tento obvod komunikuje pomocí rozhraní I<sup>2</sup>C a umožňuje zde volit mezi dvěma adresami, což je potřebné pro provoz dvou těchto obvodů na jedné sběrnici (zde je to třeba, budou použity celkem dva tyto obvody pro anemometr a srážkoměr). Napájecí napětí je 2,5–6,0 V, což vyhoví napájení a komunikaci s logickou úrovní 3,3 V. Čítání pulzů je možné do rozsahu 6 číslic, tj. 999999 pulzů, což je jak pro účely měření rychlosti větru tak i srážkového úhrnu v pětiminutových intervalech naprosto dostatečné, po vyčtení naměřené hodnoty bude čítač vždy vynulován. Jako validní pulz je považován přechod ze stavu logické 0 do stavu logické 1 a následně zpět do stavu logické 0, což vychází z provedeného praktického testu a je zároveň graficky naznačeno v datasheetu tohoto integrovaného obvodu. To je nutné reflektovat při návrhu schématu, protože pokud by pulzy přicházející do čítače měly opačnou polaritu, což by nastalo v případě přímého propojení výstupu Hallova senzoru A3144 na vstup použitého čítače, napočítané množství pulzů by bylo o 1 menší než je jejich reálné množství. To by byl velmi zásadní problém hlavně v případě člunkového srážkoměru, kde by zanedbání jednoho pulzu v každém pětiminutovém intervalu způsobilo v případě mírných přeháněk i nezaregistrování ani jednoho pulzu, případně velmi významnou chybu měření. [21]

## 2 Výsledky bakalářské práce

### 2.1 Návrh meteostanice

#### 2.1.1 Výběr desky Raspberry Pi

Centrálním řídicím prvkem celé meteostanice bude deska Raspberry Pi. Jedná se o jednodeskový počítač, resp. SBC (Single Board Computer, jednodeskový počítač) podporující mimo jiné operační systémy založené na Linuxu. Přímo organizací Raspberry Pi Foundation je vyvíjen operační systém Raspberry Pi OS založený na linuxové distribuci Debian. Jako úložiště pro systém a data se využívá microSD karta. Deska obsahuje mnoho standardizovaných komunikačních rozhraní, jako například USB, I<sup>2</sup>C a SPI. Umožňuje také připojení kamery pomocí rozhraní CSI (Camera Serial Interface). Na trhu je dostupné již poměrně široké portfolio desek, lišících se výkonem, typem a počtem rozhraní, v neposlední řadě také cenou.

V základu se desky rozdělují do jednotlivých kategorií z hlediska fyzického provedení (Form Factor), kde jsou zavedeny řady A, B, Zero a Compute Module. Nejběžněji používaným typem je řada B, obsahující největší desky, které obsahují mimo jiné 4 USB-A konektory, Ethernet port, CSI, HDMI a 40pinový GPIO header. O něco menší desky řady A mají pouze jeden USB-A konektor a chybí zde Ethernet port. Desky řady Zero jsou nejmenší, obsahují jeden USB port ve verzi B micro, 40pinový GPIO header, mini CSI port a HDMI ve velikosti mini. Compute Module jsou pak desky určené pro použití v sériově vyráběných zařízeních.

Z dostupných desek byla po zvážení všech parametrů zvolena deska Raspberry Pi Zero. Disponuje jednojádrovým ARM procesorem Broadcom BCM2835 taktovaným na frekvenci 1 GHz a operační pamětí DDR2 o kapacitě 512 MB. Tento model byl zvolen především kvůli nízké ceně (127 Kč dne 27.11.2021 na RPishop.cz), malým rozměrům a energetické úspornosti. Relativně nízký výpočetní výkon bude vzhledem k požadovaným operacím s přehledem dostačovat. I přes to, že tento model nedisponuje přímo rozhraním Ethernet, může být k desce připojena externí síťová karta (NIC) přes rozhraní USB. Zde byla konkrétně zvolena karta s chipsetem Realtek RTL8152, která disponuje rozhraním Ethernet 100BASE-TX s konektorem RJ-45 a je plně podporována v použitém operačním systému Raspberry Pi OS. Tato karta bude vzhledem k rozdílným formátům použitých USB konektorů připojena pomocí miniaturní redukce USB-A female → micro USB-B male. Tento celek je na obrázku 2.1. [22]



Obr. 2.1: Deska Raspberry Pi Zero s připojenou USB síťovou kartou

### 2.1.2 Návrh blokového schématu

Meteostanice bude složena z několika propojených částí. Centrální jednotka bude tvořena deskou Raspberry Pi Zero s připojenou USB síťovou kartou, řešením napájení desky pomocí PoE (Power over Ethernet) a kamerou, která bude snímat aktuální pohled z meteostanice a bude tak sloužit jako doplněk k datům ze senzorů. Tento celek bude umístěn ve venkovním prostředí ve vodotěsném boxu s průhledem a krytem pro kameru. Pro zajištění možnosti odesílání naměřených dat bude tato centrální jednotka pomocí UTP kabelu propojena s LAN sítí uvnitř budovy.

Pro napájení centrální jednotky bude využito pasivního PoE, zde se díky použitému rozhraní Ethernet 100BASE-TX použijí pro datový přenos nevyužité páry, konkrétně modrý a hnědý pár v případě zapojení podle normy T568B. Vzhledem k zachování možnosti napájení standartním způsobem (resp. pomocí PoE switchu nebo sériově vyráběného PoE adaptéru) bylo zvoleno napětí 24 V, které se vedle standardizovaných norem IEEE 802.3af/at/bt běžně používá pro napájení síťových prvků. Jako PoE splitter pro rozdělení napájení a datových párů bude použit sériově vyráběný 100Mbps PoE injector od výrobce Mikrotik. Pro výběr vhodného DC/DC stepdown měniče je nutno vycházet z požadavků napájení použité desky Raspberry

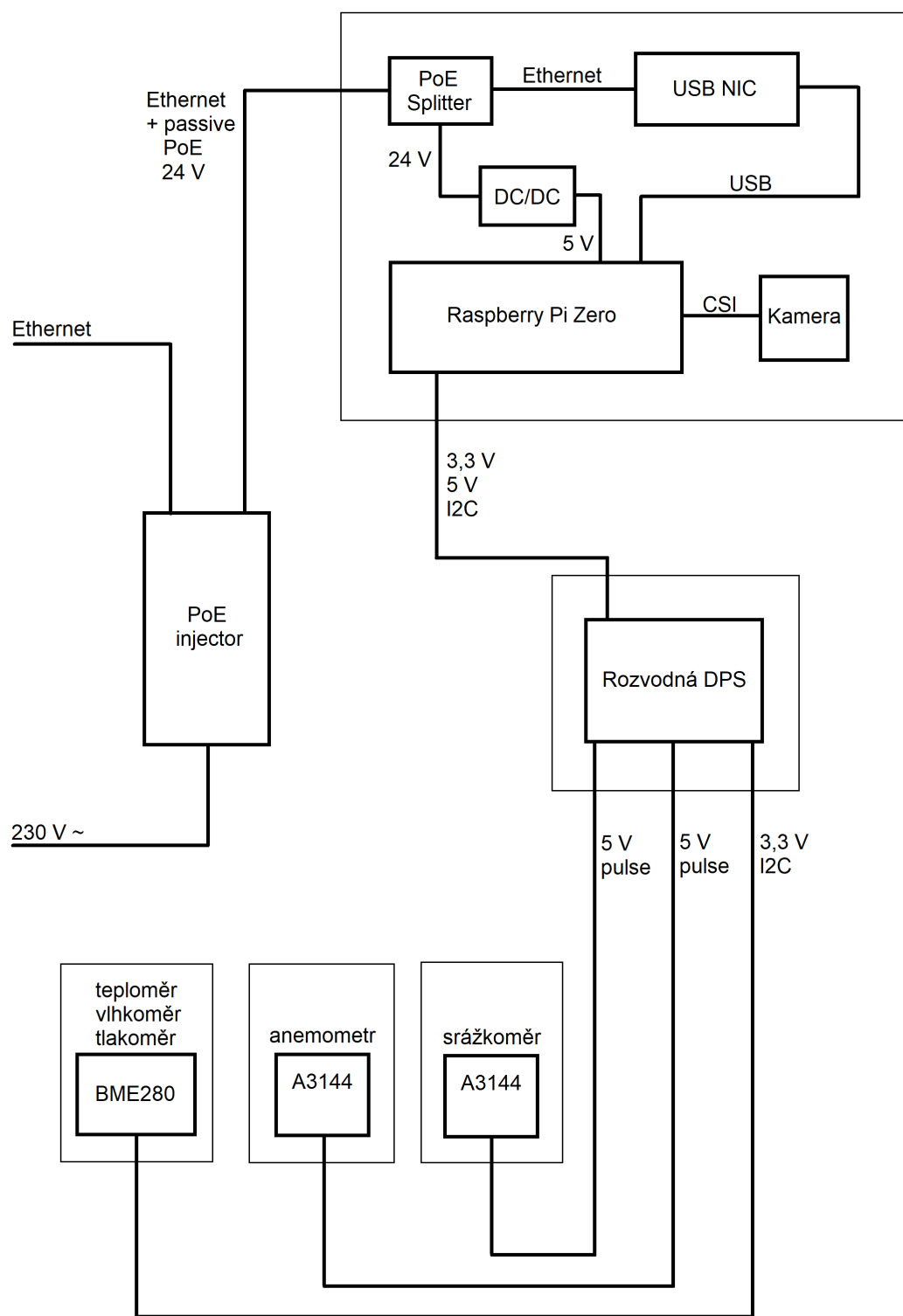
Pi Zero. Podle dokumentace na webu výrobce [22] je doporučené napájení zdrojem s napětím 5 V s maximálním proudem 1,2 A. Tato hodnota proudu je však značně předimenzována, obvyklá spotřeba desky v klidu je podle téže dokumentace cca. 100 mA, při plném zatížení procesoru pak 350 mA. Vzhledem k těmto požadavkům byl vybrán sériově vyráběný modul spínaného měniče založený na integrovaném obvodu MP1584EN. Maximální vstupní napětí tohoto měniče je 28 V, maximální výstupní proud pak 3 A [23], parametry jsou tedy s dostatečnou rezervou. Výstupní napětí je regulovatelné pomocí potenciometru umístěného na modulu. Výstup z tohoto měniče bude pomocí vodičů zakončených konektory pin header female 1×1 připojen na příslušné piny 5V, GND na GPIO konektoru desky Raspberry Pi Zero. Jako PoE napájecí adaptér bude použit sériově vyráběný PoE injector s výstupním napětím 24 V stejnosměrných a maximálním proudem 0,5 A od firmy UBNT, konkrétně model POE-24-12W, který je taktéž zvolen s ohledem na dostatečnou výkonovou rezervu.

Jak již bylo zmíněno v předešlém odstavci, meteostanice bude pro vizuální doplnění měřených veličin obsahovat kameru, pomocí které bude vždy před odesláním dat na server vyfocen aktuální snímek pohledu z místa instalace, který bude následně odeslán společně s naměřenými hodnotami. Bude použit kamerový modul typu Camera Module v1 od výrobce Raspberry Pi s 5 megapixelovým senzorem OmniVision OV5647. Tento modul se připojuje k desce Raspberry Pi pomocí rozhraní CSI (Camera Serial Interface). [22]. Pro propojení modulu s použitou deskou Raspberry Pi Zero je nutné použít flexibilní kabel se zúženým konektorem.

S centrální jednotkou bude taktéž pomocí UTP kabelu propojena rozvodná DPS, umístěná v separátním boxu. Tato deska bude obsahovat potřebné obvody pro zpracování signálu z Halloových senzorů v anemometru a srážkoměru, zároveň bude také sloužit k rozvodu napájení a datových vedení na konektory pro jednotlivé senzory.

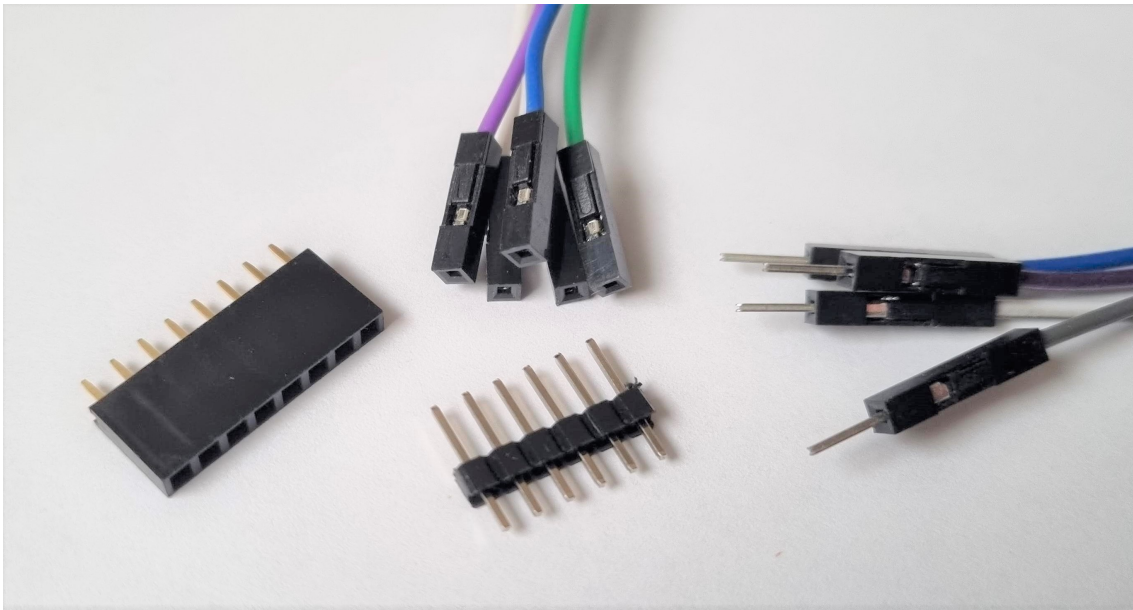
Použité senzory budou pomocí UTP kabelů propojeny s rozvodnou DPS. Pro připojení kabelů k DPS bude použito konektorů pin header s roztečí 2,54 mm (viz obrázek 2.3), protože tento typ lze jednoduše modifikovat podle počtu potřebných kontaktů a je zároveň použit u desky Raspberry Pi Zero pro GPIO konektor. Tyto konektory se dodávají jak v provedení do desky plošných spojů, tak v provedení na kabel. V obou variantách jsou k dispozici varianty samec/samice. Pro osazení těchto konektorů na kabel se využívá speciálních krimpovacích kleští.

Navržené blokové schéma meteostanice je na obrázku 2.2. Tenkou linkou jsou ohraničeny základní bloky, které budou umístěny vždy ve společném krytu. Tj. centrální jednotka s deskou Raspberry Pi Zero, kamerou a řešením napájení, rozvodný box obsahující rozvodnou DPS, a k němu připojené jednotlivé senzory.



Obr. 2.2: Blokové schéma navrhované meteostanice





Obr. 2.3: Konektory typu pin header

## 2.2 Návrh schématu zapojení rozvodné DPS

Na rozvodné desce plošných spojů (DPS) budou umístěny potřebné konektory pro připojení centrální jednotky, resp. Raspberry Pi Zero (P1) a jednotlivých senzorů, zde kombinovaného teploměru/vlhkoměru/tlakoměru (P5), anemometru (P2) a srážkoměru (P3). Dále zde budou zapojeny podpůrné obvody k anemometru a srážkoměru. Bude zde taktéž možnost osazení 1-wire master obvodu (U3) typu DS2482-100 pro připojení vodotěsných senzorů půdních teplot a minimální přízemní teploty. Tyto senzory nebudou v případě této meteostanice vzhledem k jejímu umístění použity, avšak snahou je navrhnout desku univerzální i pro použití v dalších meteostanicích, které tyto senzory používají. Dále zde bude v tomto případě navíc umístěn ještě druhý konektor pro připojení I<sup>2</sup>C zařízení, který je v jedné z dalších meteostanic využit pro připojení AD převodníku, použitého pro monitoring napětí baterie solárního off-grid systému. Pro možné budoucí využití budou na rozvodnou DPS vyvedeny také piny GPIO4, GPIO14 a GPIO15 z desky Raspberry Pi Zero, které budou vyvedeny na konektor P7.

Jak již bylo řečeno v teoretické části v odstavci 1.4.5 věnovaném tématu čítání impulzů, pro zpracování datového signálu z anemometru a srážkoměru bude využito integrovaných obvodů PCF8583, které jsou zapojeny podle referenčního schématu pro mód Event Counter uvedeného v datasheetu [21]. Na pin VDD je připojeno napájení 3,3 V, na pin VSS pak zem, resp. GND. Dále je na příslušné piny SDA, SCL připojena sběrnice I<sup>2</sup>C. Pin A0, který slouží pro volbu adresy na sběrnici I<sup>2</sup>C je připojen v případě integrovaného obvodu U1 pro čítání pulzů z anemometru na

3,3 V, v případě druhého integrovaného obvodu U2 pro srážkoměr pak na GND. Pin označený jako OSC0 zůstává v obou případech nezapojen, na pin OSC1 je pak připojen zpracováváný signál.

Jak bylo taktéž odůvodněno v odstavci 1.4.5, vzhledem k tomu, že použité Hallovy senzory A3144 mají výstup s otevřeným kolektorem, je nutné pro korektní čítání obrátit polaritu datového signálu před vstupem do obvodu PCF8583. Pro účel negace signálu je zde využito zapojení s bipolárními NPN tranzistory Q1, Q2 typu BC847C v režimu saturace. V případě nepřítomnosti magnetu u Hallova senzoru bude výstupní tranzistor integrovaný v senzoru rozepnut, výstup DATA bude připojen přes rezistor R3 (R6) k napájení 3,3 V. Přes rezistor R2 (R5) poteče proud do tranzistoru Q1 (Q2), který tento tranzistor sepne. Vstup OSC1 obvodu U1 (U2) tak bude na úrovni GND. V případě průchodu magnetu kolem Hallova senzoru bude výstupní tranzistor integrovaný v senzoru sepnut, výstup DATA bude tímto sepnut do úrovně GND. Na bázi tranzistoru Q1 (Q2) bude tedy přes rezistor R2 (R5) připojena úroveň GND. Tranzistor Q1 (Q2) bude tedy rozepnut, na vstup OSC1 obvodu U1 (U2) bude tedy přes rezistor R1 (R4) připojena úroveň 3,3 V.

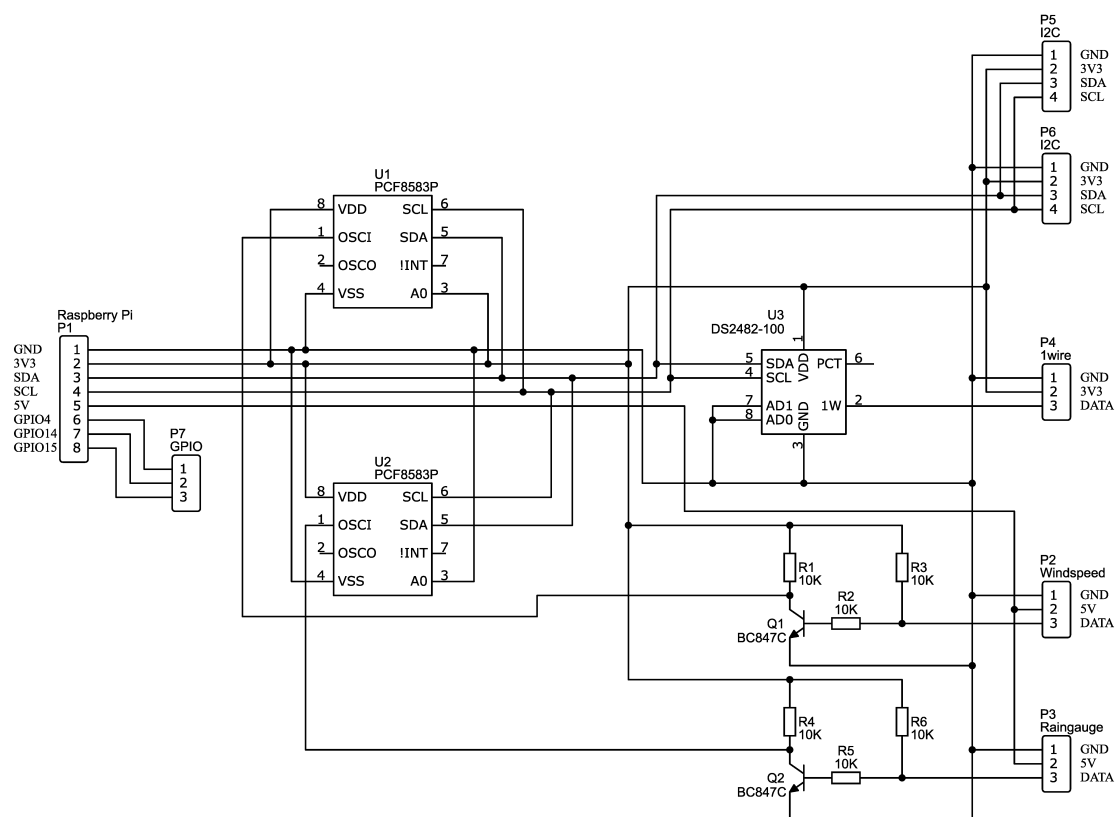
Na velikosti rezistorů R1–R6 příliš nezáleží, konkrétní hodnota 10 kΩ byla zvolena z důvodu běžné dostupnosti a eliminaci zbytečně zvýšené spotřeby elektrické energie. Bipolární NPN tranzistory Q1, Q2 byly zvoleny běžného typu BC847C s maximálním proudem 0,1 A, maximálními napětími C-B 50 V, C-E 45 V, E-B 6 V a maximální tepelnou ztrátou 0,3 W [24], což jsou parametry velmi výrazně převyšující požadavky.

Navržené schéma zapojení rozvodné desky plošných spojů je na obrázku 2.4.

## 2.3 Deska plošných spojů

### 2.3.1 Návrh

Pro návrh desky plošných spojů bylo využito softwaru EasyEDA. Nejprve bylo zakresleno navržené schéma zapojení, ze kterého návrh vychází. Následně byly na desku rozmístěny konektory a všechny použité součástky, kdy součástky s povrchovou montáží (SMD) byly umístěny na horní stranu desky. Použity byly tedy dvě vrstvy - horní (top) a spodní (bottom). Pro propojení těchto dvou vrstev byly z důvodů nemožnosti prototypové výroby prokovených otvorů využity piny integrovaných obvodů s montáží typu through-hole (THT), tj. U1, U2, které budou cínovou pájkou propojeny s deskou z obou stran. Zbývající propoje pak byly provedeny pomocí měděného drátu s průměrem 0,4 mm. Propoje pomocí jednotlivých pinů konektorů použity nebyly, protože z důvodu těsného přisazení konektorů na



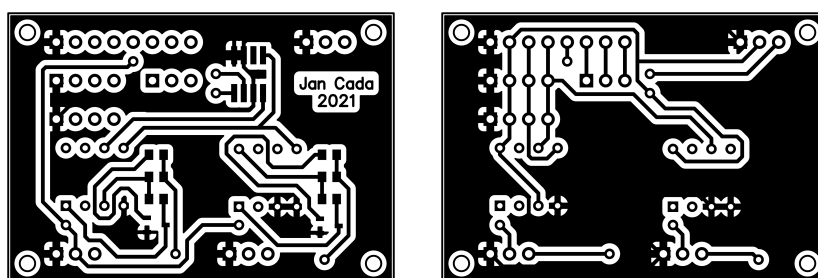
Obr. 2.4: Schéma zapojení rozvodné DPS

desku by nebylo možné tyto piny z horní strany propájet. Pro propoje mezi jednotlivými součástkami pak byly zvoleny z důvodu malé komplexnosti zapojení a snížení nároků na přesnost výroby cesty s šířkou 0,5 mm. Otvory pro piny konektorů byly vrtány s průměrem 1,8 mm, otvory pro montáž THT součástek a propojů mezi vrstvami pak s průměrem 1,4 mm. Kvůli eliminaci příliš velkých prázdných ploch z důvodu šetření obráběcího nástroje a zkrácení času výroby byly na obou stranách desky vygenerovány zemní polygony s ochrannou oblastí 0,7 mm od ostatních spojů. Do rohů desky byly umístěny montážní otvory o průměru 2 mm pro uchycení celku pomocí vrutů velikosti M2 do plastového krytu vytištěného pomocí 3D tiskárny, kterým bude rozvodná DPS chráněna před vlivy počasí.

Použité konektory a součástky jsou v tabulce 2.1. Konektory P1–P7 v THT provedení byly použity typu pin header 2,54mm female, protože je zde žádoucí zachovat kompatibilitu konektorů na kabelech s prototypovacím kontaktním polem (taktéž typu pin header 2,54mm female), které bylo použito při vývoji zapojení. Integrované obvody U1, U2 typu PCF8583 se podařilo sehnat pouze v provedení THT. Resistory R1–R6 byly zvoleny v pouzdru pro povrchovou montáž (SMD) velikosti 0805, což je ideální kompromis mezi velikostí a náročností montáže. Bipolární NPN tranzistory Q1, Q2 byly zvoleny taktéž v provedení SMD v pouzdru SOT-23-3.

Z důvodů již uvedených v kapitole 2.2 tato DPS obsahuje stejně jako schéma zapojení přípravu na součástky a konektory P4, P6, P7 a U3, které nebudou v případě této konkrétní meteorostanice osazeny. V tomto případě také není nutné osazovat dva propoje mezi vrstvami vedle U3.

Výsledné provedení horní (top) měděné vrstvy a spodní (bottom) měděné vrstvy DPS je na obrázku 2.5, osazovací plán na obrázku 2.6. Rozměry desky jsou 50,93 mm × 35,56 mm.



Obr. 2.5: Motiv horní (top) a spodní (bottom) vrstvy rozvodné DPS

Tab. 2.1: Použité součástky

| Ozn. | Pouzdro           | Hodnota/Typ   | Název             | Poznámka  |
|------|-------------------|---------------|-------------------|-----------|
| P1   | pin header 2,54mm | 8×1 female    | konektor do DPS   | -         |
| P2   | pin header 2,54mm | 3×1 female    | konektor do DPS   | -         |
| P3   | pin header 2,54mm | 3×1 female    | konektor do DPS   | -         |
| P4   | pin header 2,54mm | 3×1 female    | konektor do DPS   | neosazeno |
| P5   | pin header 2,54mm | 4×1 female    | konektor do DPS   | -         |
| P6   | pin header 2,54mm | 4×1 female    | konektor do DPS   | neosazeno |
| P7   | pin header 2,54mm | 3×1 female    | konektor do DPS   | neosazeno |
| U1   | DIP-8             | PCF8583P      | integrovaný obvod | -         |
| U2   | DIP-8             | PCF8583P      | integrovaný obvod | -         |
| U3   | SO8               | DS2482-100    | integrovaný obvod | neosazeno |
| R1   | 0805              | 10K $\pm 5\%$ | rezistor          | -         |
| R2   | 0805              | 10K $\pm 5\%$ | rezistor          | -         |
| R3   | 0805              | 10K $\pm 5\%$ | rezistor          | -         |
| R4   | 0805              | 10K $\pm 5\%$ | rezistor          | -         |
| R5   | 0805              | 10K $\pm 5\%$ | rezistor          | -         |
| R6   | 0805              | 10K $\pm 5\%$ | rezistor          | -         |
| Q1   | SOT-23-3          | BC847C        | NPN tranzistor    | -         |
| Q2   | SOT-23-3          | BC847C        | NPN tranzistor    | -         |

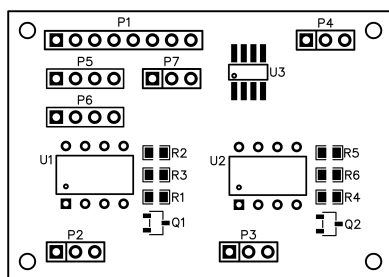
### 2.3.2 Výroba

Pro výrobu prototypu DPS byla zvolena technologie mechanického obrábění pomocí CNC frézky. Jako datový zdroj pro výrobu byl použit balík souborů Gerber, vygenerovaný softwarem EasyEDA, ve kterém byla deska navrhována.

Byla použita deska vyrobená z materiálu FR4 oboustranně plátovaná mědí. Tloušťka substrátu je 1,6 mm.

Po výrobě byl na desku z obou stran nanesen ochranný lak pro zamezení oxidace mědi.

Výsledná deska neobsahuje žádné funkční defekty, použité odstupy jednotlivých cest se ukázaly jako dostatečné. Jediné nedokonalosti jsou viditelné ve větších prázdných plochách, kde nástroj patrně vinnou přílišného opotřebení zanechal tenké linky měděné vrstvy. Vzhledem k tomu že se jedná vždy o ostrovní zbytky, na funkci toto nemá vliv.



Obr. 2.6: Osazovací plán součástek a konektorů na rozvodné DPS při pohledu shora

### 2.3.3 Osazení

Deska byla osazována pomocí pájecí stanice Yihua 995D+. Použitá cínová pájka byla v případě SMD součástek ve formě pasty, v případě THT součástek ve formě trubičkové pájky. Použito bylo tavidlo ve formě pasty typu AMTECH NC-559.

Jako první byly osazeny SMD součástky, tj. rezistory R1–R6 a tranzistory Q1, Q2. Nejprve byla na pájecí plošky nanесena v malém množství pájecí pasta obsahující mikroskopické kuličky cínové pájky. Do ní byly pomocí pinzety osazeny příslušné součástky. Následně byla deska krátce zahřívána pomocí horkovzduchu s teplotou 370 °C. Cínová pájka navzlínala na pájecí plošky a jednotlivé součástky se vyrovnaly do správné pozice.

Následně byly osazeny propojky mezi vrstvami, ty byly zapájeny již pomocí mikropáječky při teplotě 360 °C, trubičkové pájky a tavidla. Stejným způsobem byly osazeny i všechny zbývající THT součástky, piny integrovaných obvodů U1, U2 byly zapájeny z obou stran desky.

Po dokončeném osazování byly z desky očištěny zbytky tavidla pomocí isopropylalkoholu.

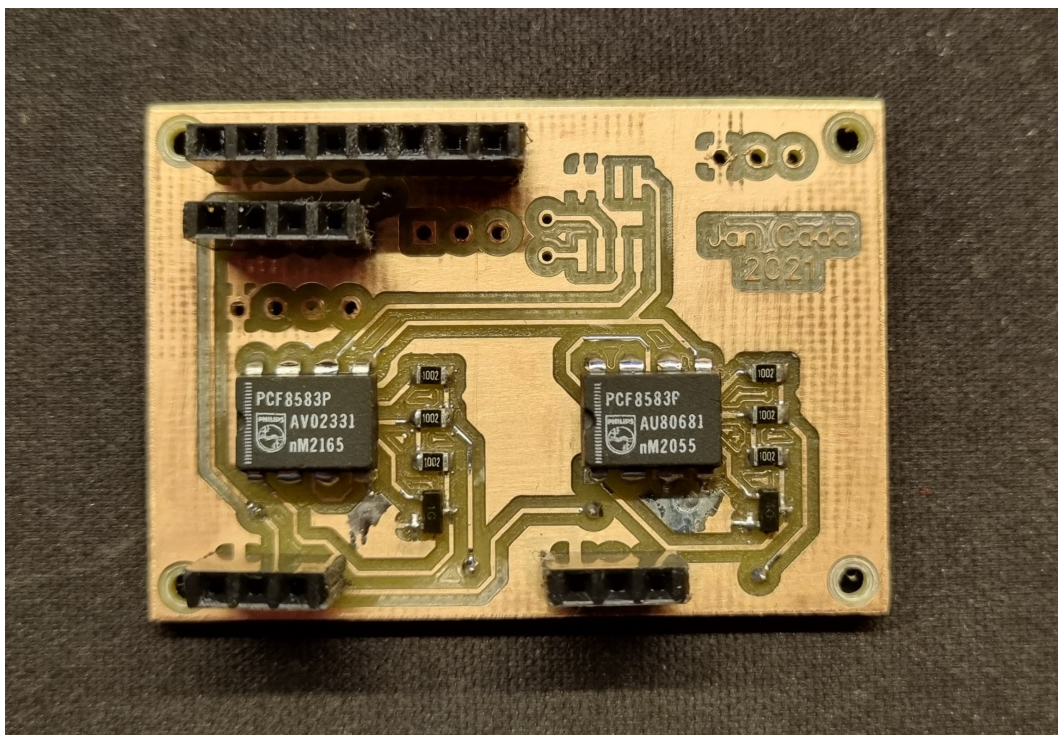
Fotografie osazené desky jsou na obrázcích 2.7 a 2.8.

## 2.4 Centrální jednotka

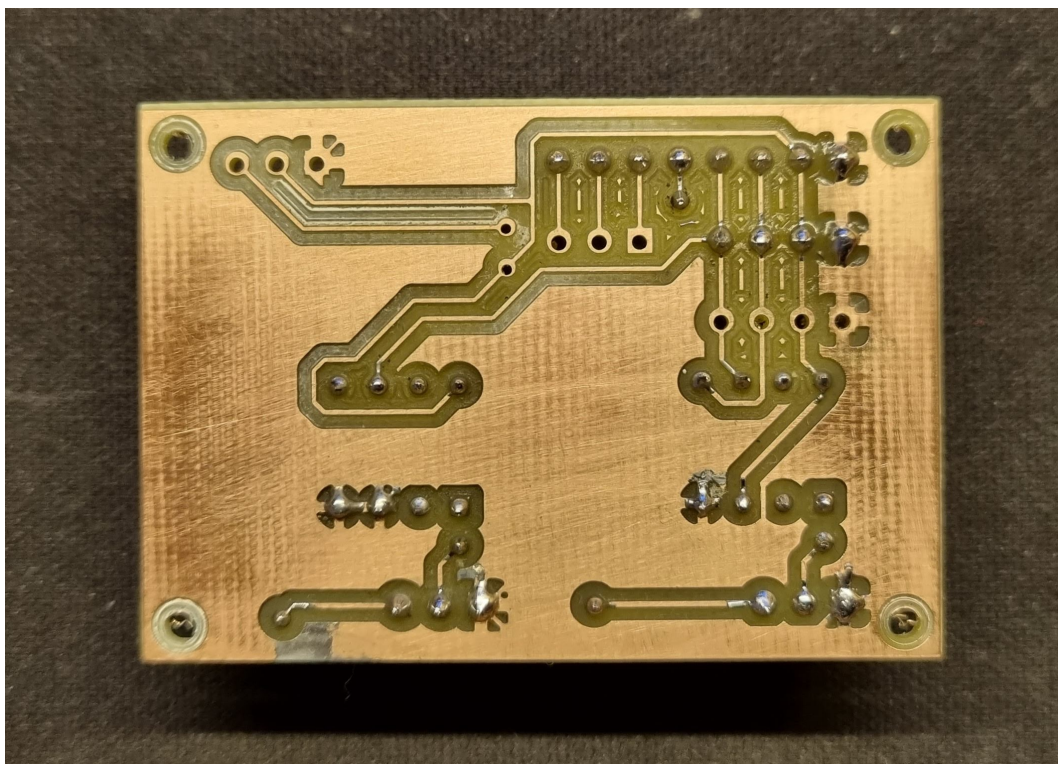
### 2.4.1 Kryt

Pro centrální jednotku bylo třeba zvolit vhodný kryt, protože bude vystavena vlivům venkovního počasí. Zejména bylo důležité centrální jednotku důkladně zabezpečit proti vniknutí dešťové vody. Z toho důvodu bylo pro výrobu hlavní části krytu zavrženo použití 3D tisku, který by zde byl vzhledem k velikosti také poměrně neekonomický. Bylo tedy rozhodnuto o použití seriově vyráběného řešení, které bude mít vodotěsnost již vyřešenou.





Obr. 2.7: Osazená rozvodná DPS při pohledu shora



Obr. 2.8: Osazená rozvodná DPS při pohledu ze spodu

Na základě dlouholetých výborných zkušeností z řad lokálních poskytovatelů internetového připojení byl zvolen GentleBOX JE-200 od výrobce Jirous. Tento vodětěsný box, vyrobený z UV stabilního plastu ABS, je sice primárně určen pro venkovní montáž síťových prvků (Mikrotik RouterBOARD aj.), avšak díky univerzálnímu provedení je možné jej použít i pro venkovní montáž jiných zařízení. Jeho vnitřní rozměry jsou  $186 \times 186 \times 53$  mm, což je pro umístění potřebných komponent více než dostatečné. Cena boxu včetně držáku na stožár s průměrem 19 - 54 mm a kabelové vývodky je velmi příznivá (385 Kč dne 15.5.2022 na Suntech.cz). Pro dlouhodobou těsnost bylo provedeno promazání těsnícího pásu silikonovým olejem, bajonetové šrouby pak byly podle doporučení výrobce pro usnadnění budoucího přístupu promazány silikonovou vazelínou. [25]

Odtokový otvor pro případný kondenzát na dolní straně boxu bývá využíván hmyzem pro vstup do vnitřní části, proto byl pomocí kousku pěnové pásky zmenšen.

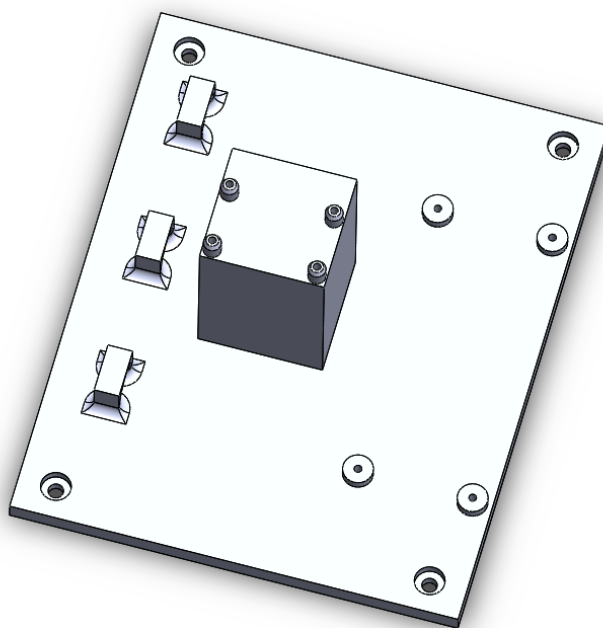
## 2.4.2 Umístění komponent

Vzhledem k jinému primárnímu účelu boxu bylo nutné vyřešit upevnění jednotlivých komponent centrální jednotky. Vzhledem k jednoduchému návrhu a snadné výrobě byla zvolena metoda 3D tisku. Pomocí softwaru Solidworks byl navržen plastový díl, který byl přesně přizpůsoben montážním otvorům boxu a montážním otvorům jednotlivých komponent.

Při návrhu byla základem plochá platforma o rozměrech  $110 \times 90$  mm s montážními otvory lícujícími s příslušnými otvory v boxu. Tyto otvory byly zahlobeny pro možnost použití šroubů přiložených k boxu. V pravé části byly umístěny montážní sloupky pro desku Raspberry Pi Zero, určené pro vruty průměru M2 délky 6 mm. V prostřední části byl umístěn držák kamery, opět s montážními sloupky pro stejné vruty jako v případě předchozí desky. Kamera je umístěna do takové výšky, aby její nejvyšší část byla 3 mm od vnitřní strany víka. V levé části jsou pak vymodelovány tři úchyty pro vyvázání kabelů pomocí stahovacích pásek. Pro DC/DC měnič nebyly vytvořeny montážní sloupky, protože na jeho plošném spoji nejsou montážní otvory. Deska měniče tak byla přilepena vhodným lepidlem (použito E8000) na plochu do prostoru pod kamerou.

Tento díl, zobrazený na obrázku 2.9, byl stejně jako všechny následující vytištěn na 3D tiskárně Original Prusa i3 MK3S. Příprava modelu pro tisk probíhala v softwaru PrusaSlicer verze 2.4.0. Byl zvolen materiál PETG bílé barvy (vzhledem k venkovnímu umístění by nejběžněji využívaný materiál PLA mohl na přímém letním slunečním světle měknout). Výška každé vrstvy byla nastavena na 0,20 mm, výplň 15 %. Díl byl položen na spodní stranu, nebyly použity žádné podpěry. Jako podklad byla použita texturovaná podložka, protože na hladké PEI podložce drží PETG až





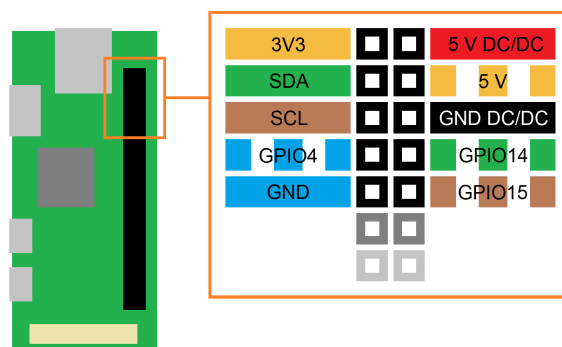
Obr. 2.9: Render držáku komponent centrální jednotky

příliš dobře, díky čemuž hrozí její poškození při odlepování hotového výtisku. Na texturované podložce drží díl při tisku stále dostatečně, avšak lze jej snadno sundat.

Pro výstup kabelu k rozvodnému boxu byla použita přiložená vodotěsná vývodka, v případě Ethernetového kabelu pak byla zvolena vývodka přímo s konektorem RJ-45 (8P8C), což umožní pozdější připojení přívodního kabelu s již nakrimpovaným konektorem a bez nutnosti otevírání celého boxu.

Do boxu byly umístěny všechny všechny komponenty, vstup PoE splitteru byl propojen s RJ-45 vývodkou pomocí 50cm UTP kabelu. Kabely byly vyvázány pomocí stahovacích pásek. Na kabel k rozvodnému boxu byly pomocí k tomu určeného nástroje nakrimpovány konektory pin header (female, 2,54 mm) a zapojeny k příslušným pinům na konektoru GPIO desky Raspberry Pi podle obrázku 2.10. Vstup DC/DC měniče byl připojen k výstupu PoE splitteru. Dále byl připojen PoE adaptér a pomocí otočného trimru na desce měniče bylo nastaveno 5,0 V na výstupu (měřeno voltmetrem). Pro zamezení dalšího nechtěného pohybu byl trimr zakápnut lepidlem. Výstup měniče pak byl pomocí krátkých vodičů s konektory pin header připojen k příslušným pinům GPIO konektoru desky mikropočítače, viz opět obrázek 2.10.

Ještě před kompletací centrální jednotky je vhodné do slotu na desce Raspberry Pi vložit microSD kartu s nainstalovaným OS podle kapitoly 2.12.1.

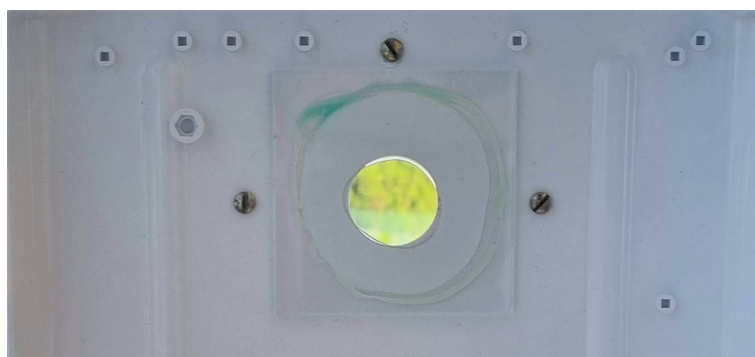


Obr. 2.10: Zapojení GPIO konektoru na Raspberry Pi Zero

### 2.4.3 Krytí kamery

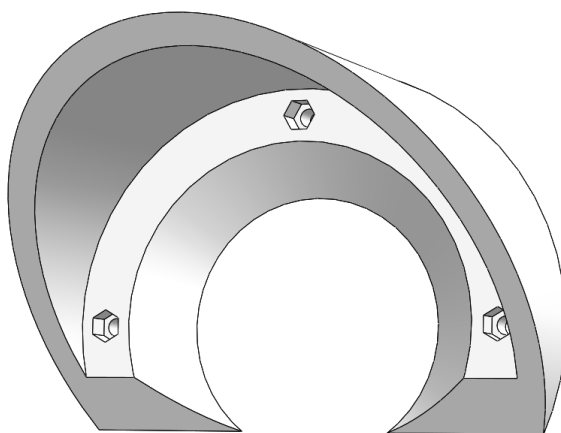
Bylo třeba vyřešit průhled pro kameru skrz víko boxu, přičemž bylo nutno zachovat vodotěsnost. Zároveň bylo nutné použít materiál, který bude co nejméně ovlivňovat obraz z kamery. To byl zásadní problém u průhledného plastu - proto bylo nakonec zvoleno tenké sklo, které kvalitu obrazu ovlivňuje jen velmi nepatrně. Vzhledem k eliminaci případného odrazu (mohl by to být problém zejména v noci) byla na desce s kamerou deaktivována signalizační LED dioda pomocí přerušení příslušné vodivé cesty, alternativně ji lze před přilepením kamerového senzoru odstranit hor-kovzdušnou páječkou.

V horní části víka, horizontálně uprostřed, vertikálně 63 mm pod vnitřní hranou byl pomocí stupňovitého vrtáku vytvořen kulatý otvor o průměru 24 mm. Z vnitřní strany bylo následně pomocí vhodného lepidla (použito E8000) a akvarijního silikonu vlepeno okenní sklo o síle 2 mm a rozměrech 65 × 65 mm. Aby byla zachována vodotěsnost, bylo nutné aplikovat silikon po celém obvodu otvoru. Sklo bylo po přiložení na silikon a lepidlo opatrně přitlačeno, aby silikon vytvořil co největší kontaktní plochu mezi sklem a víkem, viz obrázek 2.11.



Obr. 2.11: Upevnění krycího skla

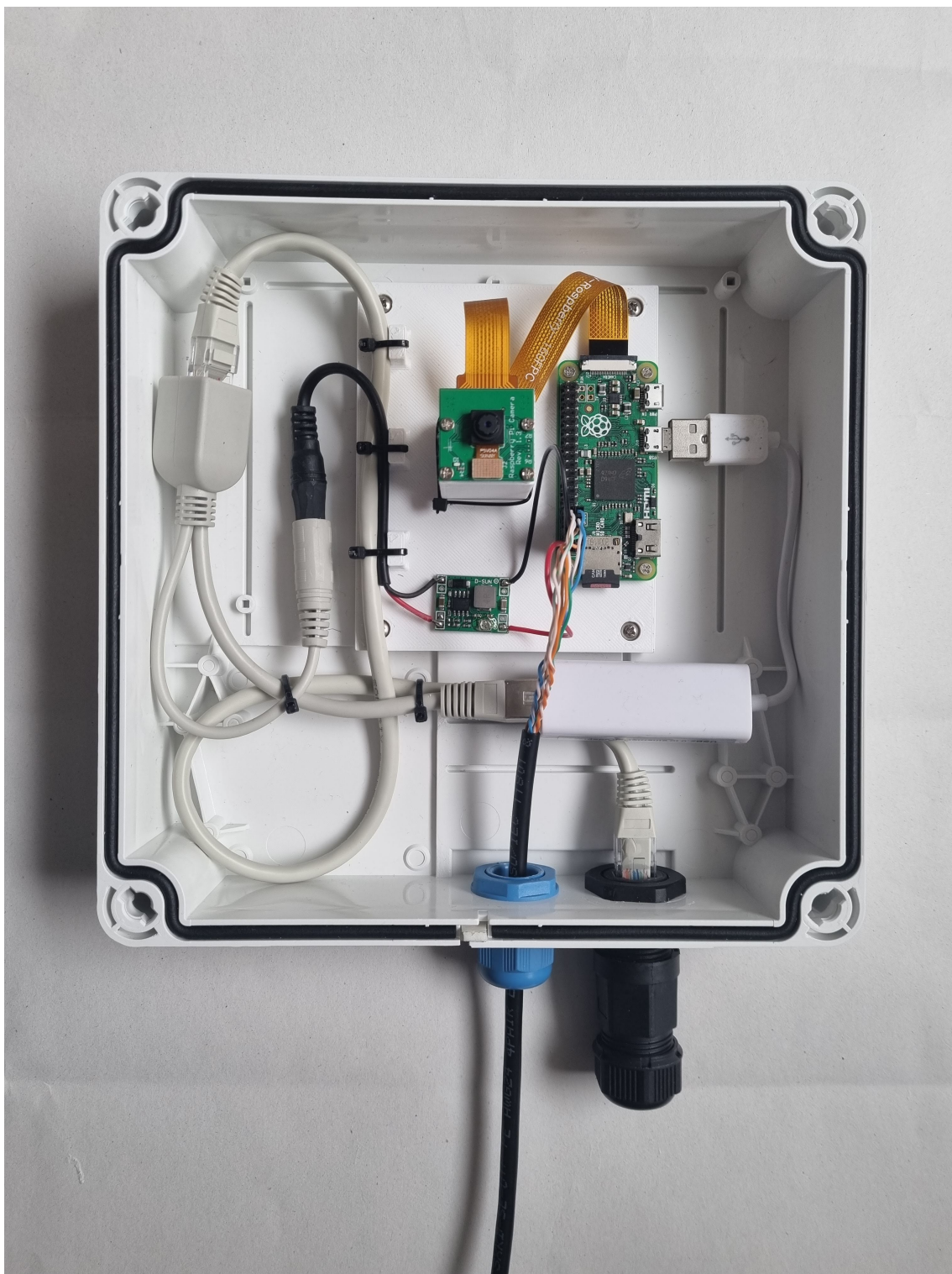
Aby se na krycí sklo nedostala voda nebo případně sníh, bylo nutné umístit nad průhled kamery kšilt. Ten byl opět vytištěn pomocí 3D tisku se stejnými parametry jako v případě předchozího, navržený model je na obrázku 2.12. Při návrhu bylo nutné zohlednit snímací úhly použité kamery, aby kšilt nezasahoval do obrazu. Hotový díl byl vystředěn s průhledem kamery, byly označeny příslušné montážní otvory. Následně byly do víka v těchto místech vyvrtány otvory o průměru 3 mm. Do otvorů na kšiltu byly vloženy matice M3. Před připevněním pomocí šroubů M3 délky 10 mm byl do styčné plochy a okolo šroubů taktéž nanesen akvarijní silikon, aby spojem neprotékala voda na krycí sklo a případně okolo šroubů do vnitřní části boxu. Pohled na hotový průhled kamery s kšilem je na obrázku 2.13.



Obr. 2.12: Render krytu kamery



Obr. 2.13: Realizovaný kryt kamery na centrální jednotce



Obr. 2.14: Zkompleťovaná centrální jednotka

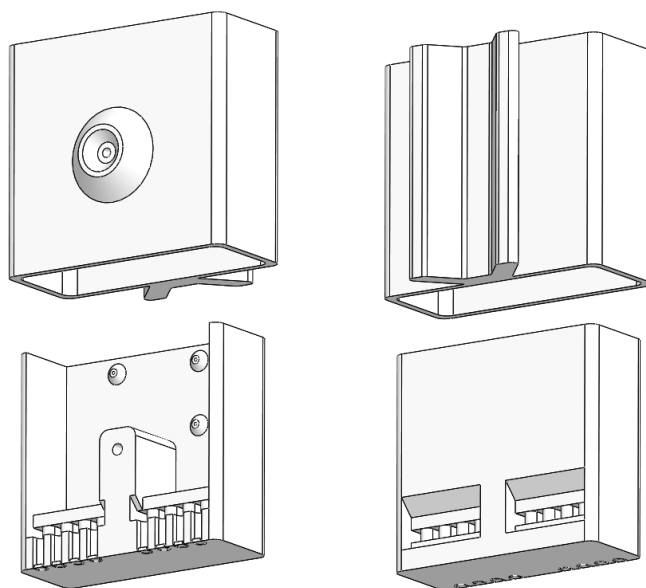
## 2.5 Rozvodný box

### 2.5.1 Kryt

Snahou bylo zachovat u rozvodného boxu dobrou přístupnost a zároveň desku plošných spojů zajistit proti vniknutí vody a hmyzu. Bylo také myšleno na případné budoucí úpravy a rozšiřování, proto v boxu zůstala jak prostorová rezerva, tak připravené vstupy pro další kabely.

Box je složen ze dvou částí - samotného krytu, který lze pomocí stahovacích pásek upevnit na stožár (připraveny jsou dva otvory o šířce 7 mm) a vnitřní vložky, ke které je upevněna rozvodná DPS (pomocí vrutů M2 délky 6 mm) a připojené kabely. Zajištění těchto dvou částí zajišťuje šroub M5 délky 20 mm. Na vstupech pro jednotlivé kabely jsou vylamovací krytky, aby byl zamezen vstup hmyzu nevyužitými otvory. Kabely jsou zajištěny proti nežádoucímu pohybu pomocí stahovacích pásek, jimiž jsou upevněny k vložce. Model obou dílů boxu je na obrázku 2.15.

Pro návrh byl opět použit program Solidworks, tisk probíhal se stejnými nastaveními jako v případě předchozích dílů, opět bez podpěr. Kryt byl tištěn svrchní stranou na podložce, vložka byla tištěna spodní stranou na podložce.



Obr. 2.15: Render spojovacího boxu



## 2.5.2 Kabely a konektory

Vzhledem k umístění na přímém slunečním světle byly pro propojení jednotlivých částí meteostanice zvoleny UTP kabely (Cat5e) s černým UV odolným PE pláštěm, konkrétně typu SXKD-5E-UTP-PE od výrobce Solarix. Běžnější kabely s PVC pláštěm nejsou pro venkovní užití vhodné, protože za několik let by materiál pláště zdegradoval a rozpadl by se. Dále je třeba vyvarovat se použití kabelu s označením CCA (Copper Clad Aluminium = poměděný hliník) nebo CCS (Copper Clad Steel = poměděná ocel), je nutné vždy vybírat pouze kabely vyrobené čistě z mědi (Cu). Důvodem je vyšší lámavost a podstatně vyšší elektrický odpor u kabelů CCA/CCS. Tyto kabely, nevyhovující normám, jsou však na trhu běžně k dostání z důvodu mírně nižší výrobní ceny.

Kabely byly zakončeny pomocí konektorů pin header (2,54 mm). Nejprve byl pomocí vhodného nástroje odstraněn černý plášť kabelu o délce přibližně 10 cm. Následně byly jednotlivé páry přibližně do poloviny rozpleteny a vyrovnány. Z konců jednotlivých vodičů byla odstraněna izolace v délce přibližně 5 mm. Samotný konektor byl vložen do krimovacích kleští (záleží na orientaci, menším žlábkem blíže ke špičce konektoru) a vodič byl zasunut i s cca 2 - 3 mm izolace do konektoru. Následně byly krimovací kleště stlačeny do koncové polohy a opět uvolněny. Tímto způsobem byly nakrimpovány koncovky na všechny použité vodiče. Ty byly následně zasunuty (dokud je nezajistila západka) do plastové části konektoru s vhodným počtem pinů. Na obrázku 2.16 jsou vodiče před a po nasunutí do plastové části konektoru.

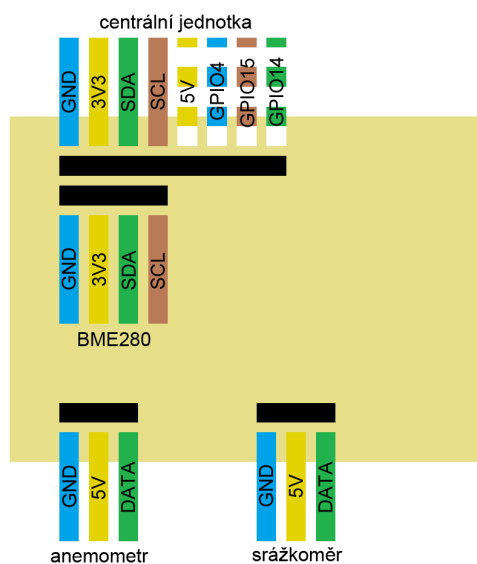


Obr. 2.16: Nakrimpované a osazené konektory pin header (male, 2,54 mm)

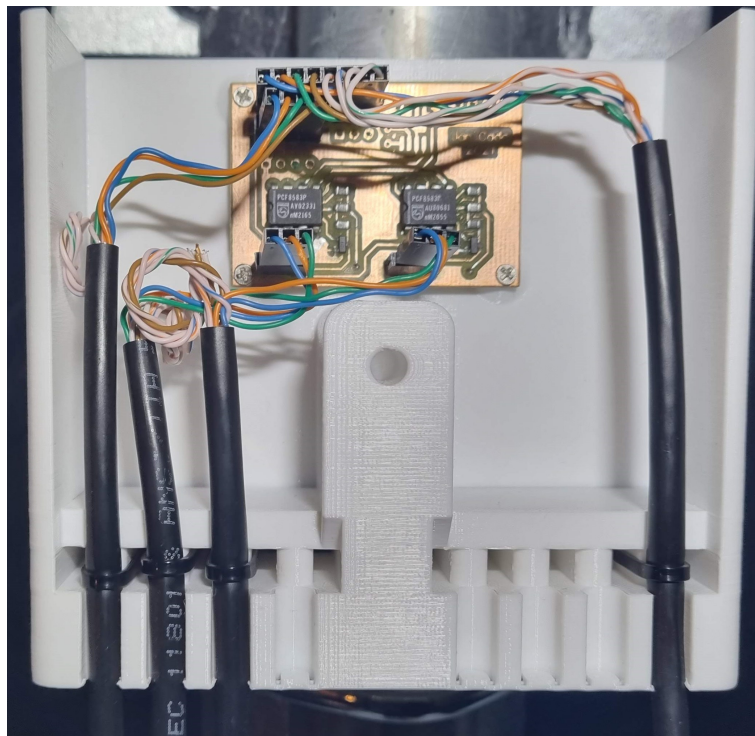
## 2.5.3 Zapojení

K rozvodné DPS byly pomocí konektorů pin header (male, 2,54 mm) připojeny kabely od centrální jednotky a jednotlivých senzorů podle obrázku 2.17. Jednotlivé

konektory je vhodné jak na kabelu tak na DPS z jedné strany označit (zde byl použit bílý permanentní fix), aby při případném přepojování nedošlo k otočení. Celkový pohled na zapojený rozvodný box je na obrázku 2.18.



Obr. 2.17: Zapojení rozvodné DPS



Obr. 2.18: Zapojený rozvodný box

## 2.6 BME280 (teploměr/tlakoměr/vlhkoměr)

### 2.6.1 Kryt

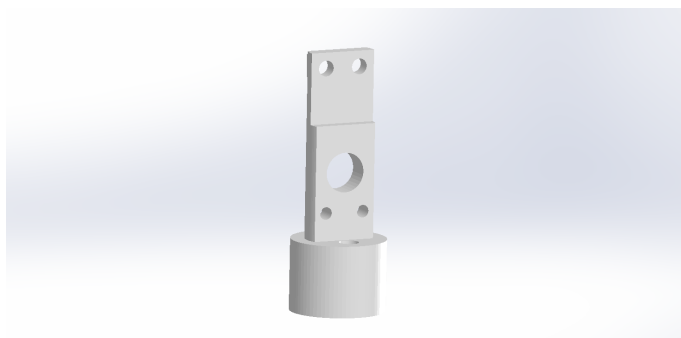
Jak již bylo uvedeno v kapitole zabývající se výběrem vhodného senzoru (1.4.1), bude modul s čidlem BME280 umístěn do zjednodušené meteorologické budky. Vzhledem k tomu, že je k dispozici velké množství volně dostupných modelů, nebyl celý kryt vytvářen od nuly, ale jako základ byl zvolen model <<https://www.thingiverse.com/thing:1067700>> dostupný pod licencí Creative Commons - Attribution od autora „micromet“. Bylo použito 5 kruhových dílů s otvorem, jeden bez otvoru ve vrchní části a spodní základnová část s otvorem pro upevňující šroub. Vnitřní vložka pro montáž senzoru byla upravena pro modul s BME280, model je na obrázku 2.19. Dále byl vytvořen model držáku celého krytu pro montáž na stožár o průměru 42 mm. Tento držák se skládá ze dvou dílů, pro jejichž spojení se použijí dva kusy závitové tyče velikosti M6 o délce 150 mm, příslušné matice a velkoplošné podložky (po 4 ks). Model tohoto držáku je na obrázku 2.20. Všechny díly tohoto krytu byly vytištěny se stejnou konfigurací jako předchozí, výška vrstvy byla nastavena 0,20 mm pro díly meteorologické budky a výška vrstvy 0,30 mm pro držák na stožár (urychlí se tisk). Tisk probíhal opět z materiálu PETG bílé barvy, která je u meteorologické budky obzvláště důležitá - je nutno minimalizovat její zahřívání slunečním zářením.

Jednotlivé části krytu jsou spojeny pomocí tří kusů závitové tyče velikosti M5 délky 130 mm a příslušných matic (6 ks). Nejprve bylo provedeno zašroubování závitových tyčí do svrchního dílu (bez otvoru). Toto bylo provedeno pomocí aku vrtačky nastavené na pomalý chod, případně lze využít závitník příslušné velikosti pro vyřezání potřebného závitu do tištěného dílu. Výsledek je vidět na obrázku 2.21. Poté byly na tyto závitové tyče nasunuty všechny další miskové díly, nakonec byl vložen držák vložky se senzorem. Sestavená meteorologická budka byla nakonec zajištěna třemi maticemi M5, jak je vidět na obrázku 2.22. Nakonec byla budka nasazena na stožárový držák a zajištěna opět třemi maticemi M5. Pro uchycení vložky se senzorem je použit šroub velikosti M5 délky 20 mm, který je zašroubován do připraveného otvoru v základně budky.

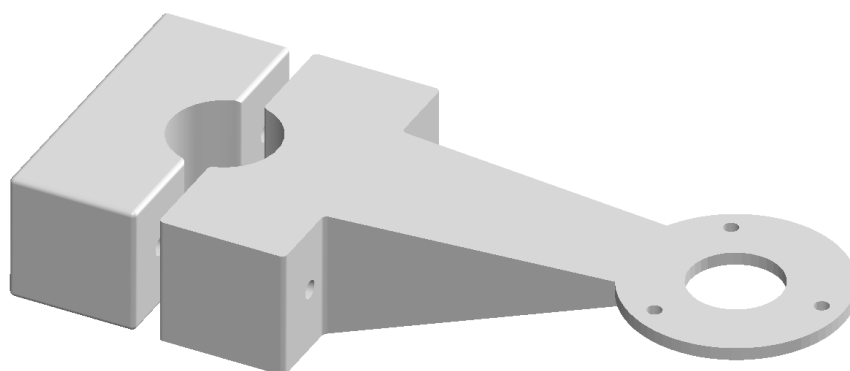
### 2.6.2 Zapojení senzoru

Samotný modul senzoru je pro možnost jednoduchého přístupu umístěn na vyjímatelné vložce, ke které je přimontován pomocí dvou šroubů velikosti M3 délky 10 mm a příslušných matic. K pájecím ploškám na modulu je připájen konektor pin header (male, 2,54 mm). Všechny nekryté vodivé části modulu s výjimkou svrchní strany samotného senzoru pak byly zality pomocí transparentního UV vytvrditelného laku (pro vytvrzení stačí na několik sekund osvitit pomocí UV LED svítilny). Toto bylo





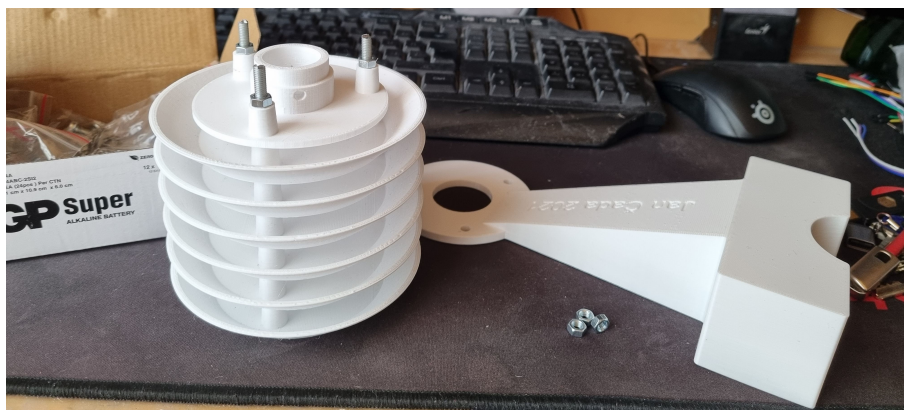
Obr. 2.19: Vnitřní vložka upravená pro montáž modulu se senzorem BME280



Obr. 2.20: Držák meteorologické budky na stožár o průměru 42 mm

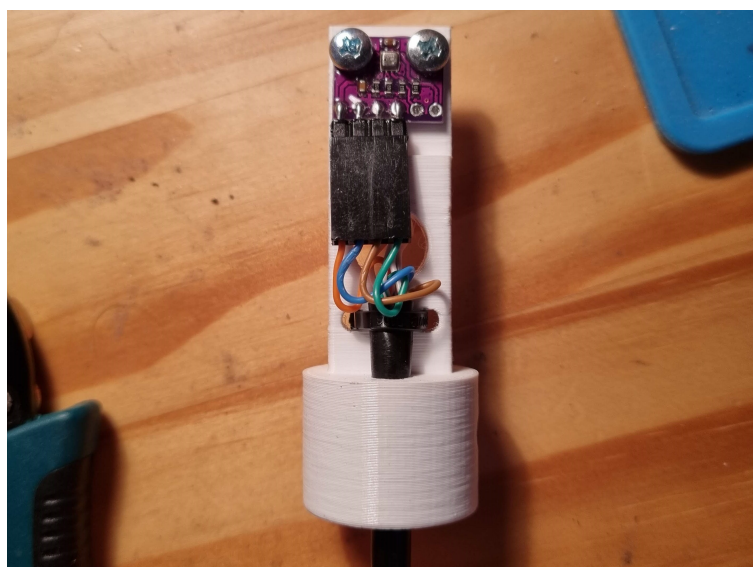


Obr. 2.21: Sestavování meteorologické budky



Obr. 2.22: Sestavená meteorologická budka

provedeno jako prevence před případnou vlhkostí, která by mohla ovlivnit správnou funkčnost. Přívodní kabel je zakončen konektorem pin header (female, 2,54 mm). Při pohledu zepředu na modul s kontakty otočenými dolů jsou piny zleva: 3V3 (oranžový vodič), GND (modrý vodič), SCL (hnědý vodič), SDA (zelený vodič). Oproti přímému připojení vodičů k modulu je tím usnadněna případná budoucí výměna senzoru. Kabel je zajištěn proti nežádoucímu posuvu pomocí stahovací pásky. Hotový celek je na obrázku 2.23. Vložka je následně umístěna do meteorologické budky a zajištěna pomocí šroubu velikosti M5 délky 20 mm.



Obr. 2.23: Modul senzoru BME280 umístěný na vnitřní vložce meteorologické budky

## 2.7 Anemometr

### 2.7.1 Mechanická část

Zde byl stejně jako v případě meteorologické budky zvolen již vytvořený model <<https://www.thingiverse.com/thing:2559929>> dostupný pod licencí Creative Commons - Attribution od autora „jostak“. Byly použity tři misky, rotor a držák. K němu byl dokreslen držák na stožár o průměru 42 mm se stejným způsobem konstrukce a montáže jako v případě meteorologické budky. Tisk opět probíhal se stejnými parametry jako předchozí, výška vrstvy byla nastavena na 0,20 mm, nebyly třeba dodatečné podpory. Misky byly položeny na podložku dnem vzhůru.

Nejprve bylo do dílu rotoru zasunuto kuličkové ložisko typu 608ZZ, které bylo dále zajištěno pomocí podložky a vrtu velikosti M3 délky 6 mm. Dále byl do rotoru ve výšce 6 mm nad spodním okrajem vyvrtán otvor o průměru 5 mm, do něhož byl vlepen válcový neodymový magnet o průměru necelých 5 mm a tloušťce necelé 2 mm (prodáváný jako 5 mm průměr a 2 mm tloušťka). Jeho otočení je nutno před vložením a zakápnutím lepidlem (použito E8000) ověřit, protože použitý hallův senzor je citlivý na orientaci pólů magnetu. Detail umístění magnetu je na obrázku 2.24. Nakonec jsou vlepeny jednotlivé misky, které je nutno orientovat vždy všechny jedním směrem. Po vlepení senzoru (viz následující kapitola) byla na kabel umístěna stahovací páska pro zajištění, kabel je protažen držákem na stožár, ke kterému je držák anemometru přimontován pomocí šroubů velikosti M3 délky 10 mm a příslušných matic, které byly předem vloženy do připravených šestihranných otvorů ve stožárovém držáku. Poté bylo do otvoru ve spodní části držáku vtlačeno lepidlo (použito tavné s pomocí lepící pistole), které zajistí díky stahovací pásce pevné uchycení kabelu proti nežádoucímu pohybu. Nakonec byl na držák opatrně vtlačen hotový rotor s miskami. Na obrázku 2.26 je sestavený anemometr.

Zaznamenáván je počet pulzů, výsledná rychlost větru je získána jako počet pulzů za 5 minut děleno číslem 100. Tato konstanta byla určena na základě porovnání naměřených dat s nejbližší meteostanicí ČHMÚ, protože kalibrace v aerodynamickém tunelu je drahá a pro účel orientačního měření by nebyla ani příliš účelná.

### 2.7.2 Zapojení senzoru

Následně je připraven senzor A3144, který je připájen na odizolované vodiče kabelu a spoje jsou izolovány pomocí teplem stahovatelných bužírek, viz obrázek 2.25. Při pohledu na stranu senzoru s popisem vývody dolů jsou připojeny následující vodiče zleva: 5V (oranžový vodič), GND (modrý vodič), DATA (zelený vodič). Pomocí vhodného lepidla (použito E8000) byl následně vlepen na horní okraj drážky ve vnitřní části držáku, orientován popsanou stranou směrem ke stěně držáku.



Obr. 2.24: Detail umístění magnetu a uchycení ložiska



Obr. 2.25: Hallův senzor A3144 s připojeným kabelem

## 2.8 Srážkoměr

### 2.8.1 Konstrukce

Z nemnoha volně dostupných modelů bylo několik člunkových srážkoměrů prakticky ozkoušeno, avšak nefungovaly příliš dobře - jejich rozlišení bylo obvykle příliš hrubé a navíc scházela jakákoli možnost jejich kalibrace. Nejlépe fungoval srážkoměr dostupný zde <<https://www.thingiverse.com/thing:2849562>> pod licencí Creative Commons - Attribution - Non-Commercial od autora „RobWLakes“, avšak opět chyběla možnost kalibrace a rozlišení bylo necelé 2 mm srážek, což je stále mnoho. Navíc model obsahoval dost dalších konstrukčních nedostatků. Nakonec bylo roz-



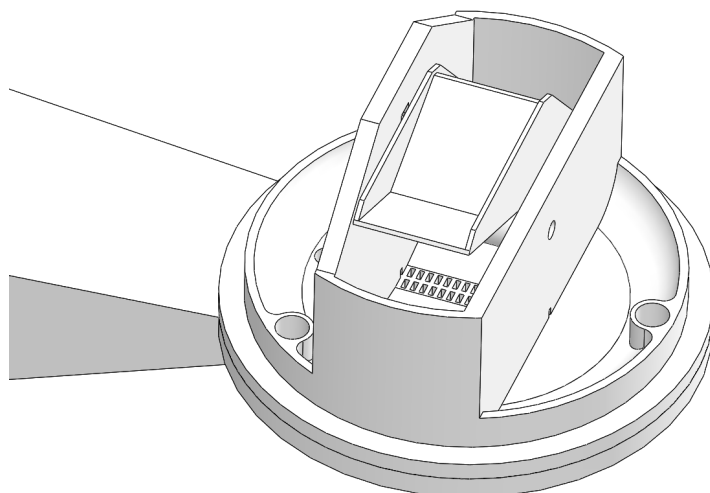


Obr. 2.26: Sestavený anemometr

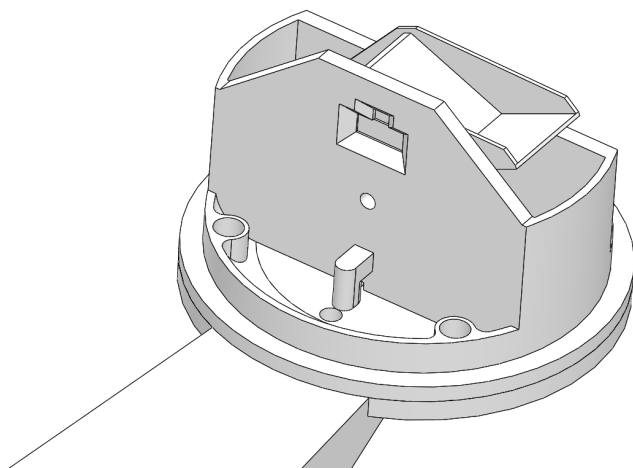
hodnuto nakreslit nový model tímto srážkoměrem inspirovaný a z důvodu úspory materiálu a tiskového času i rozměrově kompatibilní (usazení trychtýře, montážní otvory a kolébka).

Základem celé konstrukce je díl základny sloužící pro uchycení měřícího bistabilního člunku. Střední část zaplavovaná srážkovou vodou má v nejnižším bodě jemnou mřížku, skrz kterou voda odtéká pryč a jejíž malé otvory jsou překážkou pro hmyz. Toto je vidět na obrázku 2.27. U vstupu kabelu je vymodelováno oko, které slouží k zajištění kabelu proti nežádoucímu pohybu pomocí stahovací pásky. Nad vstupem kabelu je umístěna záhlubeň s prostorem pro umístění hallova senzoru A3144, který zajišťuje snímání pohybu bistabilní kolébky. Toto je vidět na obrázku 2.28. Pro kalibraci krajních poloh člunku a tím nastavení množství vody pro překlopení jsou použity šrouby velikosti M3 uchycené do spodní části základny, o jejichž konec se člunek zastavuje. Tyto kalibrační šrouby jsou na obrázku řezu 2.29 vyznačeny tmavě šedou barvou.

Na základnový díl se nasazuje sběrný trychtýř, jehož horní část je rozšířena pro dosažení potřebné sběrné plochy, okraje jsou pak zvýšeny z důvodu eliminace chyby měření způsobené odrazem kapek mimo srážkoměr. Na horním lemu je připraveno



Obr. 2.27: Render mechanismu srážkoměru z boku

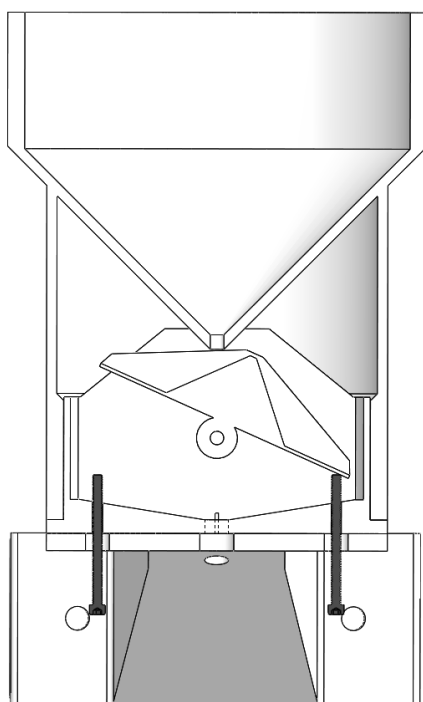


Obr. 2.28: Render mechanismu srážkoměru ze strany pro montáž hallova senzoru

celkem 54 otvorů o průměru 2 mm sloužících pro umístění ostnů proti sedání ptactva. Sběrná plocha trychtýře činí přesně  $100 \text{ cm}^2$ . Na jeden mm srážek tak připadá přesně 10 ml vody. Kolébka je navržena tak, aby se dala zkalibrovat pro překlopení při naplnění 5 ml vody, výsledné rozlišení je tedy 0,5 mm srážek. Srážkoměry obvykle používané profesionálními meteorology mají sběrnou plochu  $500 \text{ cm}^2$  a rozlišení 0,1 mm srážek [2], takže pracují také s objemem 5 ml vody na jedno překlopení člunku. Výroba takto velkého sběrného trychtýře v celku je však na běžné 3D tiskárně v podstatě nemožná a jeho velikost by byla pro zamýšlené umístění již nepraktická. Případný člunek s větší citlivostí by pak byl náchylnější k otřesům způ-

sobeným například větrem. Rozlišení 0,5 mm srážek tak bylo zvoleno jako rozumný kompromis. Počet naměřených pulzů je hned ve skriptu v meteostanici dělen dvěma, zaznamenáván tak je přímo údaj v milimetrech srážek. Ve sběrném trychtýři není umístěn žádný filtr nečistot, protože by voda na něm zůstávající způsobovala chybu měření. Celý mechanismus je tak třeba stejně jako u profesionálních srážkoměrů pravidelně čistit.

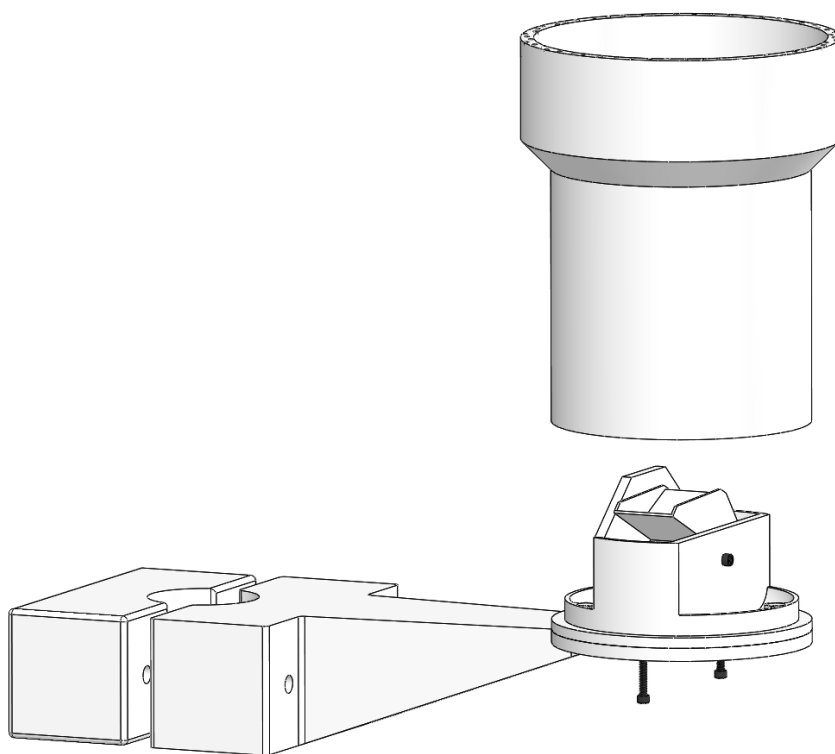
Bistabilní člunek má ve špici připravené zahlobení pro umístění magnetu. Kapacita obou misek je zmenšena pomocí zkosené přepážky, čímž bylo dosaženo vyšší citlivosti mechanismu, protože se přitékající voda dostává dále od osy překlápění. Svislý řez srážkoměrem na obrázku 2.29 přibližuje princip funkce celého mechanismu tohoto člunkového srážkoměru.



Obr. 2.29: Render řezu srážkoměrem

Ke srážkoměru byl dále navržen držák na stožár o průměru 42 mm skládající se opět ze dvou částí spojených pomocí závitových tyčí velikosti M6. Model celého srážkoměru je na obrázku 2.30.

Všechny díly byly opět vytištěny z materiálu PETG bílé barvy. Sběrný trychtýř byl tištěn bez podpor položený na podložku horním límcem, výška vrstvy byla 0,20 mm. Základna srážkoměru byla tištěna na spodní straně opět bez podpor s výškou vrstvy také 0,20 mm. Bistabilní člunek byl tištěn s podporami vodorovné části ve vodorovné poloze, výška vrstvy byla 0,15 mm pro omezení zachytávání kapek



Obr. 2.30: Render kompletního srážkoměru

vody. Oba díly držáku pak byly tištěny bez podpor s výškou vrstvy 0,30 mm pro zkrácení tiskové doby.

Nejprve byl bistabilní člunek očištěn od podpěr a byl do jeho vrchní části vlepen válcový neodymový magnet o průměru necelých 5 mm a tloušťce necelé 2 mm (prodáváný jako 5 mm průměr a 2 mm tloušťka). Jeho otočení je nutno před zalepením (použito lepidlo E8000) ověřit, protože použitý hallův senzor je citlivý na orientaci pólů magnetu, stejně jako tomu bylo u anemometru. Následně byl člunek uchycen do základny pomocí šroubu velikosti M3 délky 40 mm a příslušné matice M3. Šroub je nutno úplně nedotahovat, protože by došlo k prohnutí stěn základny a člunek by se nemohl volně pohybovat. Následně byla základna uchycena ke stožárovému držáku pomocí tří šroubů velikosti M3 délky 10 mm a příslušných matic, které byly předem vloženy do šestihranných zahlbubení ve stožárovém držáku. Následně byly zespodu do připravených otvorů částečně zamontovány dva kalibrační šrouby velikosti M3 délky 40 mm.

Oba díly stožárového držáku byly spojeny pomocí dvou kusů závitové tyče velikosti M6 o délce 150 mm, příslušných matic a velkoplošných podložek (po 4 ks) podobně jako v případě držáku anemometru a meteorologické budky.

Do připravených otvorů v horním lemu sběrného trychtýře byly následně pomocí



malého kladiva zaraženy ostny proti ptactvu. Bylo rozhodnuto osadit pouze 2/3 z celkových 54 otvorů, tj. 36 ostnů. Z důvodu minimalizace ovlivnění měření byly vynechány ostny směřující nad sběrnou plochu. 5 cm dlouhé ostny byly nařezány z 2mm svářecího drátu z nerezové oceli, jejíž použití je nutné z důvodu eliminace koroze ve venkovním prostředí. Trychtýř byl po vložení a zapojení senzoru (viz další odstavce) nasunut na základnu.

## 2.8.2 Zapojení senzoru

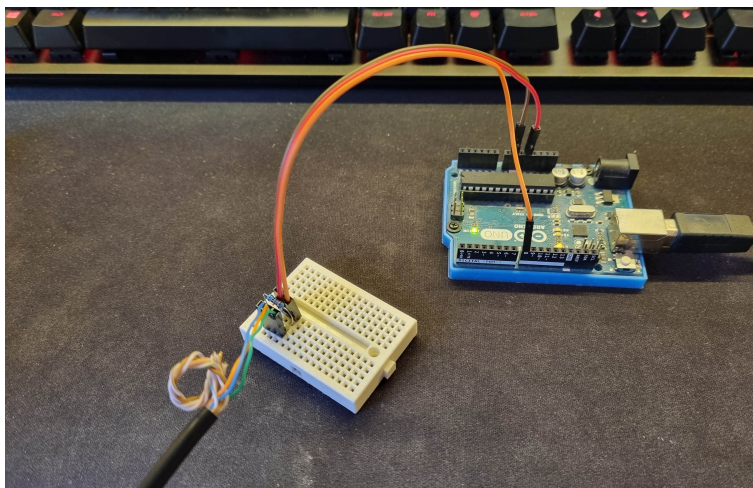
Pro snímání překlopení bistabilního člunku zde byl použit stejně jako v případě anemometru hallův senzor A3144. Nejprve byly vhodně vytvarovány jeho vývody tak, aby senzor zapadl do připraveného prostoru vývody dolů a popisem směrem ke člunku. Zde byl následně uchycen pomocí malé kapky UV vytvrditelného transparentního laku, jež byl následně za několik sekund vytvrzen s pomocí UV LED svítilny. Díky tomu bylo zabráněno pohybu senzoru, který mohl být v připravené prohlubni zalit vhodným lepidlem (použito opět E8000). Po vytvrdnutí lepidla byl připraveným otvorem v základně prostrčen UTP kabel, odstraněno několik centimetrů pláště a tři použité vodiče připájeny k senzoru a zaizolovány pomocí teplem smrštitelných bužírek, stejně jako v případě anemometru. Vzhledem k tomu, že senzor je upevněn popisem směrem ke člunku, je připojení následovně zleva: DATA (zelený vodič), GND (modrý vodič), 5V (oranžový vodič). Kabel byl následně upevněn proti nežádoucímu pohybu pomocí stahovací pásky a připraveného oka. Pohled na upevněný a zapojený senzor je na obrázku 2.31.



Obr. 2.31: Upevnění a připojení hallova senzoru A3144 ve srážkoměru

### 2.8.3 Kalibrace

Po sestavení srážkoměru bylo nutné jej zkalibrovat, aby se člunek převracel co nej-  
přesněji při 0,5 mm nasbírané vody. Počet překlopení lze počítat podle sluchu, ale  
pro zjednodušení počítání byl výstupní kabel od srážkoměru propojen pomocí kon-  
taktivního pole s deskou Arduino UNO, zapojeno bylo napájení (5V a GND) a pin  
DATA senzoru na libovolný digitální pin Arduina. Zde je nutné nezapomenout na  
připojení pull-up rezistoru (přesná hodnota není příliš podstatná, byl použit rezistor  
s odporem o velikosti 10 k $\Omega$ ) mezi 5V a DATA, který uvádí potenciál pinu DATA na  
logickou 1 v případě vzdáleného magnetu, senzor jej pak při blízkosti magnetu sráží  
na logickou 0. Provizorní zapojení je zachyceno na obrázku 2.32. V softwaru Arduino  
IDE byl napsán jednoduchý program počítající pulzy na zvoleném vstupním pinu  
a vypisující jejich počet na konzoli.



Obr. 2.32: Zapojení srážkoměru k desce Arduino UNO pro provedení kalibrace

Následně byl srážkoměr uchycen na konzoli přesně vyrovnanou pomocí vodováhy.  
Pod srážkoměr byla umístěna mísa zachytávající vyteklou vodu. Do kuchyňské od-  
měrky bylo odměřeno přesně 300 ml vody, což odpovídá 30 mm srážek. Tj. při  
rozlišení 0,5 mm srážek by se měl člunek srážkoměru překlopit přesně 60krát. Oba  
šrouby je nutné zamontovat stejně hluboko, aby bylo měření symetrické. Vhodná  
výchozí poloha je taková, kdy je stěna člunku přibližně ve vodorovné poloze. Na  
základnu srážkoměru byl nasunut sběrný trychtýř (zde byl pro svou menší velikost  
použit ten zbylý z testování původního modelu). Voda z odměrky byla postupně  
přelévána do menší misky, ze které byla po kapkách nalévána do srážkoměru. Po  
nalití celého odměřeného objemu byl zkontolován počet pulzů. Když byl příliš nízký,  
byly kalibrační šrouby více zamontovány do srážkoměru (opět symetricky), v pří-  
padě příliš velkého počtu pulzů byly kalibrační šrouby trochu vymontovány. Tento

postup byl několikrát opakován až do stavu, kdy po nalití 300 ml bylo zaznamenáno přesně 60 pulzů. Na obrázku 2.33 je zachycen průběh kalibrace. Srážkoměr byl úspěšně zkalibrován, čímž byl dokončen a připraven k montáži.



Obr. 2.33: Průběh kalibrace srážkoměru

## 2.9 Montáž meteostanice

Na obrázku 2.34 jsou všechny komponenty meteostanice připravené k montáži na místo určení - centrální jednotka, rozvodný box, kombinovaný senzor BME280 v meteorologické budce, anemometr a srážkoměr. Jak již bylo rozebráno v kapitole 1.3, meteostanice bude umístěna na anténní držák za oknem panelového domu. Pro co největší minimalizaci vlivu blízké budovy byl pro umístění senzorů použit výložník o délce 100 cm, výsledná vzdálenost senzorů od pláště budovy je tak přibližně 150 cm.

Nejprve byl ke stožáru uchycen výložník, který ale nebyl dotažen, aby mohl být otočen do okna. K němu byly pomocí vhodného klíče uchyceny všechny tři senzory. Nejdále od budovy a nejvýše byl umístěn anemometr, aby byl co nejméně blokován ostatními senzory. Nejnižší byl naopak umístěn srážkoměr, který je nejvyšší a zbytečně by blokoval anemometr. Kabele byly upevněny k výložníku pomocí stahovacích





Obr. 2.34: Hotové komponenty meteostanice před montáží na místo určené

pásek, u senzorů byla ponechána malá rezerva. Výsledné provedení je na obrázku 2.35. Výložník byl natočen do finální polohy a dotažen ke stožáru.

Pomocí vhodného klíče byla na stožár upevněna centrální jednotka, která byla nasměrována tak, aby mířila mimo budovu a přibližně polovinu obrazu na kameře zabírala obloha. Přesnější doladění proběhlo později po zprovoznění. Před montáží centrální jednotky k ní byl připojen UTP kabel vedoucí z budovy s nakrimpovaným konektorem RJ-45, který zajišťuje připojení k datové síti a napájení meteostanice pomocí PoE.

Dále byl pomocí dvou silnějších stahovacích pásek ke stožáru upevněn vnější díl rozvodného boxu, otočený otvorem dolů. K vnitřní části byly připojeny příslušné kabely podle schématu na obrázku 2.17 a jednotlivé kabely byly upevněny proti vytržení pomocí stahovacích pásek s využitím připravených sloupků. Hlavy stahovacích pásek je nutné umístit ze zadní strany, kde je pro ně zahlobení. V případě umístění zepředu by zabraňovaly zasunutí vnitřní části do krytu. Po kontrole, zda jsou konektory řádně zapojeny a zda nejsou otočeny byla vnitřní vložka vsunuta do krytu a zajištěna pomocí šroubu velikosti M6 délky 20 mm. Montáž meteostanice byla hotová.



Obr. 2.35: Senzory namontované na výložníku



Obr. 2.36: Namontovaná a zapojená meteostanice

## 2.10 Další meteostanice integrované do systému

Vzhledem k tomu, že se projektem online meteostanic zabývám již několik let, byly kromě meteostanice řešené v této práci zprovozněny ještě stanice ve třech dalších lokalitách. První meteostanice systému, umístěná v září roku 2019 v lokalitě Lito-měřice, byla nahrazena stanicí řešenou v této práci.

### 2.10.1 Meteostanice Radobýl

V září roku 2020 byla uvedena do provozu meteostanice v lokalitě Radobýl, nacházející se ve svahu vrchu téhož jména v Českém středohoří. Nadmořská výška lokality je 190 m. Tato stanice je připojena k internetu pomocí technologie WiFi (IEEE 802.11n) a je napájena ostrovním solárním systémem, který je dostatečně předimenzován (50 Wp panel, 12V 35Ah AGM baterie), aby udržel stanici v nepřetržitém provozu i v zimních měsících. Kromě veličin měřených na ostatních stanicích je zde pomocí vodotěsných sond s teploměry DS18B20 měřena i teplota v půdě ve standardizovaných hloubkách (5, 10, 20, 50, 100 cm) a minimální přízemní teplota pomocí obdobné teplotní sondy ve výšce 5 cm nad zemským povrchem. Stanice je postavena na základě desky Raspberry Pi Zero W, použita byla kamera „Raspberry Pi HQ camera“ s širokoúhlým objektivem (obraz je však mírně rozostřen kvůli krytí plexisklem - do budoucna bude vyměněno za tenké sklo). Na fotografii snímané meteostanicí je panorama Českého středohoří i s jeho nejvyšší horou Milešovkou (837 m n. m.). Samotná meteostanice je na obrázku 2.37.

### 2.10.2 Meteostanice Rumburk

V srpnu roku 2021 byla uvedena do provozu další meteostanice, konkrétně v lokalitě Rumburk. Je umístěna v zahradě ve stejnojmenném městě ve Šluknovském výběžku, nejsevernější oblasti Čech. Nadmořská výška lokality je 385 m. Zde je oddělena centrální jednotka s kamerou (deska Raspberry Pi Zero W připojená pomocí Ethernetu a napájena pomocí PoE, stejně jako u řešené stanice) od senzorické části umístěné u země (řízena kontrolérem ESP8266). Centrální jednotka komunikuje se senzorickou částí pomocí bezdrátové technologie WiFi (IEEE 802.11n) a protokolu MQTT. Senzorická část je napájena ostrovním solárním systémem (30 Wp panel, 12V 7Ah AGM baterie) opět dostatečně předimenzovaným pro nepřetržitý provoz v zimních měsících, kdy ze začátku používaný 10 Wp panel nestačil. Kromě standardně měřených veličin je zde přítomen i senzor minimální přízemní teploty. Srážkoměr byl na tuto stanici dodatečně přidán po jeho vývoji v rámci této práce. Dočasné zapojení senzorické části bylo taktéž nahrazeno za DPS vyrobenou v rámci této práce. Senzorická část meteostanice je na obrázku 2.38.





Obr. 2.37: Meteostanice Radobýl



Obr. 2.38: Senzorická část meteostanice Rumburk



### 2.10.3 Meteostanice Šluknov

V říjnu roku 2021 byla uvedena do provozu další meteostanice v lokalitě Šluknov. Stanice je umístěna v zahradě domu. Nadmořská výška lokality je 330 m. Je zde použita identická architektura jako v případě meteostanice Rumburk - oddělená centrální jednotka s kamerou a senzorická část, propojené pomocí WiFi (IEEE 802.11n). Senzorická část meteostanice je na obrázku 2.39.



Obr. 2.39: Senzorická část meteostanice Šluknov

## 2.11 Sběr a uchování naměřených dat

Obecně je třeba vyřešit, jakým způsobem se budou přenášet a kde se budou uchovávat naměřená data. V neposlední řadě je také důležitá možnost naměřená data vhodně zobrazit. Pro účel meteostanic je vhodné uchovávat historická data po neomezeně dlouhou dobu.



### 2.11.1 Komerční cloudové služby

Patrně nejjednodušším řešením je zvolit si a použít některé z hotových cloudových řešení. V tabulce 2.2 je uvedeno několik vybraných cloudových služeb včetně ceny a omezení, která jsou problémem pro zamýšlené užití. Všechny tyto služby podporují vkládání dat pomocí REST API, resp. pomocí protokolu HTTP. Tučně jsou zvýrazněny nejdůležitější omezení, které v podstatě znemožňují jejich použití pro zamýšlený účel.

Tab. 2.2: Porovnání parametrů vybraných cloudových služeb

| Služba                       | Cena         | Omezení pro zamýšlené užití                                |
|------------------------------|--------------|--|
| Thingspeak.com FREE          | zdarma       | maximálně <b>4 kanály</b> , maximálně 10 milionů zpráv     |
| Thingspeak.com HOME          | 95 USD/rok   | maximálně 10 kanálů, maximálně 100 milionů zpráv           |
| Ubidots.com STEM             | zdarma       | maximálně <b>3 zařízení</b> , zachování dat <b>1 měsíc</b> |
| Ubidots.com IoT Entrepreneur | 49 USD/měsíc | maximálně 25 zařízení, zachování dat <b>2 roky</b>         |
| Blynk.io FREE                | zdarma       | maximálně <b>2 zařízení</b> , zachování dat <b>1 týden</b> |
| Blynk.io PLUS                | 5 USD/měsíc  | maximálně 10 zařízení, zachování dat <b>3 měsíce</b>       |
| Tmep.cz                      | zdarma       | maximálně <b>3 zařízení</b>                                |

zdroje: [26] [27] [28] [29] [30] [31]

Jak je vidět ve srovnávací tabulce výše, tyto cloudové služby pojí mnohá nepřijemná omezení. Bezplatné služby mají často velmi nízký limit pro počet zařízení a někdy i velmi krátkou dobu uchování dat. Placené služby mají často limity výrazně vyšší, avšak pravidelné měsíční nebo roční poplatky jsou pro účel neprofesionálních meteostanic velmi vysoké. Způsoby zobrazení uložených dat bývají obvykle také výrazně omezeny, nelze je často upravit do vhodného stavu.

Žádná z uvažovaných cloudových služeb také nepodporuje zamýšlený přenos fotografií z kamery, což by muselo být řešeno další separátní službou.

Patrně největší nevýhodou těchto komerčních cloudů je však plná závislost celého systému na jejich funkčnosti, která je z hlediska uživatele v podstatě neovlivnitelná. Vybraná služba může být klidně z hodiny na hodinu vypnuta, její funkčnost není s výjimkou nejdražších enterprise služeb nabízejících SLA (Service Level Agreement) nijak garantována. Mimo to může kdykoli dojít ke změně podmínek užití, zavedení nebo navýšení měsíčních poplatků, změně parametrů atd.

Z těchto důvodů se použití komerčních cloudových služeb ukazuje jako velmi nevhodné pro účel systému meteostanic. Jejich použití tak bylo zavrženo a další postup směřoval k vývoji a nasazení vlastní služby, jejíž provoz je plně pod kontrolou správce systému. Tím jsou eliminovány všechny podstatné nevýhody komerčních cloudových služeb. V případě provozu serverové části na vlastním energeticky úsporném hardwaru je jediným přidaným pravidelným provozním nákladem cena spotřebované elektrické energie, která je v poměru k cenám vhodných placených cloudových

služeb v podstatě zanedbatelná. Vše je navíc jednoduše modifikovatelné, což také není u cloudových služeb obvykle možné.

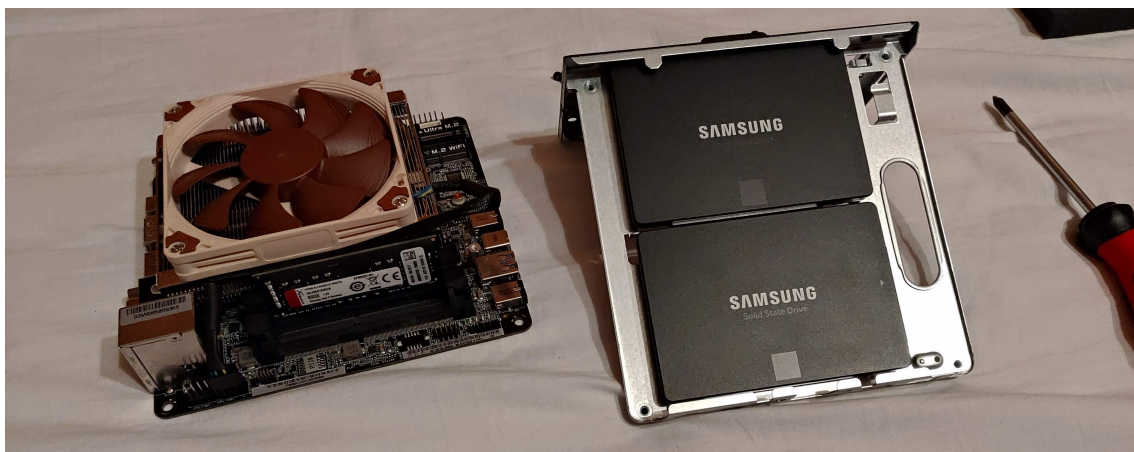
### 2.11.2 Řešení vlastní serverové služby

Z důvodů popsaných v předchozí kapitole bylo rozhodnuto o vývoji serverové služby pro sběr a ukládání dat. Jako velmi vhodný základ se jeví tzv. sada LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP), dnes nejrozšířenější řešení webserveru, složené ze svobodného softwaru. Linux je operační systém, na kterém webserver poběží, Apache je software plnící funkci HTTP serveru, MySQL je databázový systém pro uchovávání dat, PHP je server-side skriptovací jazyk. Použitím webserveru bude vyřešeno kromě sběru a uchovávání dat i webové rozhraní pro zobrazení naměřených dat. Tento webserver lze jednoduše nasadit jak na vlastním hardwaru, tak lze využít některé z mnoha komerčních nabídek hostingů pro provoz v datacentru. Přenos dat z meteostanic do databáze bude probíhat pomocí HTTP požadavků typu POST s využitím PHP skriptu na straně webserveru, který data předá databázi.

### 2.11.3 Webserver na vlastním hardware

Kvůli vyšší kontrole nad provozem a v poslední řadě i nižší provozní ceně byl zvolen provoz webserveru na vlastním energeticky úsporném hardware. Tento stroj je postaven na dvoujádrovém/čtyřvláknovém CPU AMD Athlon 200GE s architekturou Zen (x86 64bit), operační paměť typu DDR4 má kapacitu 16 GB a jako úložiště slouží dva SSD disky Samsung 860 EVO s kapacitou 500 GB spojené v pole RAID 1 (zrcadlení pro vyšší spolehlivost) pomocí Btrfs (B-tree file system). Jako základ je použit barebone ASRock Deskmini A300. Reálný pohled na hardware serveru při sestavování je na obrázku 2.40. Celý server má v reálném provozu odběr mezi 9 a 10 W naměřený na zásuvce 230 V, množství (a tím i cena) spotřebované energie je tak velmi nízké. Při uvažované ceně 5 Kč za kWh se jedná o částku okolo 400 Kč za rok provozu celého serveru.

Vzhledem k tomu, že systém meteostanic není jedinou aplikací, pro kterou je daný server používán, byl nejprve nainstalován hypervisor Proxmox VE (Virtual Environment), na němž běží jednotlivé virtuální systémy včetně OS Ubuntu Server (linuxová distribuce založená na Debianu), který je zde použit pro provoz webserveru LAMP. Přiřazené prostředky této VM (Virtual Machine) jsou 4 sdílená logická CPU jádra, 4 GB RAM, 64 GB SSD. Pro větší bezpečnost je síť s tímto systémem oddělena od domácí LAN s pomocí VLAN (Virtual Local Area Network). V této síti pak kromě webserveru bude i řešená meteostanice - jediné, na čem tedy bude provoz této konkrétní stanice závislý, je dodávka elektrické energie v této lokalitě. Konektivita do internetu je v lokalitě ucházející, připojení je realizováno jako FTTH (Fibre



Obr. 2.40: Hardware vlastního serveru

To The Home) přípojka na technologii GPON (Gigabit Passive Optical Network) s přenosovými rychlostmi přibližně 940 Mbps jak na downlinku tak na uplinku, což je reálné maximum gigabitového Ethernetu. Pro snadnější přístup k webovému rozhraní a možnost použití HTTPS bylo pro systém meteostanic zakoupeno doménové jméno druhého řádu [onlinemeteo.eu](http://onlinemeteo.eu).

V této práci nebude detailně rozebírán postup instalace a konfigurace webového serveru, protože materiálů k tomuto tématu je k dispozici mnoho. Do operačního systému Ubuntu Server byl nainstalován webserver Apache2, databázový server MySQL a interpreter jazyka PHP verze 7. Pro jednodušší správu databází byl doinstalován software phpMyAdmin. Pro hlavní web i stránky jednotlivých meteostanic byly nakonfigurovány jednotlivé „site“ rozlišené podle subdomén a pro každou z meteostanic byla založena databáze s datovou tabulkou. Byl zprovozněn zabezpečený přístup přes HTTPS s pomocí utility certbot, zajišťující pravidelnou obnovu bezplatných certifikátů Let's Encrypt. Při pokusu o nezabezpečený přístup pomocí HTTP je uživatel automaticky přesměrován na protokol HTTPS. Byl nastaven přístup pomocí HTTP2, což přináší mimo jiné větší rychlost webserveru oproti starší první verzi protokolu HTTP, s níž je však zachována zpětná kompatibilita. Pro ochranu před pokusy o napadení jsou do Apache webserveru implementovány pomocné balíčky `mod_evasive` (ochrana proti DDoS) a `mod_security` (ochrana proti útoku hrubou silou systémem fail to ban). Na hlavním routeru s veřejnou statickou IPv4 adresou provádějícím NAT (Network Address Translation) jsou přesměrovány příchozí TCP porty 80 (HTTP) a 443 (HTTPS) na IP adresu webserveru. Přístup přes IPv6 k serveru není bohužel možný, protože poskytovatel internetového připojení Nej.cz tento moderní protokol bohužel stále nepodporuje. Po zřízení nové FTTH přípojky lokálního ISP, který IPv6 již několik let podporuje, je v plánu zprovoznění přístupu i přes tento síťový protokol.

#### 2.11.4 Přenos dat z meteostanice do databáze

Po zvážení všech okolností bylo rozhodnuto odesílat data z meteostanic každých celých 5 minut. Kratší interval by byl již z hlediska naměřených dat neměl smysl a zbytečně by zatěžoval síť i server, při delším intervalu by pak nebyla zobrazovaná data tolik aktuální, protože někdy dochází i k rychlým skokovým změnám některých měřených veličin. Zvolený interval 5 minut se ukázal být rozumným kompromisem.

Přenos dat je v meteostanici plánován pomocí daemonu Cron a je vyladěn tak, aby přenos probíhal co nejpřesněji každých celých 5 minut. Na straně meteostanice je vyčtení dat ze senzorů a odeslání HTTP POST požadavku s daty zajištěno pomocí programu napsaného v jazyce Python. Na straně serveru jsou tato data zpracována PHP skriptem, který zajistí jejich vložení do MySQL databáze. V případě navrhované meteostanice je přenos dat prováděn přes lokální doménové jméno a nešifrovaný protokol HTTP (funkčnost HTTPS je závislá na připojení k internetu, resp. k serverům Let's Encrypt), čímž je zajištěna funkčnost i v případě výpadku internetového připojení. Sběr dat z ostatních meteostanic umístěných mimo lokální síť je ale prováděn přes šifrovaný protokol HTTPS, což zabraňuje úpravě dat třetí stranou během přenosu veřejným internetem a případnému odesílání neplatných dat třetí stranou. Kromě správné struktury zprávy je pro úspěšné vložení dat do databáze nutná znalost jedinečné sekvence znaků (API klíč), která slouží pro autentizaci příchozí zprávy.

## 2.12 Software meteostanice

### 2.12.1 Instalace OS

Z oficiálního webu Raspberry Pi [22] byl stažen ke dni instalace aktuální obraz systému s názvem „Raspberry Pi OS Lite“ (verze 2022-01-28). Jedná se o 32bitový operační systém založený na systému Debian 11 (Bullseye), který je určen přímo pro mikropočítače Raspberry Pi založené na architektuře armhf. Systém s označením „Lite“ v názvu se vyznačuje nenáročností a malou velikostí, protože neobsahuje GUI (grafické uživatelské rozhraní) ani další přidaný software. Tímto se liší od „Desktop“ verze, jejíž použití by zde bylo zbytečným plýtváním hardwarovými prostředky.

Jako systémový disk pro desku Raspberry Pi byla zvolena microSDHC karta s kapacitou 16 GB s třídou rychlosti Class 10 (model Kingston SDCS/16GB), stačila by však i poloviční kapacita (nyní je však 16GB varianta prodávána za nižší cenu).

S pomocí svobodného softwarového nástroje Win32DiskImager určeného pro OS Windows byl stažený soubor obrazu \*.img zapsán na microSD kartu. Po dokončení nahrávání byl v oddílu „boot“ (přístupný z OS Windows) vytvořen prázdný soubor

s názvem „ssh“, který po prvním bootu zapne přístup pomocí protokolu SSH. Tímto je vyřešen tzv. headless přístup do systému přes síť bez potřeby připojení monitoru a klávesnice, případně sériové konzole.

Takto připravená karta byla vložena do slotu připraveného na použité desce Raspberry Pi Zero umístěné v centrální jednotce (vhodné provést ještě před její kompletací).

## 2.12.2 Základní konfigurace OS

Po připojení datového kabelu s PoE byla v administračním rozhraní hlavního routeru nalezena IPv4 adresa desky Raspberry Pi, která byla přidělena DHCP serverem (Dynamic Host Configuration Protocol). Pro lepší identifikaci je vhodné nastavit v konfiguraci DHCP tzv. static lease, aby meteostanice dostala vždy stejnou IPv4 adresu mimo rozsah DHCP poolu, což se projeví po odpojení a připojení přírodního síťového kabelu nebo restartu.

Pro připojení ke konzoli operačního systému meteostanice byl použit svobodný softwarový nástroj PuTTY pracující v OS Windows. Po zadání příslušné IP adresy meteostanice bylo otevřeno připojení na standardním TCP portu 22. Ihned po přihlášení uživatelským jménem „pi“ a defaultním heslem „raspberry“ bylo toto heslo z bezpečnostních důvodů změněno pomocí nástroje `passwd`.

Následně byly spuštěny příkazy `sudo apt-get update` a `sudo apt-get upgrade` pro aktualizaci systému a systémových nástrojů. Po jejich dokončení bylo příkazem `sudo raspi-config` otevřeno konfigurační menu. Zde bylo v záložce „Interface Options“ provedeno nastavení položek „Legacy Camera“ a „I2C“ na hodnotu Enable. V záložce „Localisation Options“ byl v položce „Locale“ nastaven parametr `cs_CZ.UTF-8` a v položce „Timezone“ pak hodnota Evropa, Praha. Poté bylo nastavení uloženo pomocí volby „Finish“ a operační systém byl restartován.

Pro umožnění odesílání dat k serveru pouze přes LAN i v případě výpadku internetové konektivity byl pomocí příkazu `sudo nano /etc/hosts` editován systémový soubor, na jehož konec byl přidán řádek, díky kterému je doménové jméno „litomerice.onlinemeteo.local“ (v konfiguraci webserveru přidáno jako alias) v systému překládáno na IPv4 adresu 10.10.10.20, tj. na adresu serveru:

```
10.10.10.20 litomerice.onlinemeteo.local
```

Pro ukládání vyfoceného obrázku z kamery bylo rozhodnuto použít RAMdisk vytvořený souborovým systémem tmpfs, protože by v případě periodického zápisu obrázku na systémový disk, resp. microSD kartu, hrozilo rychlé opotřebení a poškození paměti. V příkazovém řádku bylo přepnuto do domovského adresáře uživatele „pi“ pomocí příkazu `cd` a pomocí příkazu `mkdir ramdisk` byl vytvořen adresář pro

připojení RAMdisku. Pomocí příkazu `sudo nano /etc/fstab` byl editován systémový soubor, na jehož konec byl přidán řádek:

```
tmpfs /home/pi/ramdisk tmpfs rw,size=10M 0 0
```

Po restartu pomocí příkazu `sudo reboot now` byl vytvořen RAMdisk s velikostí 10 MB (pro jednu fotografii dostatečné i s rezervou), připojený do adresáře „/home/pi/ramdisk“. Toto lze ověřit pomocí příkazu `df -h`, na jehož výstupu by měl být řádek, indikující přítomnost vytvořeného RAMdisku:

```
tmpfs                10M      0   10M   0% /home/pi/ramdisk
```

V dalším kroku bylo prověřeno připojení senzorů na sběrnici I<sup>2</sup>C. Pomocí příkazu `sudo apt-get install -y i2c-tools` byl nainstalován nástroj pro skenování připojených zařízení na této sběrnici. Po provedení příkazu `i2cdetect -y 1` by se měla vypsát následující tabulka:

|     | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | a  | b  | c  | d  | e  | f  |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 00: |    |    |    |    |    |    |    |    | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 10: | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 20: | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 30: | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 40: | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 50: | 50 | 51 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 60: | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 70: | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 76 | -- |    |    |    |    |    |    |    |    |

Hexadecimální adresa „50“ patří čítači srážek, adresa „51“ čítači anemometru, adresa „76“ pak senzoru BME280. Pokud by se nezobrazovala adresa senzoru BME280, bylo by třeba prověřit jeho připojení k rozvodné DPS, pokud by se nezobrazovala adresa žádného zařízení, bylo by třeba prověřit propojení desky Raspberry Pi Zero a rozvodné DPS.

Následně byl pomocí příkazu `sudo apt-get install python3-pip` nainstalován package manager „pip“. Poté byl s jeho pomocí nainstalován balíček „setuptools“ pomocí příkazu `sudo pip3 install --upgrade setuptools`.

Pomocí příkazu `sudo pip3 install adafruit-circuitpython-bme280` pak byl nainstalován balíček s knihovnami pro použití senzor BME280 [32].

### 2.12.3 Python script

Pro řešení vyčítání dat ze senzorů a jejich odeslání k serveru pomocí metody HTTP POST byl zvolen open source programovací jazyk Python. Jedna z mnoha výhod tohoto jazyka je ta, že nevyžaduje kompilaci - zdrojový kód je tedy přímo spouštěn příslušným interpretem.

Pro vyčítání dat z čítače PCF8583 není knihovna pro Python k dispozici. Na webu [33], zabývajícím se konstrukcí časoměry s obvodem PCF8583, byl nalezen zdrojový kód mimo jiné ovládající tento obvod. Na základě tohoto kódu byla vytvořena následující funkce readcounter, která zajišťuje nastavení obvodu do režimu čítače, vyčtení naměřeného počtu pulzů z registrů a reset registrů do nulového stavu. Zajímavostí tohoto obvodu je zapisování nasnímaného počtu pulzů do registrů v desítkové soustavě, v jednom registru o velikosti 1 Byte (8 bit) jsou uloženy dvě číslice desítkové soustavy, každá pomocí 4 bitů. Po vyčtení hodnot z registrů a výpočtu celkového počtu naměřených impulzů je do příslušného registru zapsána hodnota určující pracovní režim obvodu PCF8583 na „EVENT COUNTER“, což je důležité provést zejména po případném výpadku elektrické energie.

Výpis 2.1: Funkce pro vyčítání a nulování čítačů PCF8583

```
1 import smbus
2 import RPi.GPIO as GPIO
3
4 GPIO.setwarnings(False)
5 GPIO.setmode(GPIO.BCM)
6 bus = smbus.SMBus(1)
7
8 def readcounter(address):
9     try:
10         counter = bus.read_i2c_block_data(address,0x00) #čtení registrů
11         rad1 = (counter[1] & 0x0F) #počet jednotek
12         rad10 = (counter[1] & 0xF0) >> 4 #počet desítek
13         rad100 = (counter[2] & 0x0F) #počet stovek
14         rad1000 = (counter[2] & 0xF0) >> 4 #počet tisíců
15         rad10000 = (counter[3] & 0x0F) #počet desetitisíců
16         rad100000 = (counter[3] & 0xF0) >> 4 #počet stotisíců
17         count = (rad100000 * 100000) + (rad10000 * 10000) + (rad1000 *
18         1000) + (rad100 * 100) + (rad10 * 10) + rad1
19         bus.write_byte_data(address,0x00,0x20) #set EVENT COUNTER mod
20         bus.write_byte_data(address,0x01,0x00) #vynuluje první registr
21         bus.write_byte_data(address,0x02,0x00) #vynuluje druhý registr
22         bus.write_byte_data(address,0x03,0x00) #vynuluje třetí registr
23     except:
24         count = -1 #vrátí -1 v případě chyby
25     return count
```

Pro vyčítání dat ze senzoru BME280 je použito již předpřipravené knihovny „adafruit\_bme280“ použité podle informací z webu autorů této knihovny [32]. Rozdíl byl v I<sup>2</sup>C adrese použitého senzoru, která se liší od modulu vyráběného firmou Adafruit, která je autorem knihovny, a musela tak být v kódu manuálně nastavena na hodnotu 0x76. Pro případ chyby při čtení dat ze senzoru jsou nastaveny defaultní nereálné hodnoty, aby byl případný problém v grafech jasně zřetelný.

Výpis 2.2: Vyčítání dat ze senzoru BME280

```
1 import board
2 from adafruit_bme280 import basic as adafruit_bme280
3 import busio
4
5 try:
6     i2c = busio.I2C(board.SCL, board.SDA)
7     bme280 = adafruit_bme280.Adafruit_BME280_I2C(i2c, address = 0
8         x76)
9     temperature = bme280.temperature
10    local_pressure = bme280.pressure
11    humidity = bme280.humidity
12 except:
13     temperature = 100
14     local_pressure = 2000
15     humidity = 200
```

Dále je ve scriptu řešen přepočet tlaku na hladinu moře pomocí v proměnné zadané nadmořské výšky podle vzorce 1.1, stejně tak je zde proveden i výpočet rosného bodu podle vzorce dostupného zde [34].

Výpis 2.3: Přepočet tlaku a výpočet rosného bodu

```
1 import math
2
3 elevation = 220
4 pressure = local_pressure / pow(1 - ((0.0065 * elevation) / (
5     temperature + (0.0065 * elevation) + 273.15)), 5.257)
6
7 dew_point = (243.5*math.log((humidity/100)*math.exp((17.67*
8     temperature)/(243.5+temperature))))/(17.67-math.log((humidity
9     /100)*math.exp((17.67*temperature)/(243.5+temperature))))
```

Poté je s pomocí utility `raspistill` do RAMdisku uložen aktuální pohled z meteo stanice s přidáním časovým razítkem. Nakonec je pomocí knihovny „requests“ a její metody „post“ odeslán řetězec vytvořený z naměřených dat (součástí URL, výhodou oproti použití parametrů POST je viditelnost naměřených dat v logu web-serveru, což usnadňuje případné debugování) a přiložený soubor s aktuální fotografií



k php scriptu na serveru metodou HTTP POST, v tomto případě konkrétně na adresu „http://litomerice.onlinemeteo.local/dataaddscript.php“. V případě ostatních meteostanic umístěných mimo lokální síť serveru je použit z bezpečnostních důvodů protokol HTTPS a doménové jméno webového rozhraní konkrétní meteostanice, např. „https://radobyl.onlinemeteo.eu/dataaddscript.php“. Z bezpečnostních důvodů byl název PHP scriptu změněn, stejně tak byl jedinečný API klíč nahrazen řetězcem „APIKEY“.

Výpis 2.4: Vytvoření fotografie a odesílání dat k PHP scriptu na serveru

```
1 import requests
2 import os
3
4 os.system("raspistill -rot 180 -w 1920 -h 1080 -n -q 30 -br 55 -a
    1036 -a \"%d.%m.%Y %H:%M:%S\" -ae +40+40 -o /home/pi/ramdisk/
    camera.jpg")
5
6 files = {'cameraimage': open('/home/pi/ramdisk/camera.jpg', 'rb')}
7
8 resp = requests.post(url="http://litomerice.onlinemeteo.local/
    dataaddscript.php?piapikey=APIKEY&temperature=" + str(round(
    temperature,1)) + "&pressure=" + str(round(pressure,1)) + "&
    local_pressure=" + str(round(local_pressure,1)) + "&humidity=" +
    str(round(humidity,1)) + "&dew_point=" + str(round(dew_point,
    1)) + "&raingauge=" + str(raingauge) + "&anemometer=" + str(
    anemometer), files=files)
```

Kompletní script, v meteostanici uložený jako /home/pi/script/script.py, řešící čtení a odesílání dat je k dispozici v příloze.

## 2.12.4 Síťový watchdog

V jedné z lokalit, kde je umístěná meteostanice, dochází při bouřkách k častým krátkým výpadkům dodávek elektrické energie. To v některých situacích vedlo k „zamrznutí“ meteostanice, kdy jediným řešením bylo manuálně resetovat napájení. Toto pravěpodobně nastalo v případě tzv. brownoutu, tj. chvilkového snížení napětí v síti. Poté, co se tento stav několikrát opakoval (jarní bouřky), bylo rozhodnuto problém diagnostikovat. Meteostanice nebyla po síti vůbec dostupná - po výpadku sice požádala DHCP server o IP adresu, ale v síti dále vůbec nereagovala. Tento problém nevyřešila ani statická konfigurace síťových parametrů, nebyl tak možný přístup ke konzoli pomocí protokolu SSH. V případě této meteostanice byl náhradní přístup ke konzoli poměrně jednoduchý, pro připojení přes SSH byla použita síť WiFi vysílaná použitou deskou Raspberry Pi Zero W, jejímž primárním účelem je v daném případě připojení senzorické části. Bylo zjištěno, že zatímco mikropočítač Raspberry Pi se

při výpadku restartoval, USB síťová karta (s chipsetem RTL8152) se při výpadku dostala do zatuhlého stavu, tj. nekomunikovala se sítí. Vzhledem k tomu, že napájení USB portu použitého síťovou kartou je v případě této desky softwarově ovladatelné, byl napsán jednoduchý bash script uložený jako soubor `/home/pi/script/netwatchdog.sh`, který je v pravidelných intervalech spouštěn pomocí daemonu Cron. Tento script kontroluje ping (ICMP odezvu) na definovanou IP adresu (zde adresa výchozí brány, resp. routeru), v případě čtyř výpadků pingu pak vypne napájení síťové karty a po 10 sekundách jej znovu zapne.

Výpis 2.5: Bash script zajišťující restart napájení síťové karty po brownoutu

```
1 #!/bin/bash
2 IP=10.10.10.1
3 ping -c 4 $IP &> /dev/null
4 if [[ $? -ne 0 ]]; then
5     echo 0 > /sys/devices/platform/soc/20980000.usb/buspower;
6     sleep 10;
7     echo 1 > /sys/devices/platform/soc/20980000.usb/buspower;
8 fi
9 exit 0;
```

Tímto způsobem je případný problém vzniklý po výpadku napájení automaticky vyřešen a meteostanice tak nevyžaduje manuální restart. Pro možnost spuštění scriptu je nutno nastavit mu příznak oprávnění ke spuštění pomocí příkazu `chmod +x netwatchdog.sh`. Tento watchdog byl nasazen do všech meteostanic připojených pomocí této síťové karty, od té doby se obdobný problém již nevyskytl.

## 2.12.5 Spouštění scriptů pomocí daemonu Cron

Pravidelné spouštění scriptů (Python script, Watchdog) zajišťuje systémový daemon Cron. Pomocí příkazu `sudo crontab -e` je spuštěna editace konfiguračního souboru tohoto daemonu, pokud dochází k prvnímu spuštění, je uživatel předem dotázán na volbu preferovaného textového editoru. Do souboru byly přidány dva následující řádky:

Výpis 2.6: Přidané řádky konfigurace daemonu Cron

```
1 4-59/5 * * * * (sleep 51.0; python3 /home/pi/script/script.py)
2 */30 * * * * /home/pi/script/netwatchdog.sh
```

První řádek zajišťuje pravidelné spouštění python scriptu vyčítajícího a odesílajícího naměřená data každých celých 5 minut, resp. vždy o chvíli dříve (vykonávání nějakou dobu trvá), díky čemuž data na server dorazí krátce po každé celé páté minutě. Druhý řádek pak zajišťuje spouštění bash scriptu watchdogu kontrolujícího dostupnost hlavního routeru v každou celou půlhodinu.

## 2.12.6 Readonly filesystem

Vzhledem k tomu, že životnost microSD karet je patrně nejslabším článkem všech desek Raspberry Pi (s výjimkou nových Compute Module s vestavěnou eMMC pamětí), bylo zkoumáno, jakým způsobem lze co nejvíce zvýšit spolehlivost. Karta microSD je nejvíce opotřebovávána zápisem dat, což je obecný problém pamětí typu flash. Toto zde však není zásadním problémem, při běžném provozu se zápis týká z většiny jen logů, fotografie z kamery se ukládá do RAMdisku (pro omezení zbytečného zápisu na kartu). Zásadní problém nastane v okamžiku výpadku nebo nestability napájení při probíhající zápisu na kartu, kdy může vzniknout porucha integrity dat (corrupt) a systém tak již nenastartuje. Řešením je na kartu vůbec nezapisovat, pouze z ní data číst. K tomu musí dojít k nastavení oddílu boot do režimu readonly (pouze pro čtení) a vytvoření dočasného souborového systému v RAM (overlay filesystem).

Readonly režim lze nastavit v menu otevřeném příkazem `sudo raspi-config`. Pod položkou „Performance Options“ je vybrána možnost „Overlay File System“, na oba dotazy je třeba odpovědět „Ano“. Po následném vynuceném restartu po zvolení tlačítka „Finish“ již mikropočítač restartuje do režimu readonly.

Je třeba pamatovat na to, že jakákoli změna aplikovaná po přepnutí do režimu readonly je dočasná, resp. po restartu se obnoví opět stav z doby přepnutí do readonly. Proto je pro případné budoucí změny nutné nejprve pomocí menu zobrazeného po zadání příkazu `sudo raspi-config` přepnout zpět do běžného režimu a po provedení potřebných úprav přepnout systém opět do režimu readonly.

Režim readonly byl aplikován na všechny meteostanice, které jsou v současnosti v provozu. Od té doby nedošlo ani k jednomu problému s microSD kartami. V době před nasazením readonly režimu byly již dvě karty měněny.

## 2.13 Webserver

Jak již bylo řečeno v kapitole 2.11.3, účelem této práce není do podrobnosti rozebírat instalaci a konfiguraci webserveru ani jeho zabezpečení - pro účely meteostanice lze využít místo lokálního serveru v podstatě jakéhokoli komerčního webhostingu s MySQL databází (nebo obdobnou) a podporou PHP. Proto bude tato kapitola věnována výhradně vlastní webové aplikaci.

Pro každou stanici je vytvořeno samostatné webové rozhraní na vlastní subdoméně, protože je počítáno s tím, že do budoucna by mohlo být používáno i více webserverů (např. přímo v lokalitě u meteostanice). Zároveň je vytvořeno sumarizační webové rozhraní na hlavní doméně, které je skládáno z dat získaných z webů jednotlivých meteostanic (podle seznamu URL adres).

### 2.13.1 Konfigurace databáze

Pro vytvoření a správu databází MySQL byl použit svobodný webový nástroj phpMyAdmin. Pro každou meteostanici je vytvořena databáze (u řešené meteostanice „meteo\_litomerice“) s tabulkou „data“, jejíž struktura je v následujícím výpisu.

Výpis 2.7: Konfigurace tabulky SQL databáze pro ukládání dat

```
1 CREATE TABLE `data` (  
2   `id` int NOT NULL,  
3   `date` timestamp NOT NULL DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,  
4   `temperature` decimal(10,1) DEFAULT NULL,  
5   `pressure` decimal(10,1) DEFAULT NULL,  
6   `local_pressure` decimal(10,1) DEFAULT NULL,  
7   `humidity` decimal(10,1) DEFAULT NULL,  
8   `dew_point` decimal(10,1) DEFAULT NULL,  
9   `raingauge` decimal(10,1) DEFAULT NULL,  
10  `anemometer` decimal(10,1) DEFAULT NULL  
11 ) ENGINE=MyISAM DEFAULT CHARSET=utf8mb3 COLLATE=utf8_czech_ci;  
12  
13 ALTER TABLE `data`  
14   ADD PRIMARY KEY (`id`),  
15   ADD KEY `date` (`date`);  
16  
17 ALTER TABLE `data`  
18   MODIFY `id` int NOT NULL AUTO_INCREMENT;
```

Primárním klíčem je hodnota „id“, jako klíč je však indexována i hodnota data a času „date“, protože to velmi urychlí procházení tabulky a tím i webové rozhraní. Datum a čas je do tabulky automaticky doplňován při vkládání nového řádku.

### 2.13.2 Příjem dat z meteostanice

Příjem dat z meteostanice zajišťuje PHP script s názvem dataaddscript.php (z bezpečnostních důvodů změněno), umístěný v hlavním adresáři webu meteostanice. Po připojení k databázi (odděleno do separátního php souboru, zde pro přehlednost vloženo do výpisu) je zkontrolován API klíč. Pokud odpovídá hodnotě příslušné proměnné (zde opět nahrazeno řetězcem „APIKEY“), jsou z URL vyčtena přijatá data. Funkce strip\_tags() je pro zpracování použita z bezpečnostních důvodů, aby případně odstranila podstrčený zdrojový kód. Následně je sestaven SQL dotaz, vkládající přijatá data do tabulky „data“. Tento dotaz je následně odeslán databázovému serveru. Poté je provedena kontrola a uložení přijaté fotografie - k tomu užitý kód však není pro svou rozsáhlost ve výpisu, je součástí kompletního php scriptu uvedeného v příloze. Obrázek je na serveru stejně jako v meteostanici ukládán na RAMdisk pro omezení periodického zápisu na SSD disk.

Výpis 2.8: Vkládání přijatých dat do MySQL databáze

```

1 <?php
2 $piapikey = "APIKEY";
3 if (strip_tags($_GET["piapikey"]) === $piapikey) {
4     $temperature = strip_tags($_GET["temperature"]);
5     $pressure = strip_tags($_GET["pressure"]);
6     $local_pressure = strip_tags($_GET["local_pressure"]);
7     $humidity = strip_tags($_GET["humidity"]);
8     $dew_point = strip_tags($_GET["dew_point"]);
9     $raingauge = strip_tags($_GET["raingauge"]);
10    $anemometer = strip_tags($_GET["anemometer"]);
11    $connection = new mysqli('127.0.0.1', 'username', 'password', '
        meteo_litomerice');
12    $sql = "INSERT INTO data (temperature, pressure, local_pressure,
        humidity, dew_point, raingauge, anemometer) VALUES (" .
        $temperature . "," . $pressure . "," . $local_pressure . "," .
        $humidity . "," . $dew_point . "," . $raingauge . "," .
        $anemometer . ")";
13    mysqli_query($connection, $sql);
14    mysqli_close($connection);
15
16    // pokračuje zpracováním přijatého obrázku
17 }
18 ?>

```

### 2.13.3 Webové rozhraní meteostanice

Jak již bylo zmíněno, každá meteostanice má své vlastní webové rozhraní na vlastní subdoméně (resp. doméně 3. řádu). Konkrétní meteostanice řešená v tomto projektu je přístupná na adrese <<https://litomerice.onlinemeteo.eu/>>. Toto rozhraní je na obrázku 2.41.

Zdrojové kódy webu byly napsány v jazyce PHP verze 7, webserver z nich vždy generuje kód v jazyce HTML5 zobrazovaný webovým prohlížečem. Pro generování grafů byla zvolena volně dostupná knihovna Google Charts [35] napsaná v jazyce JavaScript, pomocí které jsou ve webovém prohlížeči na základě stažených dat vykreslovány jednotlivé interaktivní grafy.

V horní části webové stránky meteostanice v lokalitě Litoměřice jsou zobrazeny nejdůležitější aktuálně měřené hodnoty, případně maxima/průměry/minima za posledních 24 hodin. V případě řešené meteostanice se jedná konkrétně o datum a čas načtení stránky, aktuální teplotu vzduchu, maximální/průměrná/minimální teplota vzduchu, aktuální tlak přepočtený na hladinu moře, aktuální tlak na stanici/tlaková tendence (rozdíl aktuálního tlaku a hodnoty naměřené před 3 hodinami), čas

od poslední aktualizace dat, relativní vlhkost, teplotu rosného bodu, rychlost větru (průměr za 1 hodinu/24 hodin) a srážkový úhrn (suma za 1 hodinu/24 hodin).

Dále je zobrazena aktuální fotografie z meteostanice s časovou značkou. Horní polovinu fotografie zabírá obloha, kde lze pozorovat například oblačnost. V dolní části je pak snímán terén, kde je možné spatřit např. sněhovou pokrývku.

Pod fotografií je umístěn blok s grafy, jejichž časové rozmezí lze přepínat pomocí karet v horní části. Defaultně je zvoleno zobrazování dne, tj. všech měření za posledních 24 hodin. V případě týdne jsou zobrazovány průměry (resp. součet v případě srážek) vždy po celých hodinách za poslední týden. V případě měsíce je maximum/průměr/minimum vztaženo vždy k celému dni, zobrazen je poslední měsíc. V případě roku jsou data sumarizována po celých měsících, zobrazen je poslední rok. V případě volby století není rozsah limitován, data jsou sumarizována po celých letech. V případě řešené meteostanice byla do databáze převedena data teploty a tlaku z předchozí vývojové verze meteostanice, která byla v provozu od září roku 2019 do letošní výměny za novou verzi (březen 2022) - proto jsou pro tyto veličiny již k dispozici kompletní data za celé roky 2020 a 2021.

Pro zobrazování teploty, tlaku a vlhkosti byl použit liniový graf. Pro zobrazení srážek byl zvolen vhodnější sloupcový graf, pro zobrazení rychlosti větru pak plošný graf. Jednotlivé grafy jsou navíc rozlišeny barevně. Po najetí kurzorem na graf je zobrazena bublina s popisem, časovým údajem a číselnou hodnotou v daném místě.

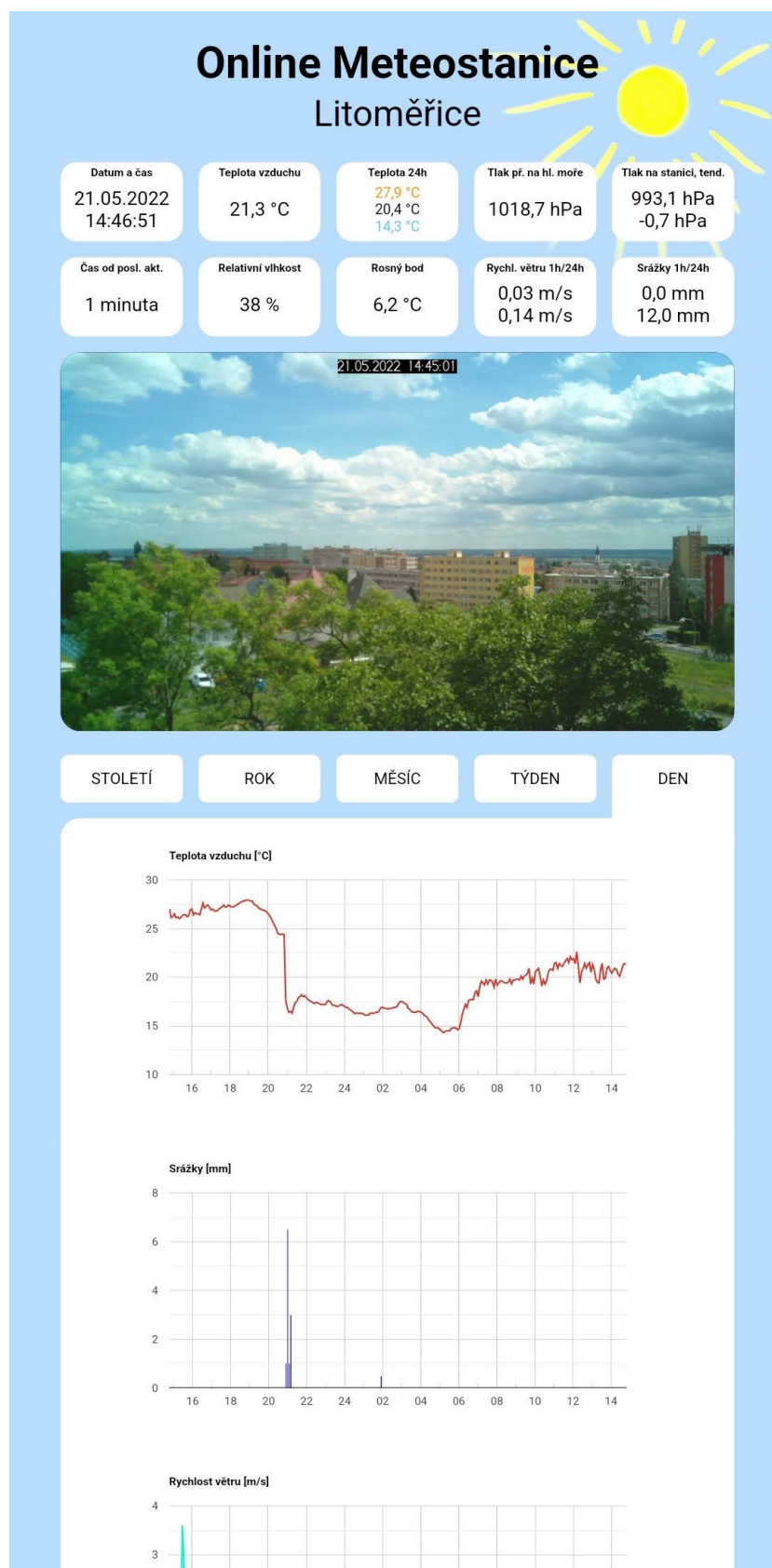
Webové rozhraní bylo navrženo s ohledem na použití jak na osobních počítačích (desktop/notebook), tak na mobilních zařízeních (smartphone/tablet). Pro obě kategorie zařízení je používán stejný vzhled.

Dodatečnou funkcí webového rozhraní je noční režim. Ten je automaticky zapnut na základě aktuální fotografie - pokud horní polovina (obloha) ztmavne pod definovanou úroveň, jsou použity jiné barvy (tmavý design) a jiný obrazový díl pozadí (místo slunce je zobrazen měsíc). Funkce této periodické změny designu je jak estetická tak praktická, protože denní rozhraní je lépe vidět na slunci a noční rozhraní je ve tmě příjemnější pro zrak. Na obrázku 2.41 je web v denním režimu.

Kompletní zdrojové kódy tohoto webového rozhraní jsou k dispozici v příloze.

#### **2.13.4 Centrální webové rozhraní**

Pro zobrazení aktuálních dat a fotografií ze všech meteostanic integrovaných do systému bylo vytvořeno sumarizační webové rozhraní, které je dostupné na adrese <https://onlinemeteo.eu/>. Tato webová stránka slouží zároveň jako hlavní rozcestník, kliknutím na název lokality se otevře web konkrétní meteostanice, odkud se lze jednoduše vrátit do centrálního rozhraní kliknutím na nadpis „Online Meteostanice“.



Obr. 2.41: Webové rozhraní řešené meteostanice

Toto rozhraní je webserverem skládáno z částí generovaných na webserverech jednotlivých meteostanic (soubory s názvem `mainpage.php` v kořenových adresářích), tedy bez přímého přístupu do MySQL databází jednotlivých meteostanic. Toto řešení bylo zvoleno s ohledem na možnost budoucího použití více na sobě nezávislých webserverů pro různé meteostanice. Generování probíhá na základě snadno editovatelného PHP pole s URL adresami jednotlivých meteostanic, umístěného v samostatném souboru s názvem `meteostations.php`.

Zdrojem informace pro určení denního/nočního režimu je zde aktuální fotografie z první ze zobrazených meteostanic. Na obrázku 2.42 je centrální webové rozhraní v nočním režimu.

## 2.14 Aplikace pro Android

Jako zjednodušená alternativa pro zobrazení naměřených dat na mobilních telefonech s majoritním OS Android<sup>TM1</sup> vedle webového rozhraní byla vyvinuta mobilní aplikace s názvem „Onlinemeteo“. Vývoj probíhal na strojích s OS Windows (verze 10 i 11) pomocí programu Microsoft Visual Studio 2022 a integrované platformy Xamarin Android. Tato opensource platforma umožňuje vývoj Android aplikací s pomocí .NET frameworku v jazyce C#. Platforma Xamarin Android byla zvolena vedle platformy Xamarin Forms z toho důvodu, že vývoj aplikace pro minoritní platformu iOS není ani do budoucna v plánu. Základem pro vývoj aplikace byl defaultní projekt s horní lištou a skrytým menu. Pro testování při vývoji byl používán virtuální OS Android 12 (S) ve verzi pro telefon Google Pixel 5 s API 31, případně telefon Samsung Galaxy S21 5G se zapnutým USB debugging (ve skrytém vývojářském menu přístupném po několikerém stisku čísla sestavení v nastavení telefonu) připojený k počítači s OS Windows pomocí USB kabelu.

Cílem bylo vytvoření nenáročného, přehledného a jednoduše ovladatelného rozhraní, které by zobrazovalo aktuální údaje z vybraných meteostanic. Zároveň bylo postupováno s ohledem na možnou decentralizaci celého systému meteostanic a možnost pružného přidávání zobrazovaných dat v budoucnu bez nutnosti zásahu do aplikace a zdlouhavé redistribuce.

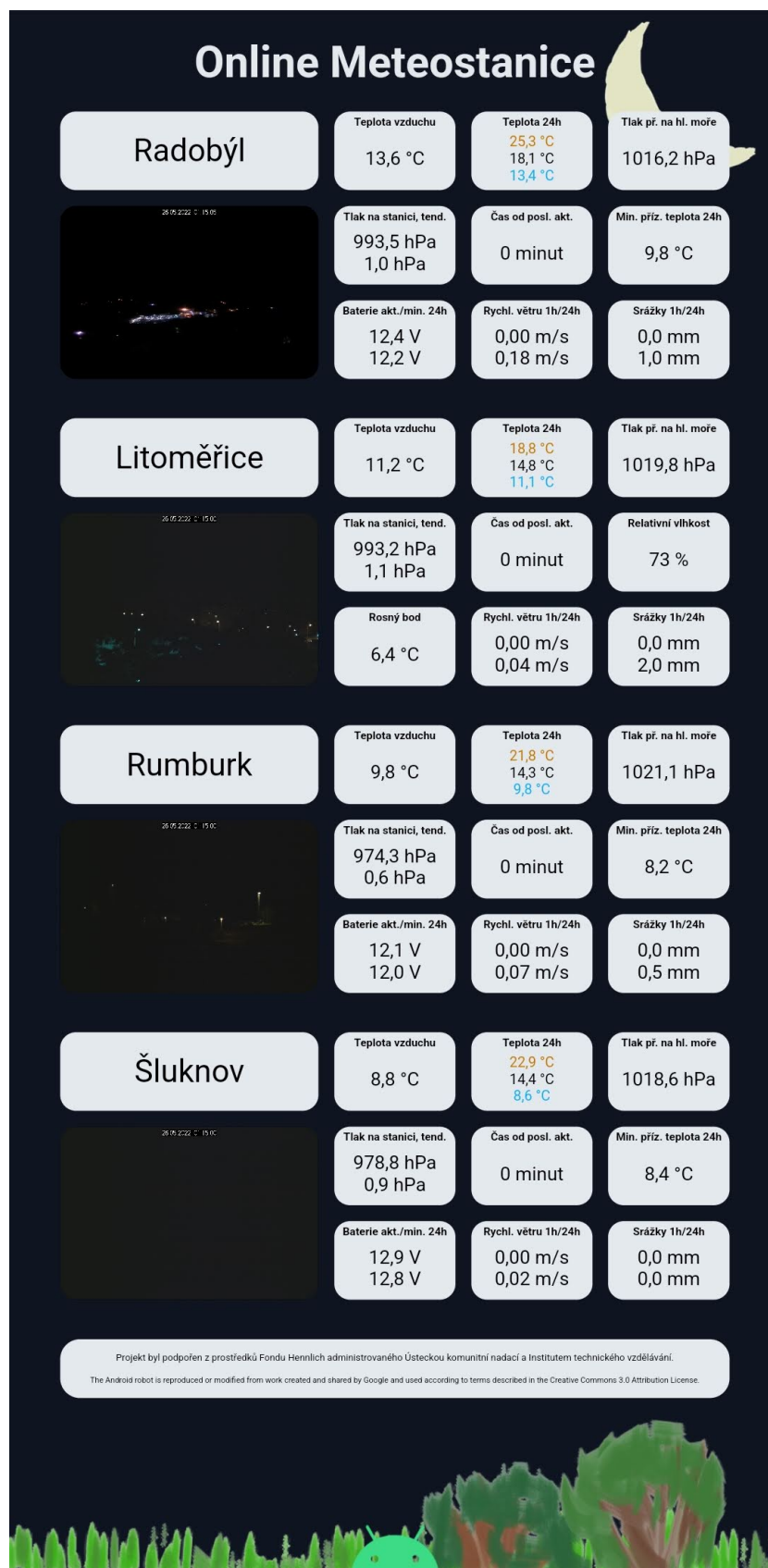
Při vývoji bylo uvažováno s kompatibilitou OS od verze Android 10 (Q). Podpora starších verzí již v této době nedává příliš smysl z hlediska omezení které přináší, protože reálně používaných telefonů se staršími verzemi je již minimum.

Hotová aplikace byla testována na několika telefonech značky Samsung s různými verzemi OS Android, konkrétně na modelech Galaxy S21 5G (Android 12), Galaxy S21 FE 5G (Android 12), Galaxy A71 (Android 12), Galaxy M21 (Android 12),

---

<sup>1</sup>Android is a trademark of Google LLC.





Obr. 2.42: Centrální webové rozhraní v nočním režimu

Galaxy A40 (Android 11), Galaxy J6 (Android 10). Snímky obrazovky níže jsou pořízeny na prvním z výše jmenovaných zařízení.

Kromě samotného prostředí aplikace byl vyvinut i widget pro umístění na domovskou obrazovku. Slouží pro základní zobrazení aktuální teploty na vybraných meteostanicích.

Sestavená a podepsaná aplikace je dostupná jako balík ve formátu \*.apk na adrese <<https://onlinemeteo.eu/onlinemeteo.apk>> nebo po kliknutí na symbol Android robota v dolní části centrálního webového rozhraní, odkud lze jednoduše nainstalovat na mobilní telefon. Pro instalaci je třeba povolit instalaci z neznámých zdrojů a odmítnout všechna bezpečnostní upozornění. Jednodušší distribuce mobilní aplikace by byla možná pomocí obchodu Google Play, kde jsou však pro zřízení vývojářského účtu účtovány poplatky (bude do budoucna zváženo).

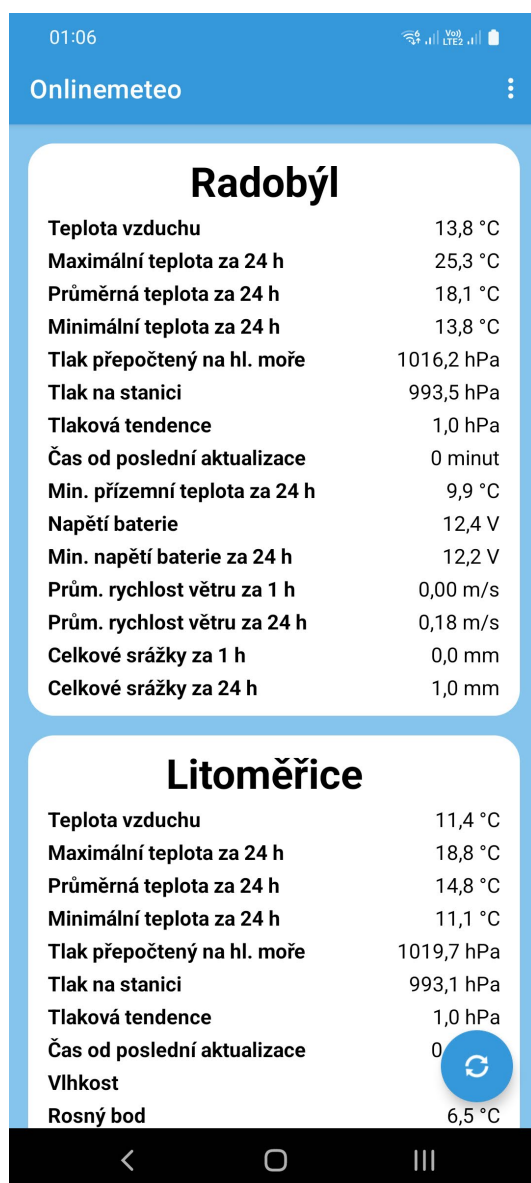
### 2.14.1 Uživatelské rozhraní

Po prvním otevření aplikace kliknutím na její ikonu na domovské obrazovce, resp. v seznamu všech aplikací, je zobrazena hlavní stránka s přehledem aktuálních dat z jednotlivých meteostanic. Tuto stránku lze dotykem rolovat nahoru a dolů, protože v případě více zobrazených meteostanic se vše na daný prostor obrazovky již nevejde. Data lze aktualizovat stiskem kulatého tlačítka se symbolem obnovení v pravém dolním rohu. Tato hlavní stránka je na obrázku 2.43.

Seznam URL adres jednotlivých meteostanic lze editovat na stránce „Nastavení“, která je přístupná přes menu v pravém horním rohu. Tato stránka je na obrázku 2.44. Při prvním otevření aplikace je automaticky nastavena URL adresa hlavního API, lze ji zde však taktéž editovat. Stejně tak lze upravovat seznamy URL adres meteostanic pro zobrazení v aplikaci, resp. na widgetu. Jednotlivé URL adresy meteostanic jsou odděleny vždy znakem nového řádku. Tlačítka „Aktualizovat“, která se nachází pod oběma seznamy, slouží pro jejich opětovné načtení z hlavního API. Tlačítkem „Uložit nastavení“ pak dojde k zapsání zobrazených hodnot do konfiguračních proměnných aplikace. Zpět na hlavní stránku se lze vrátit stiskem tlačítka zpět na navigační liště.

### 2.14.2 Widget

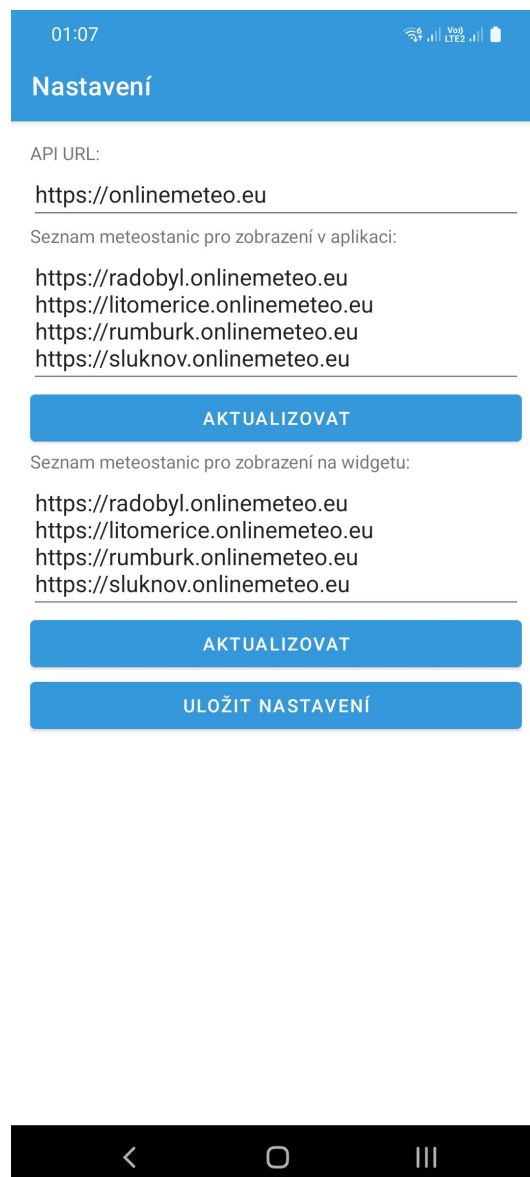
Pro co nejrychlejší a nejpohodlnější přístup k naměřeným datům byl vyvinut widget pro umístění na domovskou obrazovku mobilního telefonu. Jedná se v podstatě o pravidelně se aktualizující jednoduchou miniaplikaci, která má v tomto případě za cíl zobrazit nejdůležitější měřenou veličinu - aktuální teplotu vzduchu na jednotlivých meteostanicích integrovaných do systému. Výběr meteostanic zobrazených na widgetu lze přizpůsobit na stránce „Nastavení“ v samotné aplikaci, která je na obrázku 2.44. Widget umístěný na domovskou obrazovku spolu s ikonou samotné aplikace



Obr. 2.43: Hlavní stránka uživatelského rozhraní aplikace pro OS Android

je na obrázku 2.45. Minimální velikost widgetu v mřížce je  $3 \times 2$  (šířka  $\times$  výška), lze však libovolně zvětšovat pro lepší vizuální přizpůsobení (na obrázku 2.45 je konkrétně roztažen přes 5 polí do šířky).

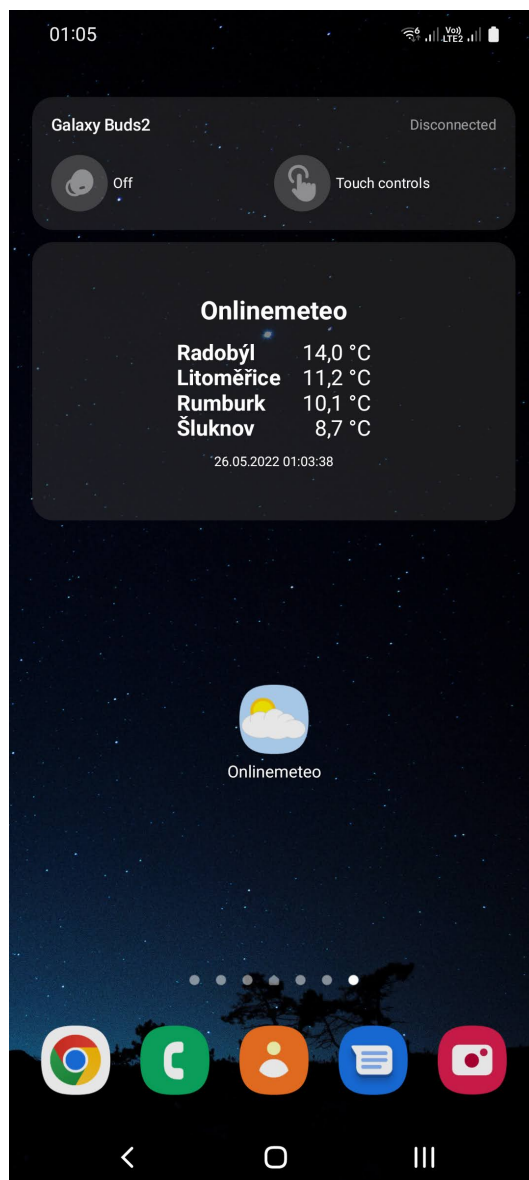
Aktualizace dat zobrazených na widgetu probíhá na pozadí automaticky každých 30 minut, což je minimální možný interval daný v současných verzích OS Android (pro omezení nadměrné spotřeby energie z baterie). Zobrazená data lze ale aktualizovat manuálně kdykoli kliknutím na widget. V případě nedostupnosti serveru (obvykle z důvodu nepřipojení telefonu k internetu) jsou na widgetu ponechána stávající data a za dalších 30 minut je proveden další pokus o načtení dat. V dolní části widgetu je zobrazen datum a čas poslední aktualizace. Pro zabránění usnutí



Obr. 2.44: Stránka nastavení aplikace pro OS Android

aplikace a tím zastavení automatických aktualizací widgetu je vhodné v nastavení telefonu nastavit pro tuto aplikaci manuálně volbu „Unrestricted“ v záložce týkající se využití baterie.

Pokud je widget přidán na plochu ještě před prvním spuštěním nainstalované aplikace, pro zajištění jeho správné funkčnosti dojde automaticky k načtení a uložení potřebných pomocných dat z defaultní URL centrálního API, stejně jako při prvním startu aplikace.



Obr. 2.45: Widget a ikona aplikace na domovské obrazovce mobilního telefonu

### 2.14.3 Vnitřní fungování aplikace

Jak již bylo řečeno výše, aplikace byla vyvíjena s předpokladem kompatibility pro OS Android verze 10 (Q), resp. API level 29 a novější. Jako target verze byla zvolena verze Android 11 (R), resp. API level 30. Jediným vyžadovaným oprávněním je „ACCESS\_NETWORK\_STATE“, to ale patří k základním oprávněním a není tak třeba jej při prvním spuštění aplikace manuálně schvalovat.

Pro vývoj aplikace byly použity čtyři balíčky NuGet, které je třeba pro úspěšnou kompilaci nainstalovat do projektu, konkrétně „System.Net.Http“ ve verzi 4.3.4, „Xamarin.AndroidX.AppCompat“ ve verzi 1.3.1.3, „Xamarin.Essentials“ ve verzi 1.7.3 a „Xamarin.Google.Android.Material“ ve verzi 1.4.0.4. Všechny tyto balíčky

jsou dostupné v základním repozitáři <<https://www.nuget.org/>>.

Aplikace získává data z webserverů pomocí protokolu HTTP, resp. jeho zabezpečené varianty HTTPS. Veškerá komunikace mobilní aplikace probíhá vždy s PHP skriptem s názvem api.php umístěným v kořenovém adresáři webserveru.

V případě centrálního webserveru s adresou <<https://onlinemeteo.eu/>> je výstupem tohoto skriptu řetězec s URL adresami jednotlivých meteostanic vygenerovaný na základě pole umístěného v konfiguračním souboru meteostations.php. Jednotlivé adresy jsou odděleny mezerou. Tento vlastní formát je na rozdíl od standardizovaných formátů jako např. XML (eXtensible Markup Language) nebo JSON (JavaScript Object Notation) zvolen pro svou jednoduchost jak na straně serveru tak na straně mobilní aplikace a malou nadbytečnost přenášených dat.

V případě jednotlivých meteostanic je výstupem skriptu api.php řetězec s aktuálními daty. Formát přenášených dat je zde opět kvůli jednoduchosti a úspornosti vlastní. Každá datová veličina je na jednom řádku (oddělené znakem nového řádku), na prvním z nich je vždy lokace. Na řádku jsou vždy tři hodnoty oddělené pomocí znaku dvojtečky, resp. znaku „:“. První hodnota je jedinečný identifikátor dané veličiny, druhá je popis dat a třetí je samotná hodnota i s příslušnou jednotkou. Tento řetězec je v aplikaci převeden na pole řetězců, ze kterého jsou data dále čtena a kde jsou podle prvního pole řádku vyhledávána.

Timeout pro načtení dat ze serveru je nastaven na 10 sekund, aby v případě výpadku některého z webserverů meteostanic (při plánované decentralizaci) byla načtena alespoň data z ostatních stanic.

Funkce vyžadující načítání dat přes HTTP klienta jsou nastaveny jako asynchronní pomocí klíčového slova „async“, u operací používajících HTTP klienta je použito klíčové slovo „await“. Toto je provedeno z toho důvodu, aby čekáním na data od serveru nedocházelo k blokování celé aplikace. Místo toho je pro načítání dat ze serveru vytvořena vždy samostatná úloha (task), která je spuštěna paralelně vedle úlohy provádějící samotnou aplikaci.

Konkrétní hodnoty barev, rozměrů, řetězců aj. jsou pro přehlednost a případné snadnější úpravy uloženy v XML souborech ve složce values.

Výsledný balík ve formátu \*.apk byl generován v režimu release (pro vydání a distribuci), pro kompresi výsledné velikosti byl použit standartní code shrinker „r8“. Soubor byl následně podepsán pomocí vlastní podpisové identity. Velikost exportovaného balíku je 9,63 MB. Jak již bylo řečeno výše, výsledný balík není součástí přílohy, ale je možné jej stáhnout z centrálního webového rozhraní kliknutím na logo Android robota ve spodní části stránky.

Celý projekt z programu Microsoft Visual Studio 2022 s kompletními a okomentovanými zdrojovými kódy aplikace pro OS Android je součástí přílohy.

## 2.15 Zajímavé naměřené údaje

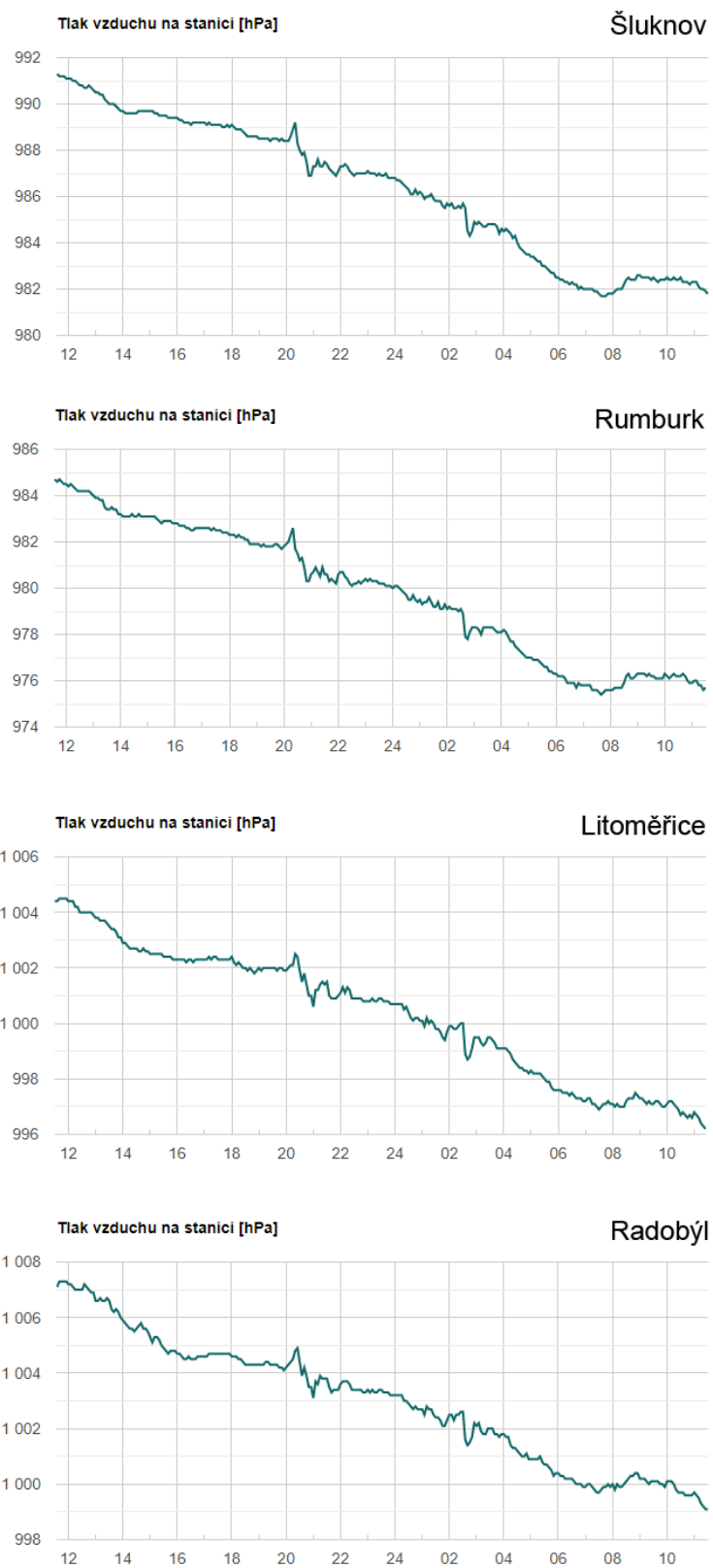
Během doby provozu jednotlivých meteostanic bylo již zjištěno několik zajímavých poznatků. Například z hlediska srážkového úhrnu jsou velmi výrazné rozdíly i mezi blízkými lokalitami. Zatímco v lokalitě Rumburk napršelo za duben 2022 celkem 85,5 mm srážek, v lokalitě Šluknov vzdálené přibližně 10 km napršelo za stejné období pouze 43,5 mm. Tyto stanice jsou z hlediska srážek dobře porovnatelné, srážkoměry nejsou ničím kryty. I v případě lokality Litoměřice, kde je srážkoměr umístěn přibližně 1,5 m od pláště budovy, se však zdají naměřené úhrny vcelku vypovídající.

Na stanici v lokalitě Litoměřice, kde jsou již k dispozici kompletní data za roky 2020 a 2021, byla za rok 2021 naměřena průměrná teplota 10,2 °C, což je o téměř 2 °C méně než v roce 2020, kdy byla naměřena průměrná teplota 11,9 °C. Meziroční změna průměrného tlaku vzduchu zde byla naměřena minimální, v roce 2021 byla hodnota přibližně o 0,6 hPa nižší než v roce předcházejícím.

### 2.15.1 Výbuch sopky Hunga Tonga-Hunga Ha'apai

Dne 15.1.2022 okolo 4:15 UTC došlo k mohutné erupci sopky Hunga Tonga-Hunga Ha'apai v oceánském státě Tonga. Exploze byla pravděpodobně nejsilnější od roku 1883, kdy došlo k výbuchu vulkánu Krakatoa v Indonésii. Způsobila nejen zemětřesení a vlnu tsunami, ale také mohutnou tlakovou vlnu, která se šířila atmosférou po celé planetě Zemi. [36]

Ještě téhož dne po 20:00 CET byla všemi čtyřmi meteostanicemi v systému zachycena první tlaková vlna, která je výrazně viditelná na grafech měřeného tlaku. Přibližně o 6 hodin později dorazila ještě o něco slabší tlaková vlna, která přišla z opačné strany Země než ta první. Nejkratší vzdálenost mezi danou sopkou a Českem po povrchu země je přibližně 16500 km.



Obr. 2.46: Naměřené průběhy tlaku vzduchu po erupci sopky ve státě Tonga



## Závěr

V teoretické části byla rozebrána historie oboru meteorologie, konkrétně problematika měření vybraných meteorologických veličin, kdy byly rozebrány pro jednotlivé veličiny používané jednotky, základní principy a známé problémy různých druhů měřících přístrojů, pracujících často na výrazně odlišných principech. U významných veličin byly uvedeny naměřené rekordní hodnoty na území Česka.

Dále byla probána problematika standardizovaného umístění měřících přístrojů meteostanice z doporučení Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), vycházející z doporučení World Meteorological Organization (WMO). Tyto požadavky se ukázaly jako velmi striktní a v podstatě vylučují umístění meteostanice v husté městské zástavbě, což byl v případě navrhované meteostanice záměr. Byla tedy snaha vyhovět těmto požadavkům v maximální možné míře, v textu byly rozebrány možnosti jakými způsoby toho docílit.

V další kapitole byly vybrány vhodné senzory. Pro měření teploty, vlhkosti a tlaku vzduchu bylo zvoleno integrované řešení od firmy Bosch, konkrétně senzor BME280 osazený na sériově vyráběném modulu, kde je doplněn o pomocné diskrétní součástky. Pro měření rychlosti větru byl zvolen miskový anemometr vyrobený pomocí 3D tiskárny. Rotace otočné části jsou snímány pomocí Hallovy sondy. Pulzy produkované touto sondou jsou pak počítány pomocí integrovaného čítače typu PCF8583, z něž jsou hodnoty vyčítány jednodeskovým počítačem Raspberry Pi. V samostatné kapitole byla objasněna problematika čítání prvního pulzu v případě opačné polarizace signálu, kvůli čemuž je na desce plošných spojů před vstupem do čítače obrácena polarita signálu přicházejícího z Hallovy sondy. Stejným způsobem je řešeno počítání překlopení člunku u člunkového srážkoměru, který byl navrhnout pro rozlišení 0,5 mm srážek a takéž vytištěn pomocí 3D tiskárny.

V rámci praktické části bylo navrženo řešení meteostanice. Byla vybrána deska Raspberry Pi, konkrétně model Raspberry Pi Zero. V další kapitole bylo navrženo blokové schéma meteostanice a rozebrána funkčnost a provedení jednotlivých funkčních celků. Dále bylo navrženo schéma zapojení rozvodné desky plošných spojů, ke které jsou připojeny jednotlivé senzory. Tato deska byla následně navržena v softwaru EasyEDA s ohledem na použitou technologii výroby. Na základě balíku výrobních dat Gerber byla deska následně úspěšně vyrobena na CNC frézce ve školní laboratoři. Tento způsob výroby s sebou nese jisté nedostatky, avšak v tomto případě bylo jedinou nedokonalostí zanechání malých neodfrézovaných linek ve větších plochách, což je záležitost pouze estetická. DPS byla osazena potřebnými součástkami a konektory použitím technologie horkého vzduchu a hrotové mikropáječky.

V další části byla provedena konstrukce centrální jednotky, krytu rozvodné desky plošných spojů a jednotlivých senzorů. Centrální jednotka byla realizována ve vo-

dotěsném boxu, do kterého byl dodělán průhled pro kameru. Držák komponent centrální jednotky v boxu byl navržen v programu Solidworks a následně vyroben pomocí 3D tisku. Rozvodný box byl taktéž navržen a vytištěn na 3D tiskárně. Zjednodušená meteorologická budka pro senzor BME280 byla taktéž vytištěna podle volně dostupných modelů, dokreslen byl potřebný držák na stožár. Stejně tak anemometr byl vytištěn na základě volně dostupných dat a byl k němu navržen stožárový držák. Člunkový srážkoměr byl vzhledem k mnoha problémům s vyzkoušenými volně dostupnými modely navržen vlastní, opět s pomocí programu Solidworks. Po kompletaci byl srážkoměr zkalibrován. Následně byla meteostanice namontována na místo určení a byly představeny další tři meteostanice integrované do systému.

Dále byly prozkoumány možnosti sběru a uchování dat, kdy bylo po rozboru možností vybraných komerčních cloudových řešení, která se ukázala jako nevhodná, rozhodnuto o návrhu a realizaci vlastního serverového řešení. Bylo navrženo řešení na základě standartního linuxového webserveru s Apache, MySQL a PHP, lze tak využít v podstatě jakékoli běžné webhostingové služby, případně provozovat webserver na vlastním serveru, což bylo také nakonec realizováno. Pro řešení systém meteostanic byl na hypervisoru Proxmox VE spuštěn virtuální stroj s OS Ubuntu Server.

V kapitole věnující se softwaru meteostanice byla vyřešena instalace a nastavení operačního systému na desce Raspberry Pi Zero, dále byl napsán script v jazyce Python pro vyčítání dat ze senzorů a jejich odesílání na server prostřednictvím protokolu HTTP a jeho metody POST. Pro vyčítání dat ze senzoru BME280 byla použita hotová knihovna, pro vyčítání počtu pulzů z obvodu PCF8583 byla napsána vlastní funkce na základě nalezených podkladů. Vzhledem k problémům, které v jedné z lokalit způsobovaly časté opakované krátké výpadky dodávek elektrické energie, byl navržen a nasazen bash script pojmenovaný „netwatchdog“, který v případě zaseknutí síťové karty a tím kompletní síťové komunikace této kartě resetuje napájení, čímž se případný problém automaticky vyřeší. Pro zajištění větší spolehlivosti byl po dokončení veškerého nastavení nakonfigurován režim readonly, kdy je zakázán jakýkoli zápis na SD kartu, protože ji zbytečně opotřebovává a zejména při výpadku napájení v době zápisu by mohlo dojít k rozbití souborového systému, což se předtím na jedné ze stanic již stalo, od nastavení readonly režimu k tomu však již nikdy nedošlo.

Další část byla věnována konfiguraci LAMP webserveru a tvorbě jeho programového vybavení jak pro příjem a ukládání dat, tak pro webovou prezentaci naměřených dat. Pro tento účel bylo využito jazyka PHP, na základě kterého server generuje dokumenty v jazyce HTML. Pro zobrazení grafů byla použita knihovna Google Charts napsaná v jazyce JavaScript. Každá z meteostanic má své vlastní webové rozhraní na jednotlivých subdoménách (řešená meteostanice konkrétně na `<https://litomerice.onlinemeteo.eu/>`), jako hlavní rozcestník a přehledová stránka pak

slouží centrální webové rozhraní na hlavní doméně <<https://onlinemeteo.eu/>>, které je generováno serverem z dokumentů, které jsou načítány z webserverů jednotlivých meteostanic. Jeden z důvodů použití této metody místo přímého přístupu k souborům a databázím je plán na budoucí decentralizaci, kdy bude do systému možné integrovat i meteostanice, jejichž serverová část běží v jiné lokalitě než centrální server. Samotné webové rozhraní mění svůj barevný vzhled mezi dnem a nocí s pomocí rozpoznání převažující barvy v horní polovině aktuálního snímku.

Pro pohodlnější zobrazení aktuálních dat na mobilních zařízeních s OS Android byla s pomocí platformy Xamarin Android a nástroje Microsoft Visual Studio vytvořena mobilní aplikace s názvem „Onlinemeteo“. Tato aplikace komunikuje se serverovou částí systému pomocí HTTP, resp. HTTPS požadavků. Kromě samotného přehledu aktuálních dat je součástí aplikace také widget, který lze přidat na domovskou obrazovku a zobrazuje aktuální teplotu na vybraných meteostanicích, jejichž přítomnost a pořadí lze případně konfigurovat na stránce nastavení stejně jako u stanic zobrazených v přehledu na hlavní stránce aplikace. Balík \*.apk je k dispozici ke stažení v centrálním webovém rozhraní po kliknutí na Android robota ve spodní části stránky.

# Literatura

- [1] Wikipedia: the free encyclopedia: *Aristotelés* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-11-09]. Dostupné z URL: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Aristotel%C3%A9s>.
- [2] VYSOUDIL, Miroslav: *Základy fyzické geografie 1: Meteorologie a klimatologie* [online]. 1. vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2013 [cit. 2021-11-26]. ISBN 978-80-224-3893-1. Dostupné z URL: <https://geography.upol.cz/soubory/studium/e-ucebnice/978-80-224-3893-1.pdf>.
- [3] SVEJKOVSKÁ, Adéla a Jáchym BRZEZINA: *Meteorologie a klimatologie – Úvod a historie* [online]. Blog o meteorologii, hydrologii a kvalitě ovzduší: Blog pracovníků Českého hydrometeorologického ústavu pobočky Brno [online]. Brno: Český hydrometeorologický ústav Brno, 2020, 1.4.2020 [cit. 2021-11-09]. Dostupné z URL: <https://chmibrno.org/blog/vzdelavani-1-1-meteorologie-a-klimatologie/>.
- [4] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV: *Historie meteorologie a klimatologie v Česku* [online]. [cit. 2021-11-26]. Dostupné z URL: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/prezentace\\_a\\_vyuka/METEOROLOGIE/01\\_historie\\_meteo.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/prezentace_a_vyuka/METEOROLOGIE/01_historie_meteo.pdf).
- [5] Wikipedia: the free encyclopedia: *Teploměr* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z URL: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Teplom%C4%9Br>.
- [6] Wikipedia: the free encyclopedia: *Psychrometr* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z URL: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Psychrometr>.
- [7] Wikipedia: the free encyclopedia: *Hygrometer* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Hygrometer>.
- [8] Wikipedia: the free encyclopedia: *Atmosférický tlak* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-11-26]. Dostupné z URL: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Atmosf%C3%A9rick%C3%BD\\_tlak](https://cs.wikipedia.org/wiki/Atmosf%C3%A9rick%C3%BD_tlak).

- [9] CASIO COMPUTER CO., LTD.: *Conversion to sea-level pressure* [online]. Keisan Online Calculator, 2018 [cit. 2021-11-19]. Dostupné z URL: <https://keisan.casio.com/keisan/image/Convertpressure.pdf>.
- [10] Wikipedia: the free encyclopedia: *Torr* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z URL: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Torr>.
- [11] Wikipedia: the free encyclopedia: *Kapalinový tlakoměr* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z URL: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kapalinov%C3%BD\\_tlakom%C4%9Br](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kapalinov%C3%BD_tlakom%C4%9Br).
- [12] Wikipedia: the free encyclopedia: *Barometer* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Barometer>.
- [13] Wikipedia: the free encyclopedia: *Anemometr* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z URL: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Anemometr>.
- [14] Wikipedia: the free encyclopedia: *Srážkoměr* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z URL: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sr%C3%A1%C5%BEkom%C4%9Br>.
- [15] ŽIDEK, Dušan a Pavel LIPINA: *Návod pro pozorovatele meteorologických stanic: Metodický předpis č. 13* [online]. Ostrava: Český hydrometeorologický ústav, 2003, 90 s. [cit. 2021-11-26]. Dostupné z URL: <https://adoc.pub/navod-pro-pozorovatele-meteorologickych-stanic-hmu.html>.
- [16] Bosch Sensortec GmbH: *BME280 - Datasheet* [online]. 10/2021. 2021, 60 s. [cit. 2021-11-19]. BST-BME280-DS001-22. Dostupné z URL: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme280-ds002.pdf>.
- [17] Bosch Sensortec GmbH: *BME680 - Datasheet* [online]. 1/2021. 2021, 53 s. [cit. 2021-11-19]. BST-BME680-DS001-06. Dostupné z URL: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme680-ds001.pdf>.
- [18] Bosch Sensortec GmbH: *BME688 - Datasheet* [online]. 4/2021. 2021, 60 s. [cit. 2021-11-19]. BST-BME688-DS000-00. Dostupné z URL:

- <<https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme688-ds000.pdf>>.
- [19] Measurement Specialties, Inc., a TE Connectivity company: *MS8607-02BA01* [online]. PHT Combination Sensor. 6/2017. 2015, 22 s. [cit. 2021-11-19]. Dostupné z URL:  
<[https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7FMS8607-02BA01%7FB3%7Fpdf%7FEnglish%7FENG\\_DS\\_MS8607-02BA01\\_B3.pdf](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7FMS8607-02BA01%7FB3%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_MS8607-02BA01_B3.pdf)>.
- [20] Allegro MicroSystems, Inc.: *A3141, A3142, A3143, and A3144* [online]. 2005, 9 s. [cit. 2021-11-20]. 27621.6B\*. Dostupné z URL:  
<<https://www.elecrow.com/download/A3141-2-3-4-Datasheet.pdf>>.
- [21] NXP B.V.: *PCF8583* [online]. Clock and calendar with 240 x 8-bit RAM. 2010, 37 s. [cit. 2021-11-20]. PCF8583. Dostupné z URL:  
<<https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCF8583.pdf>>.
- [22] Raspberry Pi Foundation: *Raspberry Pi* [online]. [cit. 2021-11-27]. Dostupné z URL:  
<<https://www.raspberrypi.com/>>.
- [23] Monolithic Power Systems, Inc.: *MP1584* [online]. 3A, 1.5MHz, 28V Step-Down Converter. [cit. 2021-12-03]. Dostupné z URL:  
<[https://www.monolithicpower.com/en/documentview/productdocument/index/version/2/document\\_type/Datasheet/lang/en/sku/MP1584EN-LF-Z/document\\_id/204](https://www.monolithicpower.com/en/documentview/productdocument/index/version/2/document_type/Datasheet/lang/en/sku/MP1584EN-LF-Z/document_id/204)>.
- [24] SEMTECH ELECTRONICS LTD.: *BC846 ... BC850* [online]. Datasheet. [cit. 2021-12-03]. Dostupné z URL:  
<<https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.912-017.4.pdf>>.
- [25] Jirous, spol. s r.o.: *GentleBOX JE-200* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z URL:  
<<https://cz.jirous.com/prislusenstvi-doplanky/je-200>>.
- [26] The MathWorks, Inc.: *How to Buy - Home License - ThingSpeak IoT* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z URL:  
<[https://thingspeak.com/prices/thingspeak\\_home](https://thingspeak.com/prices/thingspeak_home)>.
- [27] The MathWorks, Inc.: *Licensing FAQ - ThingSpeak IoT* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z URL:  
<[https://thingspeak.com/pages/license\\_faq](https://thingspeak.com/pages/license_faq)>.

- [28] Ubidots: *Pricing* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z URL:  
<<https://ubidots.com/pricing>>.
- [29] Ubidots: *What is the difference between Ubidots and Ubidots STEM? / Ubidots Help Cente* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z URL:  
<<https://help.ubidots.com/en/articles/639806-what-is-the-difference-between-ubidots-and-ubidots-stem>>.
- [30] Blynk Inc.: *Pricing / Blynk IoT Platform* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z URL:  
<<https://blynk.io/pricing>>.
- [31] Michal Ševčík: *tmep.cz - Vizualizace naměřené teploty a vlhkosti pro každého* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z URL:  
<<https://tmep.cz/>>.
- [32] Adafruit Industries, LLC: *Python & CircuitPython Test / Adafruit BME280 Humidity + Barometric Pressure + Temperature Sensor Breakout / Adafruit Learning System* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z URL:  
<<https://learn.adafruit.com/adafruit-bme280-humidity-barometric-pressure-temperature-sensor-breakout/python-circuitpython-test>>.
- [33] Milan Krúpa: *Raspberry Pi: Časomíra* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z URL:  
<<http://www.astromik.org/raspi/30.htm>>.
- [34] Wikipedia: the free encyclopedia: *Rosný bod* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z URL:  
<[https://cs.wikipedia.org/wiki/Rosn%C3%BD\\_bod](https://cs.wikipedia.org/wiki/Rosn%C3%BD_bod)>.
- [35] Google LCC: *Charts / Google Developers* [online]. [cit. 2022-05-23]. Dostupné z URL:  
<<https://developers.google.com/chart>>.
- [36] Wikipedia: the free encyclopedia: *Hunga Tonga – Hunga Ha’apai* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2022 [cit. 2022-05-26]. Dostupné z URL:  
<[https://cs.wikipedia.org/wiki/Hunga\\_Tonga\\_%E2%80%93\\_Hunga\\_Ha%CA%BBapai](https://cs.wikipedia.org/wiki/Hunga_Tonga_%E2%80%93_Hunga_Ha%CA%BBapai)>.

# Seznam symbolů a zkratek

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>3D</b>             | trojrozměrný  |
| <b>API</b>            | Application Programming Interface, aplikační rozhraní   |
| <b>ČHMÚ</b>           | Český Hydrometeorologický ústav   |
| <b>CSI</b>            | Camera Serial Interface, sériové rozhraní kamery  |
| <b>CSS</b>            | Cascading Style Sheets, jazyk pro stylování HTML elementů   |
| <b>DC</b>             | Direct Current, stejnosměrný proud  |
| <b>DDoS</b>           | Distributed Denial of Services, typ útoku na síťové služby založený na současném odesílání velkého množství požadavků z velkého množství strojů na konkrétní službu |
| <b>DPS</b>            | Deska Plošných Spojů  |
| <b>HTTP</b>           | Hypertext Transfer Protocol, protokol aplikační vrstvy pro přenos hypertextových dat  |
| <b>HTTPS</b>          | Hypertext Transfer Protocol Secure, zabezpečená verze protokolu HTTP  |
| <b>I<sup>2</sup>C</b> | Inter-Integrated Circuit, standardizovaná dvoudrátová sériová sběrnice  |
| <b>IP</b>             | Internet Protokol, protokol 3. vrstvy (síťové) referenčního modelu ISO/OSI  |
| <b>LAMP</b>           | Linux Apache MySQL PHP, sada svobodného softwaru realizující webserver  |
| <b>LAN</b>            | Local Area Network, místní datová síť   |
| <b>LED</b>            | Light Emitting Diode, elektroluminiscenční dioda  |
| <b>OS</b>             | Operating System, operační systém   |
| <b>PE</b>             | PolyEthylen, chemicky málo reaktivní plast  |
| <b>PETG</b>           | PolyEthylene Terephthalate Glycol-modified, PolyEtylen Tereftalát Glykol, plast používaný pro 3D tisk vynikající pružností, pevností a UV stabilitou                |



|              |  |
|--------------|--|
| <b>PEI</b>   | Polyetherimid, plast používaný jako povrch podložky pro 3D tisk  |
| <b>PHP</b>   | Hypertextový preprocesor, server-side skriptovací jazyk  |
| <b>PoE</b>   | Power over Ethernet, technologie napájení a datové komunikace přes jeden kabel   |
| <b>RAID</b>  | Redundant Array of Inexpensive Disks, redundantní diskové pole   |
| <b>RAM</b>   | Random Access Memory, operační paměť   |
| <b>RJ-45</b> | Osmipinový kompaktní konektor používaný například pro metalický Ethernet   |
| <b>SBC</b>   | Single Board Computer, jednodeskový počítač  |
| <b>SMD</b>   | Surface Mount Device, součástka pro povrchovou montáž  |
| <b>SPI</b>   | Serial Peripheral Interface, standardizovaná sériová sběrnice  |
| <b>SSD</b>   | Solid State Drive, disk bez pohyblivých částí  |
| <b>SSH</b>   | Secure SHell, šifrovaný protokol aplikační vrstvy pro komunikaci mezi dvěma počítači   |
| <b>TCP</b>   | Transmission Control Protocol, protokol 4. vrstvy (transportní) referenčního modelu ISO/OSI založený na vytváření spojení (stateful (=stavový) protokol) |
| <b>THT</b>   | Through-hole technology, technologie montáže součástek a konektorů skrz otvory v DPS   |
| <b>URL</b>   | Uniform Resource Locator, jednotný identifikátor zdroje s pevně danou strukturou   |
| <b>USB</b>   | Universal Serial Bus, univerzální sériová sběrnice   |
| <b>UTP</b>   | Unshielded Twisted Pair, nestíněná kroucená dvoulinka  |
| <b>UV</b>    | Ultra Violet, ultrafialové záření, má kratší vlnovou délku než viditelné světlo  |

### 3 Obsah elektronické přílohy

```
/ ..... kořenový adresář přiloženého archivu
├── dps ..... deska plošných spojů
│   ├── easyeda ..... soubory ze softwaru EasyEDA verze 6.4.25
│   │   └── dps.json
│   └── render ..... rendery
│       ├── dps_top.png
│       ├── dps_bottom.png
│       └── dps_osazovaci_plan.png
├── schema ..... schéma zapojení
│   ├── easyeda ..... soubory ze softwaru EasyEDA verze 6.4.25
│   │   └── schema.json
│   └── render ..... rendery
│       ├── schema_monochrome.png
│       └── schema_color.png
├── 3d_modely ..... 3D modely pro tisk ve formátu STL
├── software ..... zdrojové kódy
│   ├── meteostanice ..... meteostanice
│   │   ├── script.py ..... script pro vyčítání a odesílání dat
│   │   └── netwatchdog.sh ..... watchdog pro automatický restart síťové karty
│   ├── server ..... server
│   │   ├── litomerice ..... zdrojové kódy serverové části řešení meteostanice
│   │   └── onlinemeteo ..... zdrojové kódy centrálního webového rozhraní
│   └── androidapp ..... aplikace pro OS Android
│       └── onlinemeteo ..... projekt Microsoft Visual Studio 2022
```