



**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

F3

**Fakulta elektrotechnická
Katedra radioelektroniky**

Diplomová práce

Nízkopříkonový systém pro monitoring prostředí s externí jednotkou a vzdálenou administrací

Marek Vlasák

Leden 2023

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

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vlasák** Jméno: **Marek** Osobní číslo: **466306**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra radioelektroniky**
Studijní program: **Elektronika a komunikace**
Specializace: **Technologie internetu věcí**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Nízkopříkonový systém pro monitoring prostředí s externí jednotkou a vzdálenou administrací

Název diplomové práce anglicky:

Low-power Monitoring System for Environment with External Unit and Remote Administration

Pokyny pro vypracování:

- 1) Proveďte analýzu stavu trhu v oblasti systémového řešení monitoringu parametrů pracovního prostředí.
- 2) Navrhněte monitorovací jednotku pro sběr dat, jejich analýzu a grafickou interpretaci změřených dat. Uvažujte sběr dat nejenom ve vnitřních, ale i venkovních prostorech.
- 3) Navrhněte obvodové zapojení. Při návrhu koncepce volte řešení s minimální spotřebou energie. Získaná data analyzujte, zapracujte systém notifikací pro uživatele při překročení limitních hodnot. Data vhodnou formou zobrazujte na displeji.
- 4) Uvažujte bateriové napájení s přídavným solárním dobíjením pro externí jednotku.
- 5) Navržené řešení realizujte ve formě funkčního prototypu, ověřte funkci zařízení a porovnejte s komerčně dostupnými zařízeními. Zhodnoťte dosažené parametry a navrhněte možné úpravy a rozšíření.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Cameron N., Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32: Building Web Pages, Applications, and WiFi Enabled Devices, ISBN 978-1484263358
- [2] Purdum J., Beginning C for Microcontrollers: Making Electronics Dance with Software, ISBN 979-8677187711
- [3] Hallil H., Smart Sensors for Environmental and Medical Applications, ISBN 1119587344

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Vladimír Janíček, Ph.D. katedra mikroelektroniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **17.02.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.01.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **19.02.2024**

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

doc. Ing. Stanislav Vítek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování / Prohlášení

Rád bych poděkoval svému vedoucímu Ing. Vladimírovi Janíčkovi, Ph.D., za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 9. 1. 2023

.....

Abstrakt / Abstract

Cílem této práce je navrhnout nízkoenergetickou monitorovací jednotku prostředí. Nejdříve se bylo třeba seznámit s principy měření jednotlivých parametrů prostředí a prozkoumat jaká řešení se již nachází na trhu. Z těchto znalostí byl navrhnut vlastní koncept monitorovací stanice. Návrh spočíval z volby vhodných nízkoodběrových senzorů, návrhu desek plošných spojů a 3D modelů mechanických částí stanice. Pro tyto stanice byly posléze navrženy obslužné programy, způsob vzdálené administrace a systém notifikací aktuálního stavu stanic uživateli. Nakonec byla stanice sestavená a otestována.

Klíčová slova: monitorovací stanice, kvalita ovzduší, meteorologie, vzdálená administrace

The aim of this work is to design a low-energy environmental monitoring unit. First, it was necessary to become familiar with the principles of measuring individual parameters of the environment and to test what solutions are already on the market. This knowledge was used to design the own concept of the monitoring station. The design consisted of the selection of suitable low consumption sensors, the design of printed circuit boards and 3D models of the mechanical parts of the stations. Operating programs, a method of remote administration and a system of notifying users of the current status of the stations were subsequently designed for these stations. Finally, the station was assembled and tested.

Keywords: monitoring station, air quality, meteorology, remote administration

Obsah /

1 Úvod	11		
2 Průzkum trhu	12		
2.1 Představitelé na trhu	12		
2.1.1 Solight TE 81	12		
2.1.2 Sencor SWS 12500	12		
2.1.3 GARNI 2055 Arcus	13		
2.1.4 GARNI 210T	13		
2.2 Shrnutí průzkumu	14		
2.3 Návrh vlastního konceptu monitorovací stanice	15		
3 Principy měření veličin a jejich dopad na člověka	17		
3.1 Teplota	17		
3.2 Vlhkost	17		
3.3 Tlak	18		
3.4 Kvalita ovzduší	19		
3.5 UV záření	20		
3.6 Úhrn srážek	20		
3.7 Rychlost větru	22		
3.8 Směr větru	23		
3.9 Intenzita zvuku	23		
4 Vnitřní stanice	26		
4.1 Návrh bloků stanice	26		
4.1.1 Blok mikrokontroléru a displeje	26		
4.1.2 Blok měření teploty, vlhkosti, tlaku a kvality ovzduší	28		
4.1.3 Blok měření intenzity zvuku	28		
4.1.4 Blok bzučák	28		
4.2 Elektrické zapojení vnitřní stanice	28		
4.3 Návrh 3D modelů krabiček vnitřní stanice	29		
5 Venkovní stanice	31		
5.1 Návrh bloků stanice	31		
5.1.1 Blok mikrokontroléru	31		
5.1.2 Blok měření teploty a vlhkosti	32		
5.1.3 Blok měření tlaku	32		
5.1.4 Blok měření UV záření	33		
5.1.5 Blok měření rychlosti větru	33		
5.1.6 Blok měření směru větru	34		
5.1.7 Blok měření srážek	34		
5.2 Elektrické zapojení venkovní stanice	36		
5.2.1 Návrh napájení	36		
5.2.2 Zapojení a ovládání napájení senzorů	37		
5.3 Návrh 3D modelů venkovní stanice	38		
5.3.1 3D model krabičky pro elektroniku	38		
5.3.2 3D model anemometru a ukazatele směru větru	39		
5.3.3 3D model srážkoměru	40		
6 Software	41		
6.1 Software vnitřní stanice	41		
6.1.1 Inicializace	43		
6.1.2 Měření dat	43		
6.1.3 Komunikace	44		
6.1.4 Návrh grafického rozhraní vnitřní stanice	45		
6.1.5 Přejít do režimu spánku	46		
6.2 Software venkovní stanice	47		
6.2.1 Inicializace	48		
6.2.2 Měření meteorologických parametrů	48		
6.2.3 Komunikace	49		
6.2.4 Přejít do režimu spánku	50		
6.3 Vzdálená administrace stanic	50		
6.3.1 Webové stránky pro správu stanic a dat	51		
6.3.2 Ukládání a práce s daty	52		
7 Sestavení prototypu	54		
7.1 Výroba mechanických částí stanice	54		
7.2 Návrh a výroba DPS	55		
7.2.1 Deska pro vnitřní stanici	55		
7.2.2 Deska pro venkovní stanici	55		
7.3 Sestavení a zprovoznění	57		
7.3.1 Sestavení	57		
7.3.2 Instalace softwaru	58		
8 Testování stanic	60		
8.1 Spotřeba energie	60		
8.1.1 Spotřeba vnitřní stanice	60		
8.1.2 Spotřeba venkovní stanice	61		

8.2 Porovnání s konkurenčním zařízením	63
8.3 Možné úpravy stávajícího zařízení.	65
9 Závěr	66
Literatura	67
A Seznam zkratk a symbolů	71
B Seznam souborů	72
C Elektrické schéma	73
C.1 Vnitřní stanice	73
C.2 Venkovní stanice	74

Tabulky / Obrázky

2.1 Průzkum trhu	15
2.1 Solight TE 81	12
2.2 Sencor SWS 12500	13
2.3 GARNI 2055 Arcus	13
2.4 GARNI 210T	14
2.5 Blokové schéma A	16
2.6 Blokové schéma B	16
3.1 Princip vlhkoměru	18
3.2 Princip senzoru tlaku	19
3.3 Člunkový srážkoměr	21
3.4 Optický srážkoměr	21
3.5 Optický otáčkoměr	22
3.6 Magnetický otáčkoměr	22
3.7 Anemometr	23
3.8 Grayův kód	23
3.9 Uhlíkový mikrofon	24
3.10 Elektrodynamický mikrofon ...	24
3.11 Krystalový mikrofon	25
3.12 Kondenzátorový mikrofon	25
4.1 Blokové schéma vnitřní stanice	26
4.2 LilyGO	27
4.3 BME680	28
4.4 Schéma zapojení	29
4.5 Přední panel 1.....	30
4.6 Přední panel 2.....	30
5.1 Blokové schéma venkovní stanice	31
5.2 ESP32-WROOM	32
5.3 SHT31	32
5.4 BMP280	32
5.5 ML8511	33
5.6 Rozmístění magnetů anemometru	34
5.7 Rozmístění magnetů směru větru	34
5.8 Návrh detekce deště.....	35
5.9 Modul TP4056	36
5.10 Napájení stanice.....	37
5.11 Propojení senzorů	37
5.12 Model venkovního pouzdra	39
5.13 Navržený senzor větru	40
5.14 Navržený srážkoměr.....	40
6.1 Programovací prostředí Arduino.....	41
6.2 Stavový diagram vnitřní stanice	42

6.3	Kalibrace senzoru hluku	44
6.4	Rozvržení displeje	46
6.5	Stavový diagram vnitřní stanice	47
6.6	Kalibrace rychlosti větru.....	49
6.7	Náhled webu.....	52
6.8	Schéma komunikace stanic.....	53
7.1	DPS vnitřní stanice	55
7.2	DPS venkovní stanice	56
7.3	Osazená DPS vnitřní stanice ..	56
7.4	Osazená DPS venkovní stanice	57
7.5	Venkovní stanice	58
7.6	Vnitřní stanice.....	58
8.1	Porovnání vnitřní teploty	63
8.2	Porovnání vnitřní teploty	63
8.3	Porovnání vnitřní vlhkosti	64
8.4	Porovnání venkovní vlhkosti ...	64
8.5	Porovnání venkovního tlaku ...	64

Kapitola 1

Úvod

Na trhu existuje velké množství produktů pro měření meteorologických dat, předpovědi počasí a kvality prostředí. Ať už se jedná o levné produkty pro měření základních veličin, jako je teplota, vlhkost a tlak, nebo ty dražší, které jsou přesnější a nabízí vícero možností co měřit. Lidé se více zajímají o předpověď počasí, ať už například kvůli plánování prací na zahradě, anebo kvůli plánování dovolené. Meteostanice měří, jak již bylo řečeno, spoustu věcí, nicméně pro lidi může být kromě předpovědi počasí a aktuálního počasí venku důležitým faktorem i kvalita vzduchu, který doma dýchají. Nicméně tyto meteorologické stanice obvykle neměří a jsou k tomu zapotřebí další zařízení. Motivací této práce je navrhnout nízkenergetickou monitorovací stanici, která by spojovala měření parametrů meteorologických stanic s měřením kvality ovzduší a hluku prostředí se schopností informovat o případných nebezpečích. V práci popíše základní metody měření dat a jejich dopadu na zdraví člověka, návrh nové stanice a následně vytvoření funkčního řešení spolu se vzdálenou administrací.

Kapitola 2

Průzkum trhu

Jelikož se na trhu nachází spousta komerčních řešení monitorovacích stanic v různé cenové kategorii, bylo potřeba trh prozkoumat a nalézt tak vlastní řešení stanice, která by nebyla příliš finančně náročná, obsahovala by určité funkce, které u ostatních nejsou, případně sjednotit je do jednoho zařízení. Při průzkumu bylo potřeba se zaměřit na možnosti, které stanice nabízejí, jako jsou například měřené veličiny, možnosti záznamu dat, energetická spotřeba, možnost solárního dobíjení venkovní jednotky stanice. Z průzkumu bylo vybráno několik zástupců stanic v různé cenové kategorii, které poslouží ke konečnému návrhu.

2.1 Představitelé na trhu

2.1.1 Solight TE 81

Prvním představitelem je Solight TE 81 [1] zobrazena na obr. 2.1. Jedná se o stanici s cenou pohybující se okolo 1000 Kč. Jedná se o stanici, která poskytuje základní informace. Dokáže měřit aktuální vnitřní i venkovní teplotu, vlhkost či atmosférický tlak. Dále taky je schopna předpovědi počasí na základě dat získaných rádiovou komunikací. U stanice je součástí balení i jeden bezdrátový senzor, který lze připojit k hlavní jednotce. Takto lze připojit až 3 takovéto senzory a cyklicky mezi nimi přepínat [1].



Obrázek 2.1. Solight TE 81 [1]

2.1.2 Sencor SWS 12500

Dalším představitelem je Sencor SWS 12500 [2] zobrazen na obr. 2.2. Jedná se o stanici s cenou pohybující se okolo 4000 Kč. Tato stanice disponuje možnostmi předpovědi jako předchozí jmenovaná, ale jsou tu další zlepšení. Jedná se o typ s podporou Wi-Fi připojení, a je tedy možné odesílat data na různé servery. Také je možnost k datům z meteostanice přistupovat online prostřednictvím webového rozhraní. Oproti předchozí stanici je zde další senzor, takzvaný „7v1 senzor“. Tento senzor měří kromě teploty, atmosférického tlaku či vlhkosti i další parametry jako je rychlost a směr větru, množství srážek, intenzita světla a UV záření [2].



Obrázek 2.2. Sencor SWS 12500 [2]

■ 2.1.3 GARNI 2055 Arcus

Dále tu máme GARNI 2055 Arcus [3] zobrazenou na obr. 2.3. Jedná se o stanici s cenou pohybující se okolo 9000 Kč. Meteostanice nabízí obdobné funkce jako předchozí stanice, tedy předpověď počasí, měření teploty či tlaku apod. Nechybí zde ani venkovní senzor 7v1 jako v předchozím případě, ale je zde drobné vylepšení z pohledu napájení, kde je možné tento senzor solárně dobíjet [3].



Obrázek 2.3. GARNI 2055 Arcus [3]

■ 2.1.4 GARNI 210T

Posledním představitelem není přímo meteostanice, ale zařízení pro monitoring prostředí GARNI 210T [4] zobrazenou na obr. 2.4, především kvality ovzduší. Cena zařízení se pohybuje kolem 2500 Kč. Stanice nabídne měření vnitřní teploty, vlhkosti a dále pak měření kvality ovzduší, které spočívá v měření koncentraci prachových částic různé velikosti. Je vybavena připojením k Wi-Fi síti a aplikací, přes kterou je možno zaznamenaná data monitorovat. Bohužel nenabízí detekci nebezpečných plynů. Oproti předchozím dvou stanicím nedisponuje žádnou venkovní jednotkou. [4]



Obrázek 2.4. GARNI 210T [3]

2.2 Shrnutí průzkumu

Pokud se podíváme na jednotlivé představitele z průzkumu trhu, tak jsou patrné nedostatky, ať už z pohledu nabízených funkcí anebo z pohledu technického zpracování.

U prvního představitele Solight TE 81 je patrné, že se jedná o jednu z nejelementárnějších meteostanic. Nabízí pouze základní informace o předpovědi a jednoduché doplňkové funkce, jako je např. čas, datum apod. K zařízení je možné připojit pouze obyčejné senzory, které měří pouze teplotu a vlhkost. Napájení je zde řešeno standardními bateriemi.

Pokud se podíváme na dalšího představitele, tak zde vidíme od předchozího zástupce mírný pokrok. Stanice nabízí další senzor, a to venkovní, který je schopen měřit další parametry, jako je např. rychlost a směr větru, dešťové srážky a UV záření. Dále hlavní řídicí jednotka, oproti předchůdci, nabízí možnost odesílání zaznamenaných dat na server. Všechny jednotky meteostanice Sencor SWS 12500 jsou i v tomto případě napájeny tužkovými bateriemi.

U dalšího představitele je patrné pouze pár vylepšení oproti předchozí stanici. Pokud bychom se podívali na venkovní senzor 7v1, tak je zde vylepšení z pohledu napájení, a to možnost venkovní stanici dobíjet za pomoci solárního panelu. Při prozkoumání vnitřní stanice zjistíme, že jsou si až na jiný styl uživatelského rozhraní dosti podobné. Co se týče podpory odesílání souborů na server, tak oproti Sencor SWS 12500 je zde možnost tato data odesílat na vlastní server. Napájení vnitřní jednotky je zde opět řešeno bateriově.

GARNI 210T sice oproti ostatním stanicím nabízí měření kvality ovzduší, ale to pouze jako detekci prachových částic a chybí detekce nebezpečných plynů. Bohužel stanice postrádá jakékoliv měření venkovních parametrů.

Pokud vše shrneme, je patrné pár nedostatků. U všech stanic kromě GARNI 210T je použito bateriové napájení, které by se dalo nahradit vestavěnou baterií s jednoduchou možností dobíjení. Dále nejen u těchto představitelů, ale i u většiny ostatních je používán LCD displej, který bývá energeticky náročnější a z pohledu úspory energie ne příliš vhodný. Bylo by tedy dobré se podívat na možná jiná řešení. Kvalitu ovzduší měří pouze GARNI 210T, ale pouze v podobě obsahu prachových částic a není schopná detekovat nebezpečné plyny. Kompletní srovnání parametrů stanic ukazuje tabulka 2.1.

Tabulka 2.1. Porovnání monitorovacích stanic [1][2][3][4]

Parametry	Solight TE 81	Sencor SWS 12500	GARNI 2055 Arcus	GARNI 210T
Rozsah vnitřní teploty [°C]	0 – 50	-5 – 50	-40 – 70	-10 – 50
Rozsah vnitřní vlhkosti [%]	20 – 95	1 – 90	1 – 99	0 – 95
Rozsah venkovní teploty [°C]	-20 – 60	-40 – 60	-40 – 80	—
Rozsah venkovní vlhkosti [%]	20 – 95	1 – 99	1 – 99	—
Rozsah tlaku [hPa]	600 – 1100	540 – 1100	540 – 1100	—
Rychlost větru [km/h]	—	0 – 180	0 – 180	—
Směr větru	—	Ano	Ano	—
Dešťové srážky [mm]	—	0,4	0,1	—
Intenzita světla [klux]	—	0 – 200	0 – 200	—
UV záření [index]	—	0 – 16	0 – 16	—
Předpověď počasí [h]	12	24	24	—
Typ displeje	LCD	LCD	inverzní LCD	LCD
Počet senzorů	3	7	7	—
Počet senzorů 7v1	0	1	1	—
Připojení k internetu	—	WiFi	WiFi	WiFi
Napájení hlavní stanice	2xAA nebo adaptér	Adaptér	3xAAA nebo adaptér	Baterie nebo adaptér
Napájení senzorů	2xAA	2xAA	2xAA	—
Napájení 7v1 senzorů	—	3xAA	3xAAA	—
Solární dobíjení	—	—	Ano	—
Měření kvality ovzduší	—	—	—	Ano
Cena [Kč]	1000	4000	9000	2500
Hodnocení z porovnání [%]	32	66	73	28

2.3 Návrh vlastního konceptu monitorovací stanice

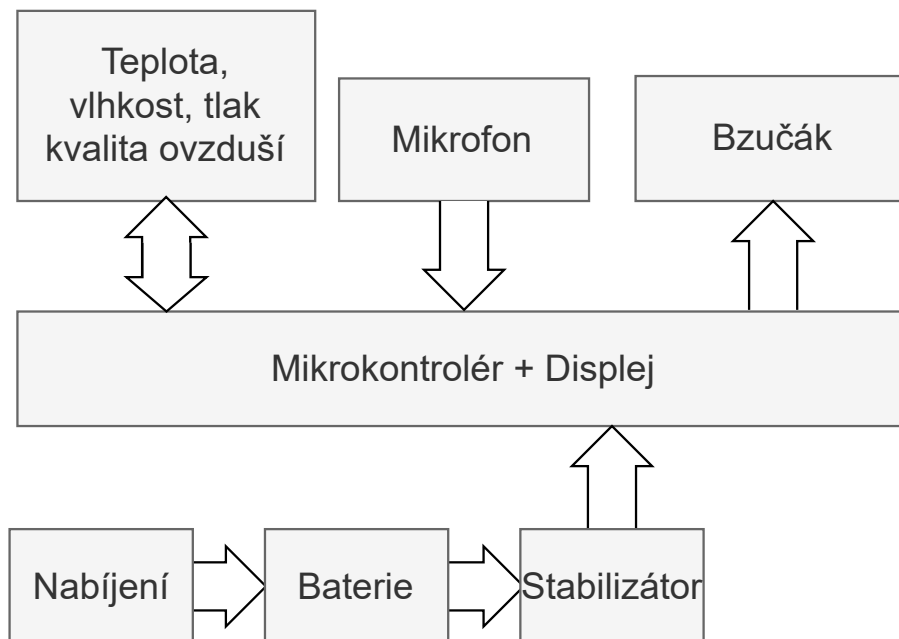
Pro návrh stanice budeme nejdříve vycházet ze základu, který nabízejí stanice již uvedené na trhu, zejména z parametrů již zmiňovaného modelu GARNI 2055. Budeme tedy požadovat schopnost měřit teplotu, tlak, vlhkost, rychlost a směr větru, množství srážek, intenzitu světla a UV záření ve stejné nebo lepší kvalitě. Krom těchto veličin, budeme chtít přidat dále měření vnitřní kvality ovzduší s detekcí plynů a míry hluku.

Dále bude zapotřebí, aby stanice měla přístup k internetovému připojení za pomoci Wi-Fi. Wi-Fi byla zvolena hlavně z důvodu, že je v domácnostech stále nejrozšířenější. Toto připojení může sloužit ke sběru dat z internetu a vlastnímu záznamu historie naměřených dat. Bylo by vhodné taktéž navrhnout webové rozhraní pro konfiguraci stanice a k vizualizaci naměřených dat. Jelikož měříme kvalitu ovzduší, která by mohla detekovat i přítomnost nebezpečných plynných látek ve vnitřních prostorech, tak bychom mohli toto připojení využít ke vzdálenému odeslání informace k uživateli. Wi-Fi komunikace by mohla být použita i pro komunikaci mezi jednotlivými jednotkami.

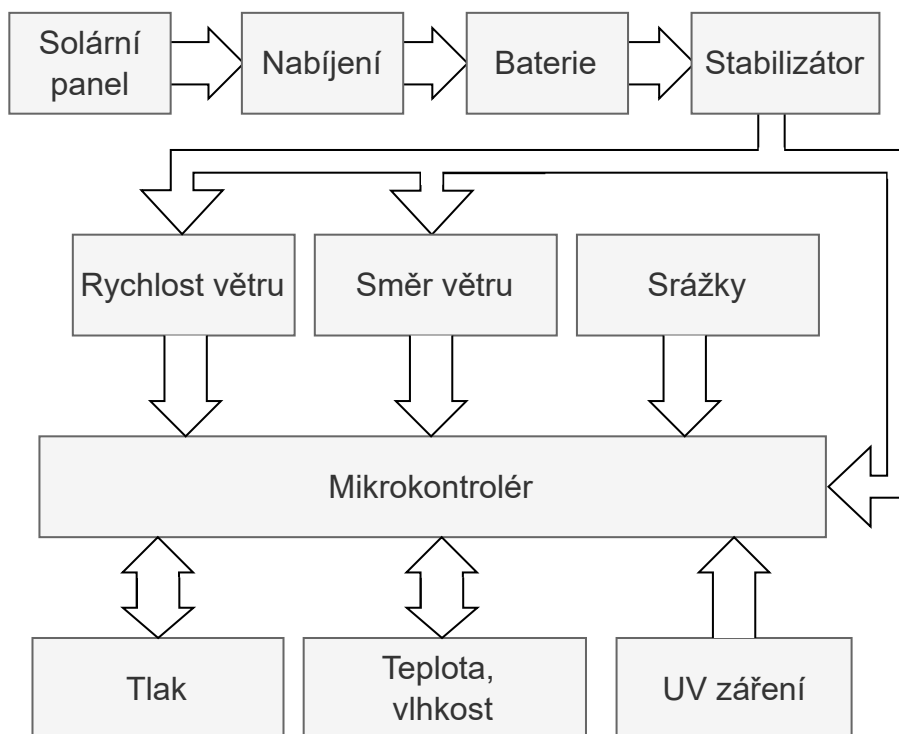
Nově navržená stanice by měla být co nejméně energeticky náročná tak, aby uživatel nebyl nucen k častému dobíjení stanice. Pro tyto účely bude třeba najít nízkoenergeticky náročné senzory a při návrhu mířit na co nejmenší spotřebu celého zařízení. Co se týče samotného napájení, bylo by vhodné spojit možnost samostatného nabíjení vestavěné baterie, ale zároveň aby v případě poškození akumulátoru byla možnost jednoduché uživatelské výměny. Venkovní stanice by po energetické stránce měla být navržena tak, aby byla soběstačná, tedy bez potřeby nabíjení uživatelem. Vhodné by bylo pro tento požadavek využít například solárního nabíjení.

Posledním požadavkem na stanici je samozřejmě cena. Při tvorbě stanice chceme zachovat celkové náklady nízko někde mezi cenou druhou a třetí stanice, ale spíše s cenou blížící se k ceně druhé stanice.

Následující dva blokové diagramy na obr. 2.5 a 2.6. představují návrh vnitřní a venkovní stanice. Jednotlivé bloky diagramů budou probrány v kapitole 4 a 5.



Obrázek 2.5. Blokové schéma vnitřní jednotky



Obrázek 2.6. Blokové schéma venkovní jednotky

Kapitola 3

Principy měření veličin a jejich dopad na člověka

Po seznámení se s konkurencí na trhu a návrhem vlastního konceptu by bylo vhodné se seznámit i s jednotlivými principy měření veškerých veličin, které jsou v plánu měřit. Také je důležité uvést jak mohou tyto veličiny ovlivnit zdraví člověka. Postupně budou rozebrány jednotlivé principy měření.

3.1 Teplota

Teplota v pracovním prostředí má vliv na naši pohodu, efektivnost práce nebo i na správný spánek. Je vhodné tedy kontrolovat teplotu v místnosti a to i podle jejího účelu. Ideální teplota v kanceláři je 20 °C. Pro spánek se ideální teplota pohybuje od 17 až po 19 °C [5].

Teplotu lze všeobecně měřit dvěma způsoby, a to kontaktním a bezkontaktním způsobem.

■ Kontaktní měření

Jak již z názvu vyplývá, jedná se o měření, kdy se senzor dotýká přímo objektu, u kterého se snaží změřit teplotu. Využívá se zde přenosu tepla mezi dvěma objekty, kdy senzor mění své elektrické vlastnosti v závislosti na teplotě jako je například elektrický odpor [6][7].

■ Bezdotykové měření

V tomto případě se senzor nachází v určité vzdálenosti od měřeného objektu. Využívá se zde pyrometrie, tedy jevu, při kterém každé těleso vyzařuje infračervené záření o určité vlnové délce, které jsme schopné detekovat a zjistit tak výslednou teplotu tělesa [6][7].

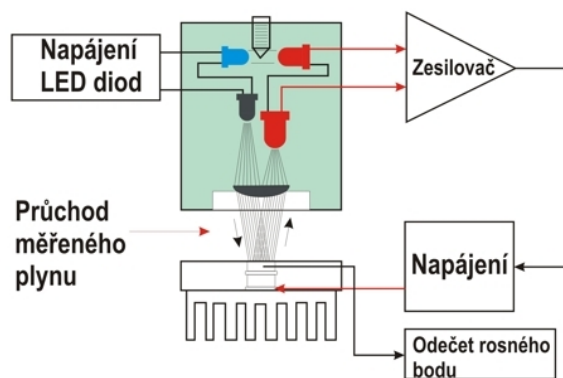
3.2 Vlhkost

Vlhkost vzduchu může mít dopad na zdraví člověka. Při nízké vlhkosti dochází k lepšímu šíření virů a respiračních onemocnění. Taky dochází k rychlejší ztrátě vody v lidském organismu což má za příčinu vysychání sliznice dýchacích cest. Naopak vysoká vlhkost v prostředí podporuje růst plísní, které mají nepříznivý dopad na naše zdraví. Dále vysoká vlhkost zkresluje pocitovou teplotu, neboť nedochází k dobrému odpařování vody z pokožky a tedy k přehřívání organismu. Ideálně by se vlhkost měla pohybovat od 40 do 60 % [8]

Vlhkost vzduchu může být udávána ve dvou hodnotách, a to v absolutní, tedy hmotnost vodní páry v jednotce objemu vzduchu, anebo relativní vlhkost, což je poměr mezi skutečným a maximálním, nasyceným obsahem vody ve vzduchu. Tyto hodnoty jsou udávány v procentech od 0 % do 100 %. V meteorologických stanicích se nejvíce používá měření relativní hodnoty [9][10]. Mezi nejpoužívanější principy měření jsou následující:

■ Kondenzační

Jedná se o metodu, která dosahuje vysoké přesnosti. V senzoru se nachází chlazené kovové zrcátko, u kterého je snímána odrazivost. Při orosení zrcátka dojde ke změně jeho odrazivosti a zpětná vazba zajišťuje chlazení zrcátka tak, aby bylo lehce stále orosené. Poté je pomocí odporového platinového teploměru měřena teplota zrcátka a z intenzity chlazení a snímané teploty je následně odečtena hodnota vlhkosti [9][10]. Princip je vidět na následujícím obrázku 3.1.



Princip kondenzačního vlhkoměru

Obrázek 3.1. Princip kondenzačního vlhkoměru tlaku [10]

■ Odporový

Princip odporového měření spočívá ve vložení elektricky vodivého absorpčního materiálu, který po absorbování vzdušné vlhkosti mění svůj odpor, a z této změny lze zjistit relativní vlhkost vzduchu. Tento princip dosahuje dobré přesnosti, typicky desetiny procent, ale nepokrývá celý rozsah měření vlhkosti. Dále je tento senzor citlivý na kondenzát a nemůže být používán při vyšších teplotách [9][10].

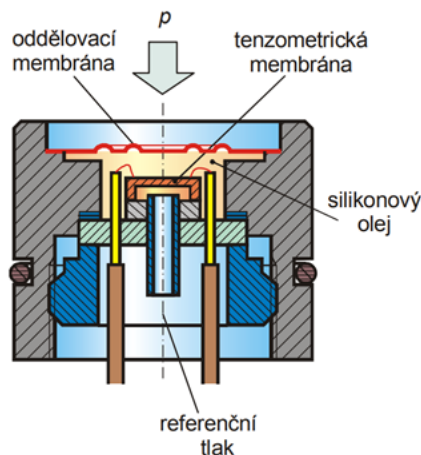
■ Kapacitní

Absorpčního materiálu se využívá i v tomto případě. Měřenou veličinou je kapacita kondenzátoru. Sensory se často vyrábějí tak, že výstupní veličinou je napětí, což je mnohem praktičtější. Tyto senzory mají nízkou závislost údajů na teplotě, jsou odolné proti kondenzátu, ale mají nižší přesnost oproti odporovým, typicky jednotky procent [9][10].

3.3 Tlak

Kondice člověka může být ovlivněna změnou atmosférického tlaku. Tato změna může lehce ovlivnit vnitřní tlak lidského těla, jenž se snaží tělo mírně rozpínat a u citlivějších lidí může docházet k jakémusi vnímání porušeným nervovým zakončením. Prudké změny tlaku mohou ovlivnit krevní tlak či dýchání [11].

Tlakové senzory zpravidla fungují na principu převodu z tlaku na sílu. Tlakoměr se skládá z uzavřené nádoby napuštěné zpravidla silikonovým olejem. Na jedné straně se nachází pružný člen, typicky se jedná o membránu (oddělovací), na který působí tlak, který ho pak prohýbá. Tlak je snímán pomocí senzoru (tenzometrická membrána) a posléze je převeden na elektrickou veličinu, pomocí které se určí výsledný tlak [12][13]. Existují různé elektronické senzory v závislosti na použitém typu snímání, např. kapacitní, piezoelektrické, piezorezistivní apod. Nicméně základní princip je stále stejný a je zobrazen na obr. 3.2.



Obrázek 3.2. Princip senzoru tlaku [12]

3.4 Kvalita ovzduší

Kvalita ovzduší v interiéru spočívá v měření koncentraci jednotlivých látek, které mohou být nebezpečné pro člověka. Může se jednat o nebezpečné plyny, které mohou způsobit i výbuch jako například metan, propan, dále látky, které vznikají při požáru, jako je oxid uhelnatý, ale také se může jednat o látky dlouhodobě vdechované, které mohou mít dopad na naše zdraví (způsobující respirační onemocnění, alergie apod.) [14].

Kvalitou vzduchu v místnostech se odborně zabývá hned několik institucí. Jednak jsou to doporučení Světové zdravotnické organizace, dále to jsou limitní zákony Evropské unie či případné zákony jednotlivých států. V ČR je několik platných zákonů a vyhlášek, které stanovují limity koncentrací škodlivých látek. Mezi tyto zákony patří např. Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví či Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci [14].

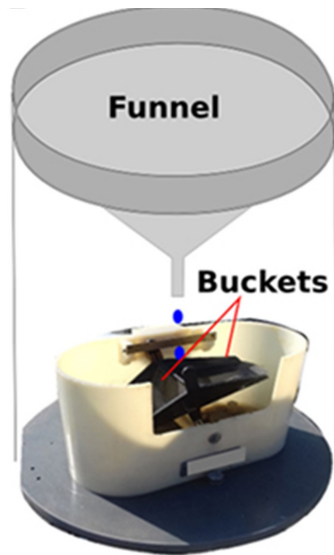
Největší pozornost v domácnostech a pracovním prostředí je věnována oxidu uhličitému. Vzniká oxidací organických látek, spalováním a je taky produktem látkové výměny organismů. Z hlediska kvality ovzduší se jako normální koncentrace oxidu uhličitého pohybuje do 1500 ppm. Vysoká koncentrace nad 5000 ppm může už způsobit nevolnost, dýchací obtíže a další zdravotní rizika. Vysoká koncentrace nad 15000 ppm může vést až ke ztrátě vědomí [15].

Pro měření by bylo nejlepší použití jednoho senzoru, který by uměl rozlišovat a analyzovat jednotlivé složky vzduchu a ty pak porovnávat s limity, nicméně takový senzor neexistuje. Lze analyzovat kvalitu ovzduší jako souhrnný plyn a upozornit na jeho nedostatečnou kvalitu. Pro měření lze použít několik typů senzorů [16]:

- GSS (Gas Sensitive Semiconductor) / MOS (Metal-Oxide Sensor)
Tyto senzory využívají princip interakce molekul plynu s vodivým materiálem, díky kterým mění své elektrické vlastnosti.
- GSE (Gas Sensitive Electrochemical sensor) / EC (ElectroChemical sensor)
Principem detekce je oxidační nebo redukční reakce molekul plynu s materiálem elektrody v elektrolytu. Tím vzniká malý proud, který se následně snímá a zpracovává.

■ Člunkový detektor srážek

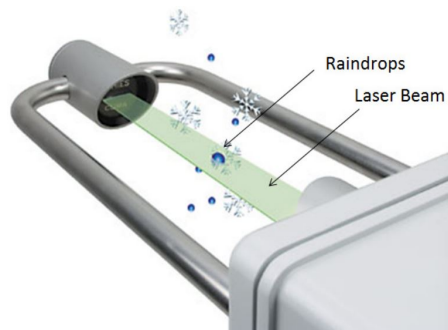
Prvním způsobem je využití tzv. člunkového detektoru na obr. 3.3. Jedná se o detektor složený ze dvou vaniček na houpačce. Do vaničky padá voda a po naplnění určitým množstvím vody dojde k překlopení, sepnutí spínače a vylití vody. Poté se celý proces opakuje s druhou stranou. Z frekvence překlápění a ze známosti objemu vody nutné k překlopení je pak možné zjistit intenzitu a objem srážek [21][22].



Obrázek 3.3. Člunkový detektor srážek (Funnel) - trychtýř, (Buckets) - vaničky [21]

■ Optický detektor srážek

V tomto případě není voda zachytávána do žádné nádoby, ale prochází světelným senzorem. Senzor se skládá z vysílače a přijímače, přesně nastavených proti sobě. Pokud neprší, a tedy není ničím narušen paprsek od vysílače k přijímači, tak intenzita přijatého světla je největší. Jakmile začnou padat kapky skrze senzor, tak kapka zastíní určité množství světla dopadajícího na přijímač, díky čemuž lze určit objem kapky. Taktéž z frekvence zastíňování přijímače lze určit i intenzitu srážek [21]. Příklad senzoru je na obr. 3.4.



Obrázek 3.4. Optický detektor srážek (Raindrops) - dešťové kapky, (Laser Beam) - světelný paprsek [23]

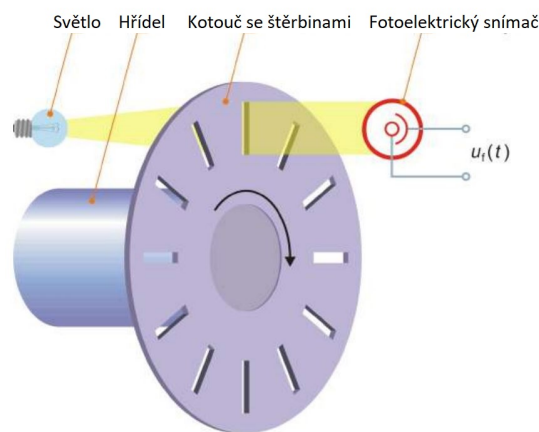
3.7 Rychlost větru

Rychlost větru pomáhá indikovat změnu ve vzorcích počasí, jako je blížící se bouře, což je důležité pro piloty, inženýry a klimatology [24]. Rychlost větru lze definovat i pomocí Beaufortovi stupnice [25].

Pro měření rychlosti větru se využívá anemometr obr. 3.7. Jedná se přístroj, který převádí rychlost větru na rotační pohyb, který je posléze měřen. Základem je část s lopatkami, která se otáčí za pomoci větru, a tento pohyb je snímán. Snímání otáček by mělo být bezkontaktní z důvodu zamezení tření, a tedy i ovlivnění přesnosti samotného měření. Pro tyto účely jsou nevhodnější dva způsoby:

■ Optická závora

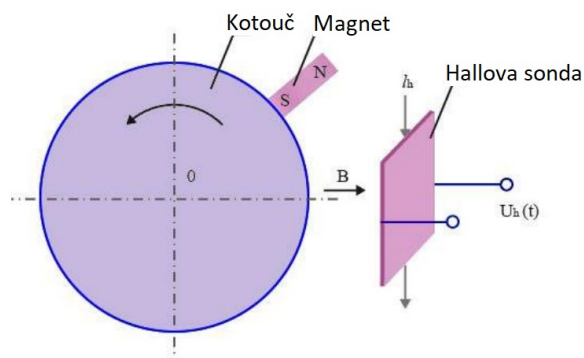
V tomto případě je k části s lopatkami připevněn disk se šterbinami, kterými proniká infračervený paprsek do snímače. Disk poté otáčením způsobuje střídavě zastínění a prosvítání paprsku, čímž vznikají pulzy, ze kterých lze poté odečíst rychlost otáčení, tedy i větru [26]. Princip je uveden na obr. 3.5.



Obrázek 3.5. Princip optického otáčkoměru [27]

■ Magnetický

Druhým a jednodušším způsobem je využití magnetu umístěného v otočné části. Do statické části se umístí jeden či více Hallových senzorů, či magnetických kontaktů. Při pohybu magnetu nad senzory pak dochází k jejich sepnutí a zaznamenání otočky. Z generovaných pulzů spínání senzorů lze poté odečíst rychlost větru [26]. Princip je uveden na obr. 3.6



Obrázek 3.6. Princip magnetického otáčkoměru [27]



Obrázek 3.7. Anemometr pro měření rychlosti větru [28]

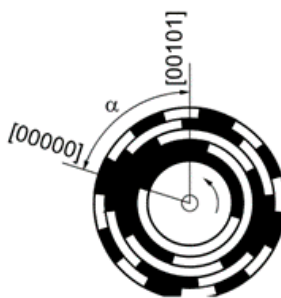
3.8 Směr větru

Směr větru je pro meteorology zásadním měřením, protože směr větru často může poskytnout informace pro budoucí počasí. Je důležité si uvědomit, že měřený směr větru je místo, odkud vítr fouká, nikoli místo, kam fouká. [29]

Směr větru se udává ve stupních azimutu od 0° do 360° (0° - sever, 90° - východ, 180° - jih, 270° - západ) [30]. Pro určení směru větru se využívá pohyblivé směrovky. Využívá se několika principů:

■ Optický

Podstatou je kotouč s řadou stop, v nichž se střídají průsvitná a neprůsvitná místa tak, že vytváří Grayův kód viz obr. 3.8. Ten se z jedné strany prosvěcuje a na druhé straně snímá fotocitlivými prvky. Díky tomu lze pak odečíst absolutní pozici a určit směr natočení.



Obrázek 3.8. Disk s Grayovým kódem [31]

■ Magnetický

V tomto případě je využito několika Hallových senzorů, které jsou přesně rozestavené do kruhu se stejnými úhlovými rozestupy. Po natočení směrovky, ve které je umístěn magnet, je za pomoci Hallových sond vyhodnocena poloha.

3.9 Intenzita zvuku

Zvuk při vyšších intenzitách může výrazně ovlivňovat zdraví člověka. Zvuk s intenzitou nad 30 dB může být nebezpečný pro nervový systém a lidskou psychiku. Zvuk s

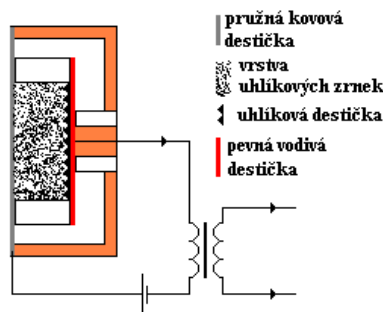
intenzitou nad 60–65 dB působí rušivě na vegetativní nervový systém. Pokud se intenzita zvuku pohybuje nad 90 dB, tak způsobuje poškození sluchu. Při hodnotách nad 100 dB dochází k poškození buněk a tkání.

Díky rozvoji industrializace a průmyslu přibývá okolní hluk. Hluk je pro celý organismus významným alarmujícím podnětem a žádná fyziologická funkce organismu není schopna ignorovat tento podnět [32].

Princip měření hluku neboli intenzity zvuku spočívá v podstatě v měření zvuku. K jeho měření je především zapotřebí zařízení pro zachycení zvuku a tím jsou mikrofony. Mikrofony podle jejich vnitřní konstrukce dělíme následovně:

■ Odporové (uhlíkové)

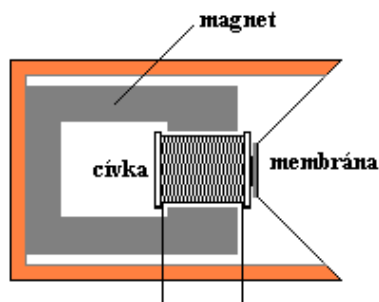
Princip je založen na změnách odporu uhlíkových zrněk, která jsou stlačována pružnou membránou. Princip je zobrazen na obrázku 3.9 Tlakem, kterým působí membrána na uhlíková zrnka se mění odpor. Dojde tedy ke změně stejnosměrného proudu na modulovaný, který pak zaznamenáváme [33][34].



Obrázek 3.9. Princip uhlíkového mikrofonu [33]

■ Elektrodynamické

Tyto mikrofony pro svojí činnost využívají elektromagnetickou indukci. Princip zobrazen na obrázku 3.10. K membráně je připevněna cívka (nebo jiný vodič), na které se díky pohybu v magnetickém poli permanentního magnetu indukuje časově proměnné napětí. Toto napětí pak odpovídá podobě zvukového signálu [33][34].



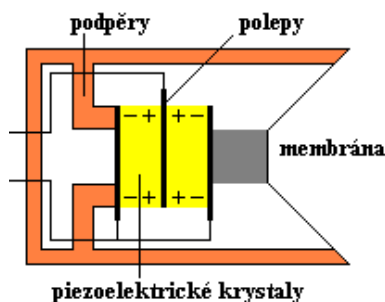
Obrázek 3.10. Princip elektrodynamického mikrofonu [33]

■ Elektromagnetické

Pracují na stejném principu jako elektrodynamické mikrofony. V tomto případě je snímací cívka pevná a místo ní je s membránou spojena feromagnetická kotva, která svým pohybem mění magnetický indukční tok cívkou. Tímto způsobem se pak v ní indukuje signál, který kopíruje zvuk [33][34].

■ Krystalové

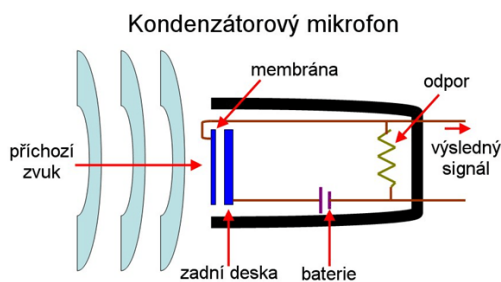
Jsou založeny na piezoelektrickém jevu. Membrána přenáší tlak na piezoelektrické destičky, na kterých vzniká napětí, které opět odpovídá zaznamenanému zvuku [33][34]. Princip je na následujícím obrázku 3.11.



Obrázek 3.11. Princip krystalového mikrofonu [33]

■ Kondenzátorové

V těchto mikrofonech se nachází kondenzátor, který má jednu elektrodu pevnou a druhou pohyblivou. Pohyblivá elektroda je připojena k membráně, která svým chvěním mění vzdálenost mezi elektrodami a tím dochází ke změně kapacity a akumulovaného náboje. Náboj můžeme získat buď pomocí stejnoměrně polarizovaného napětí, nebo pomocí elektretu. Jedná se o materiál, který nese permanentní elektrický náboj a je nanesen na jedné elektrodě [33][34]. Princip je na následujícím obrázku 3.12.



Obrázek 3.12. Princip kondenzátorového mikrofonu [35]

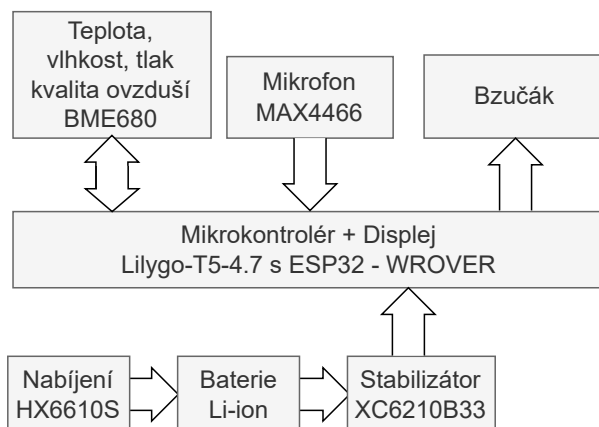
Kapitola 4

Vnitřní stanice

Nejprve se zaměříme na vnitřní stanici, která je jak do konstrukce tak i do elektrického zapojení jednodušší oproti venkovní stanici. Je zde potřeba zvolit správné senzory, navrhnout elektrické zapojení a v konečné fázi mechanické díly.

4.1 Návrh bloků stanice

Následující návrh bloků vychází z blokového diagramu na obr. 2.5. Pro připomenutí je zde uvedený opět na obr. 4.1 spolu i se zvolenými komponenty.



Obrázek 4.1. Blokový diagram vnitřní stanice

4.1.1 Blok mikrokontroléru a displeje

Pro zpracování a následnou vizualizaci byl zvolen modul LilyGO TTGO T5-4.7. Jedná se o modul, který je vybaven 4.7" E-ink displejem s rozlišením 540x960px. Displej je poháněn mikrokontrolérem ESP32-WROVER-E [36]. Proč byl zvolen právě tento modul? Nejdříve bylo třeba rozhodnout o displeji.

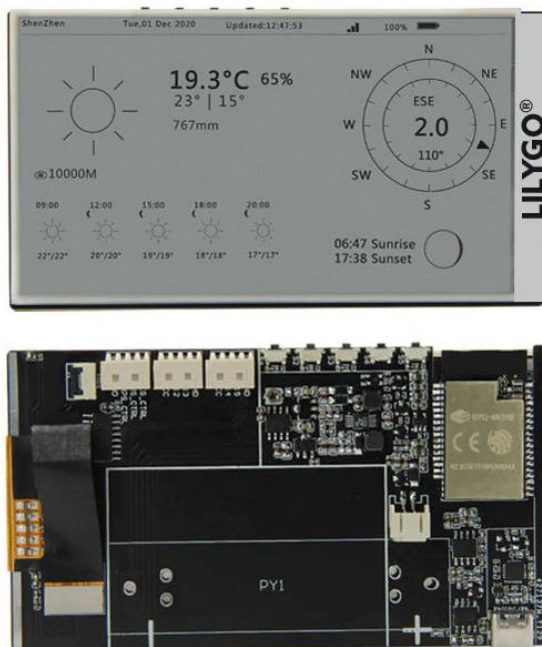
Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.2 tak použití různých LCD displejů by mělo dopad na spotřebu energie, proto nejsou pro naši stanici vhodné. Vhodnějším řešením je použití elektronického inkoustu tkz. E-ink. Tento displej obsahuje do matice poskládané mikro kapsle, které jsou naplněny čirou tekutinou, černými a bílými částicemi. Když je poté přiloženo elektrické napětí na mikro kapsli, tak potom negativně nabitě černé částice postupují jedním směrem a kladně nabitě bílé částice směrem opačným. Při obrácení elektrického napětí si částice prohodí pozice. Tyto pozice zůstávají částicím i po odpojení od napájení [37].

Na rozdíl od konvenčních displejů (LCD, LED, OLED apod.) E-ink displej světlo nevydává, ale odráží stejně jako obyčejný papír, díky tomu má i velké pozorovací

úhly. Velkou výhodou těchto displejů je fakt, že k udržení zobrazených informací nepotřebuje žádné napájení. Displej spotřebovává elektrickou energii pouze, pokud dochází k aktualizaci zobrazované informace na displeji. Díky tomu má extrémně nízkou spotřebu energie, a je proto perfektním zobrazovacím zařízením pro aplikace s bateriovým napájením.

Poté bylo třeba zvolit vhodný mikrokontrolér. Jelikož požadujeme malou spotřebu a připojení k domácí síti prostřednictvím Wi-Fi, tak nejlepší volbou bylo využít mikrokontrolér ESP32, nástupce mikrokontrolérů ESP8266. Jedná se o výkonný modul, který podporuje bezdrátovou komunikaci přes Wi-Fi, Bluetooth a má širokou oblast použití. Především najde uplatnění pro nízkoenergeticky náročné aplikace díky schopnosti přejít do režimu spánku.

V našem případě se bude jednat o verzi ESP32-WROVER. Čip obsahuje dvě procesorová jádra Xtensa® 32-bit LX6, která mohou být individuálně řízená. Taktovací frekvence jader mohou být nastavená v rozpětí od 80 MHz do 240 MHz. Procesoru pro práci využívá paměť ROM o velikosti 448KB, dále SRAM o velikosti 520 kB a také vestavěná flash paměť o kapacitě 4 MB. Tato verze navíc obsahuje 8 MB SPI pseudo statickou RAM paměť (PSRAM), která se hodí při používání ESP32 spolu s displeji. ESP dále obsahuje 48 programovatelných vstupně/výstupních pinů. Pro komunikaci lze využít bezdrátové připojení a to buď 802.11b/g/n Wi-Fi a nebo 4.0 Bluetooth. Spotřeba v režimu spánku je pouhých 5 μ A. [38]. Modul LilyGO spojuje jak e-ink displej tak právě zmíněný mikrokontrolér v jednom modulu. Kromě ESP32, obvodů pro nabíjení a ovládání displeje, tak obsahuje i dodatečnou 16 MB EEPROM paměť pro ukládání například grafiky pro displej. Modul je vidět na obr. 4.2.



Obrázek 4.2. LilyGO TTGO T5-4.7 [39]

■ 4.1.2 Blok měření teploty, vlhkosti, tlaku a kvality ovzduší

Tento blok je realizován jediným modulem a to BME680[40] od společnosti Bosh. Jedná se o jeden z prvních plynových senzorů, který integruje vysokou přesnost měření kvality ovzduší, teploty, vlhkosti a tlaku. Byl speciálně vyvinut pro mobilní zařízení či jednoduše přenositelná zařízení, kde je nutno zachovat co nejmenší velikost a zároveň co nejnižší elektrickou spotřebu. Senzor je tedy velice vhodný pro naše měření v interiéru. Rozsah měřené teploty je $-40 - 85$ °C, dále tlak v rozsahu 300-1100 hPa, vlhkost v rozsahu 0-100 % RH a index kvality ovzduší od 0 do 500. Senzor v ultra úsporném režimu spotřebovává 0,1 mA s dobou odezvy 1 s. [40]. BME680 je schopen detekovat širokou škálu různorodých plynů k měření kvality ovzduší, jako jsou například ethanol, oxid uhelnatý, propan apod.

Princip senzoru je založen na MOX senzoru, kdy při zahřátí oxidu kovu se mění odpor na základě těkavých organických látek obsažených ve vzduchu. Krom detekce plynů, je možností tímto senzorem odhadnout obsah oxidu uhličitého v místnosti kdy se jedná o eCO₂. [40]. Senzor je připojen na I2C sběrnici mikrokontroléru. Senzor je zobrazen na obr. 4.3.



Obrázek 4.3. Senzor BME680 [41]

■ 4.1.3 Blok měření intenzity zvuku

Hluk neboli intenzita zvuku se udává v decibelech. Jeho měření však není jednoduché. Pokud chceme zachovat malou velikost stanice a i její cenu, tak si budeme muset vystačit pouze s mikrofonom. Blok je realizován pomocí mikrofону MAX 4466 [42] s integrovaným zesilovačem. Výstup mikrofону je analogový a je připojen k IO13 mikrokontroléru. Mikrofón sám jako takový neměří intenzitu zvuku a je jí třeba určit z naměřených dat mikrofону. Intenzitu můžeme určit například tak, že využijeme referenční měřicí přístroj intenzity zvuku a mikrofón dle něj zkalibrujeme.

■ 4.1.4 Blok bzučák

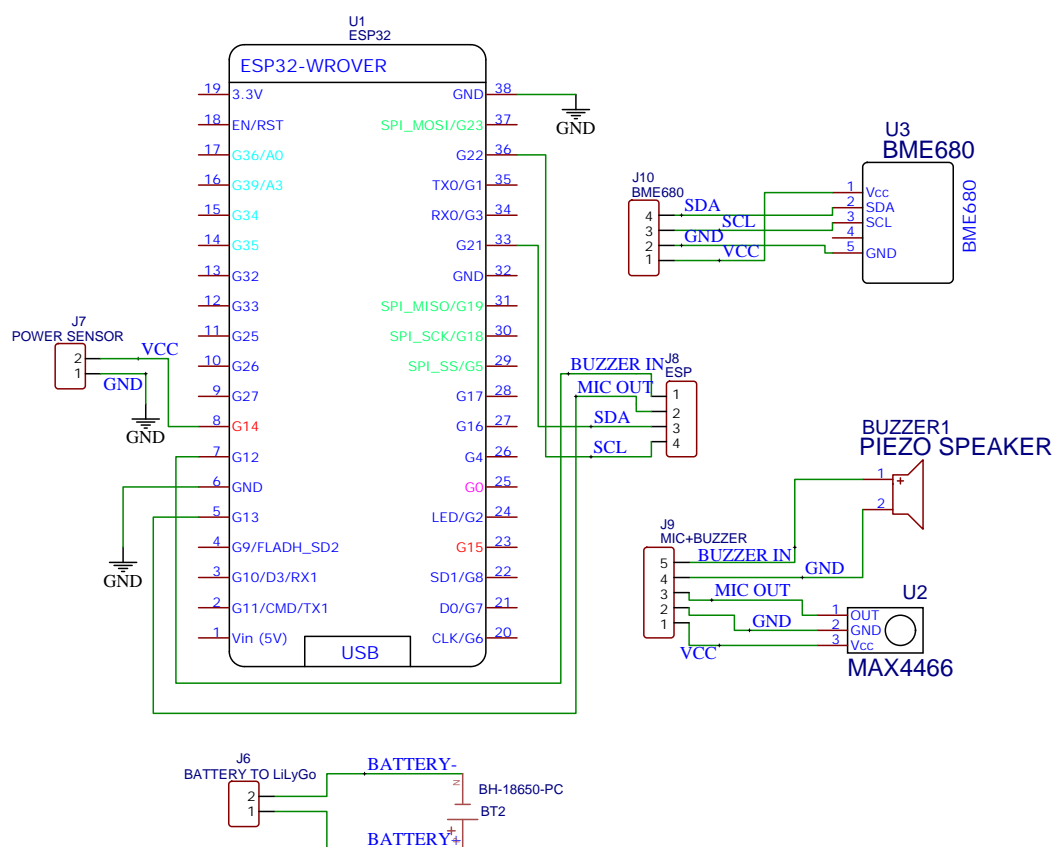
Pokud by stanice naměřila vyšší hodnoty, než jsou přípustné, tak by měla být schopna upozornit uživatele o hrozícím nebezpečí. Blok je realizován pomocí aktivního bzučáku. Jedná se o součástku generující hlasitý tón. Hlasitost dosahuje až 85 dB u zdroje zvuku [43]. Bzučák je připojen na IO12 mikrokontroléru, kterým je ovládán.

■ 4.2 Elektrické zapojení vnitřní stanice

Elektrické zapojení senzorů zde není příliš složité. Ačkoliv se na modulu LilyGO TTGO T5-4.7 nacházejí již před-připravené konektory, tak pro naše použití nejsou příliš vhodné. Při testování se totiž ukázalo, že ačkoliv je na konektorech k dispozici

krom datových pinů i napájení, tak toto napájení se při uvedení ESP32 do režimu spánku nevyplne a zbytečně se spotřebovává energie na senzorech. Dále se na vyvedených datových pinech do konektorů nenachází výstup pro komunikaci po I2C, která je pro nás důležitá.

Bylo tedy zvoleno řešení, při kterém se navrhne propojovací DPS. Do desky budou přivedeny signály ze senzorů a ty následně přivedeny na ESP32. Propojení s ESP32 nebude realizováno skrze dostupné konektory, ale jednotlivé datové piny budou na přímo připojené k samotnému ESP32. Celá vnitřní jednotka pak bude napájena baterií 18650 3,7 V s kapacitou 3000 mAh. Baterie bude umístěna přímo na propojovací desce. Následující obrázek 4.4 ukazuje připojení jednotlivých senzorů přes propojovací desku.



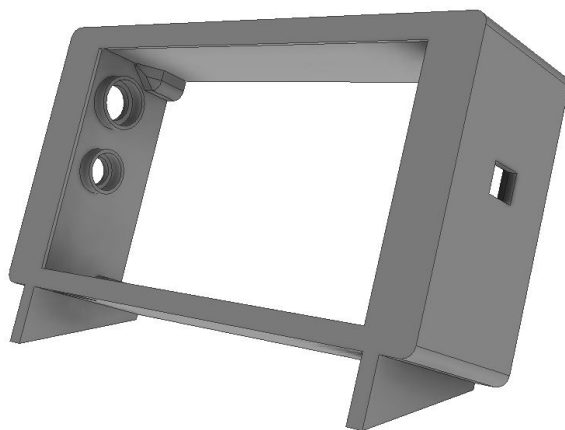
Obrázek 4.4. Schéma zapojení senzorů přes propojovací desku

Baterie je nutné chránit před přepětím a podvybitím, jinak by mohlo dojít k nenávratnému poškození. Tento problém je již vyřešen přímo na desce, na které se nachází nabíjecí obvod HX6610S. Nabíjení se provádí 5V zdrojem pomocí USB-C. Napájení je pak distribuováno k dalším komponentám jako je ESP32, řadič displeje a EEPROM paměť.

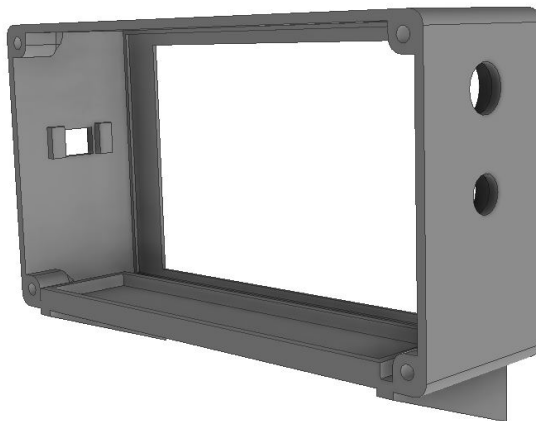
4.3 Návrh 3D modelů krabiček vnitřní stanice

Kromě elektrických částí, bylo potřeba navrhnout krabičku, do které se umístí displej a senzory. Veškerý návrh 3D modelů probíhalo pomocí programu Autodesk Inventor, při návrhu jednotlivých částí, byla snaha navrhnout jednotlivé díly tak, aby byly co nejjednodušší pro tisknutí na 3D tiskárně a taktéž jednoduše poskládány dohromady.

Krabička se skládá ze dvou částí, předního panelu a zadního krytu. V přední části bylo potřeba vhodně rozmístit jednotlivé senzory. Nejnáchylnějším senzorem na umístění je BME680. Jelikož senzor snímá teplotu, může být lehce ovlivněn teplem vyzařovaným z ESP32. Bylo třeba senzor umístit co nejdále od ESP32. Byl tedy umístěn na druhou stranu od ESP32. Senzor intenzity zvuku a bzučák mohl být umístěn do blízkosti ESP32, neboť nejsou příliš náchylné na teplo. Nachází se tedy na opačné straně oproti senzoru BME680. Ve spodní části předního panelu se nachází místo pro uložení desky s baterií a konektory. Samotný displej je pak samozřejmě umístěn v přední části a dále se na horní části předního panelu nachází otvory pro tlačítka, které jsou umístěné na samotném displeji. Následující obr. 4.5 a 4.6 ukazují výsledný návrh.



Obrázek 4.5. Přední panel vnitřní stanice 1



Obrázek 4.6. Přední panel vnitřní stanice 2

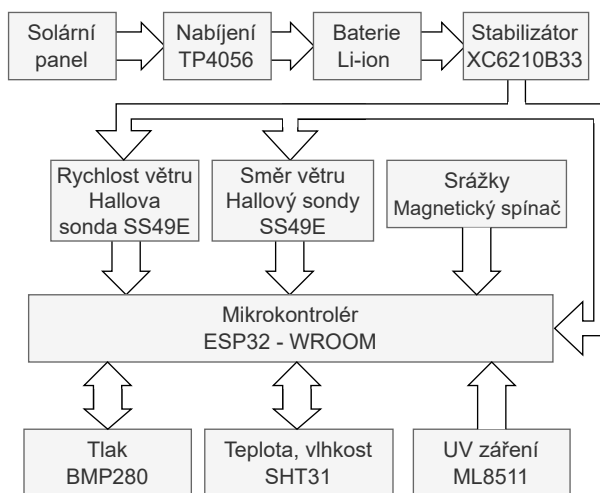
Kapitola 5

Venkovní stanice

Venkovní stanice oproti vnitřní se skládá z vícero částí a senzorů. V případě senzorů pro měření povětrnostních podmínek a deště se již na trhu nachází hotová řešení, nicméně jejich pořizovací cena je dosti vysoká oproti tomu co v sobě obsahují. Tedy bylo rozhodnuto tyto senzory navrhnout a vyrobit. S tím je spojeno i mnohem více mechanických a konstrukčních částí, které bylo třeba taktéž navrhnout a zkonstruovat. Dále bylo třeba navrhnout obvodové zapojení napájení stanice a také zapojení jednotlivých senzorů.

5.1 Návrh bloků stanice

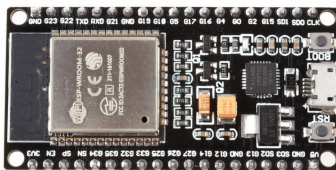
Následující návrh bloků vychází z blokového diagramu na obr. 2.6. Pro připomenutí je zde uvedený opět na obr. 5.1 spolu i se zvolenými komponenty.



Obrázek 5.1. Blokový diagram venkovní stanice

5.1.1 Blok mikrokontroléru

Blok mikrokontroléru je realizován podobným mikrokontrolérem jako v případě vnitřní stanice viz obr. 5.2. V tomto případě se jedná o mikrokontrolér ESP32-WROOM. Jedná se o takřka identický čip jako je ESP32-WROVER. Hlavní rozdíl mezi čipy spočívá v tom, že verze WROVER má navíc 8MB PSRAM paměť. Jinak se jedná o stejné mikrokontroléry. Informace o mikrokontroléru jsou zmíněny již v kapitole 4.1.1.



Obrázek 5.2. ESP32-WROOM dev board [44]

■ 5.1.2 Blok měření teploty a vlhkosti

Blok je realizován modulem SHT31 [45] viz obr. 5.3. Jedná se o digitální nízkoenergeticky náročný senzor pro měření relativní vlhkosti a teploty. Dokáže měřit teplotu v rozsahu $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Relativní vlhkost pak měří v rozsahu $0 - 100\%$ s přesností 2% [45]. Senzor je připojený na I2C sběrnici mikrokontroléru ESP32.



Obrázek 5.3. Senzor SHT31 [44]

■ 5.1.3 Blok měření tlaku

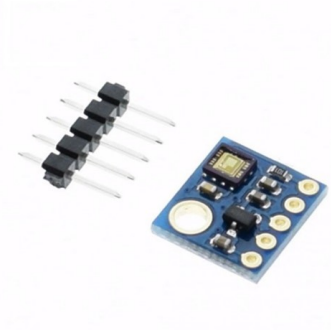
Obdobně jako v případě teploty a vlhkosti je použit pro tento blok již hotový senzor BMP 280 [46] viz obr. 5.4. Jedná se o senzor barometrického tlaku speciálně designovaného pro mobilní nízko odběrové aplikace, díky tomu je vhodný pro bateriové napájení. Senzor má rozsah rozlišení $300 - 1100\text{ hPa}$. Je založen na piezorezistivním tlakovém senzoru [46]. Modul je obdobně jako v předchozím případě připojen k I2C sběrnici mikrokontroléru ESP32.



Obrázek 5.4. Senzor BMP280 [44]

■ 5.1.4 Blok měření UV záření

Pro blok snímání UV záření byl použit modul ML8511 [47] zobrazený na obr. 5.5. Jedná se o senzor pro měření ultrafialového záření. Výstupem je analogový signál o síle v závislosti na množství UV záření, které je detekováno. Tento senzor detekuje 280-390 nm nejefektivněji. To je kvalifikováno jako část UVB spektra a většina UVA (opalovací paprsky) spektra. Výstupem je analogové napětí, které je přímo úměrné naměřené intenzitě UV záření (mW/cm^2) [47]. Analogový výstup senzoru je připojen na IO4 mikrokontroléru.



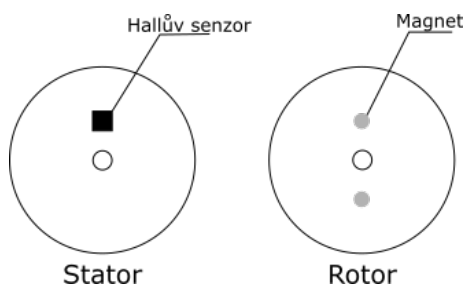
Obrázek 5.5. Senzor ML8511 [44]

■ 5.1.5 Blok měření rychlosti větru

Rychlost větru, jak již bylo zmíněno v 3.7, se v meteorologii měří za pomoci anemometru. Jedná se o konstrukci, složenou z rotoru a statoru. Senzor počítá počet otáček za určitý čas a z něj je pak vypočtena rychlost. V kapitole byly zmíněny dva senzory, optický a magnetický. Pro vlastní konstrukci bylo rozhodnuto použít magnetický princip z důvodu jednoduchosti konstrukce. V tomto případě je potřeba umístit do rotoru zdroj magnetického pole a do statoru snímač, který bude zaznamenávat změnu magnetického pole. Pro zdroj magnetického pole v rotoru byl zvolen trvalý neodymový magnet. Ke snímání magnetického pole lze použít dva jednoduché způsoby.

Prvním je použití magnetického jazýčkového kontaktu. Tento kontakt je v základu rozepnut a jeli k němu přiloženo magnetické pole tak se sepne, nicméně je nutno se spoléhat, že se vždy kontakt sepne, i když je magnetu vystaven jen krátce, tedy mohou nastat drobné chyby v měření. Dalším problémem tohoto senzoru je jeho relativní křehkost. Druhým způsobem pro snímání byla možnost použít Hallovy sondy, které snímají kontinuálně změny magnetického pole a jsme schopni analogově zaznamenávat jeho intenzitu. Výstup Hallovy sondy je přiveden na IO27 mikrokontroléru.

Z důvodu životnosti a také faktu, že rychlost větru nebude měřena kontinuálně, bylo rozhodnuto použít Hallovu sondu SS49E [48] pro snímání otáček. Do statoru je tedy umístěna Hallova sonda a do rotoru dva neodymové magnety. Bylo použito vícero magnetů z důvodu lepšího rozlišení senzoru. Způsob rozmístění sondy a magnetů ukazuje obr. 5.6.



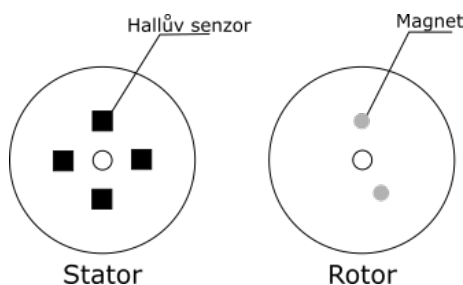
Obrázek 5.6. Rozmístění Hallových senzorů a magnetů pro senzor rychlosti větru

5.1.6 Blok měření směru větru

Další senzor, který bylo nutno navrhnout, je senzor směru větru. Obdobně jako senzor rychlosti větru má možné dva přístupy ke snímání natočení, principy jsou popsány v 3.1.8. Optický princip dosahuje vysoké přesnosti a rozlišení, nicméně pro běžného uživatele je zpravidla postačující znát 8 základních směrů. Tedy hlavní směry sever, jih, východ a západ a dále vedlejší, které se nachází mezi hlavníma jako jsou severovýchod, severozápad, jihovýchod a jihozápad. Tyto směry dokážeme dobře detekovat i magnetickým přístupem. Výhodou magnetického přístupu je taky fakt, že pořizovací cena optických senzorů je daleko vyšší než je cena Hallových sond a pokud přijmeme fakt, že nám stačí oněch 8 směrů tak je vhodnější použít magnetický princip.

Jelikož je požadováno 8 směrů, mohlo by se zdát, že je třeba použít 8 Hallových sond. Nicméně to není vhodné řešení z pohledu elektrické spotřeby. Bylo třeba navrhnout způsob, který by dokázal rozeznat všech 8 směrů, ale se snížením počtu Hallových sond. Kromě počtu Hallových senzorů a jejich pozice můžeme dále měnit počet a pozici magnetů, které nám vytváří magnetické pole, které snímáme. Kombinací těchto způsobů bylo docíleno konfigurace zobrazené na obr 5.7.

V tomto případě jsou použity pouze 4 Hallové sondy SS49E [48], které jsou umístěny v 90° rozestupech. Dále jsou použity 2 neodymové magnety, které mají v jednom směru rozestup 120° a mají navzájem opačnou polaritu. Tímto nám vzniknou dva různé ukazatele směru, díky kterým můžeme nakonec určit směr natočení stříelky. Výstupy jednotlivých Hallových sond jsou přivedeny na piny IO32-35 mikrokontroléru. Princip určení směru je pak popsán v softwarové části stanice 6.2.2



Obrázek 5.7. Rozmístění Hallových senzorů a magnetů pro senzor směru větru

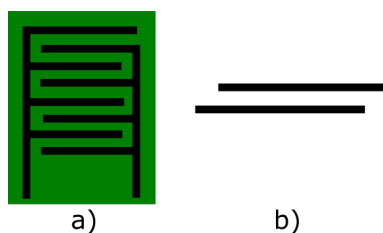
5.1.7 Blok měření srážek

Posledním senzorem, který je nutno navrhnout je senzor srážek. V kapitole 3.6, byly představeny dva způsoby měření srážek a to pomocí člunkového a optického senzoru. Z počátku kvůli přesnosti byla snaha sestavit optický senzor. Pro optickou bránu byly

použity dvě infračervené diody. Jedna jako vysílač a druhá jako přijímač. Následně probíhalo testování senzoru, které odhalilo několik problémů. Jedním z problémů bylo, že aby senzor fungoval správně, tak je třeba aby byla optická brána stále aktivní a tím pádem i napájena. Toto řešení by nebylo ale příliš efektivní z hlediska spotřeby když dlouho neprší. Byla tedy snaha přidat dodatečný senzor, který by pouze detekoval déšť (žádné měření) a nebyl by energeticky náročný.

Nápad byl prostý, jelikož dešťová voda je do určité míry vodivá, tak by dokázala vodivě spojit obvod jako spínač. Pro tento test byly navrženy hřebeny, na které by dopadala kapka a ta by pak propojila hřebeny viz obr. 5.8. Hřebeny byly navrženy dvojím způsobem.

Prvním bylo navržnutí DPS, které bylo posléze otestováno. Dopad kapky dokázal spojit obvod, ale kapka na desce zůstala. Je třeba aby se senzor, potom co přestane dešť, vypnul. Tedy aby nebyla na něm žádná kapka. Různým náklonem desky byla snaha o to aby kapka odtekla pryč. To bohužel příliš nepomohlo, občas totiž spoj zůstával spojený a tedy i bez deště by tento senzor vysílal falešnou zprávu o dešti. Od desky bylo upuštěno a byla ještě snaha použít pouze vodiče. Tento přístup byl lepší než použití desky. Senzor fungoval lépe, ale i tak docházelo k falešné detekci deště z důvodu ulpění kapky mezi vodiči.



Obrázek 5.8. a) Hřebeny na DPS b) Použití vodičů

Dalším problémem je fakt, že IR diody spotřebovávají nemalé množství proudu (řádově jednotky mA) a pokud by byl dlouho déšť a nebo by jen zůstal senzor deště falešně sepnut, tak by docházelo ke zbytečné spotřebě energie. Po tomto testování bylo od tohoto řešení upuštěno a bylo rozhodnuto snížit přesnost za cenu nízké spotřeby a přešlo se k řešení s člunkovým senzorem.

Tento senzor je jak do konstrukce, tak i do funkčnosti jednodušší než optický senzor. Princip byl již popsán v kapitole 3.6. Senzor se skládá z několika částí. Trychtýře, po kterém stéká zachycená voda, vaničky pro zachycení vody a spínače, který vyše signál při překlopení vaničky. Spínač je zde jediná elektronická část. Bylo třeba zvolit vhodné řešení které by nespotebovávalo příliš energie. Jedna z možností by byl mechanický spínač, který by se stiskl na jednom či druhém dorazu vaničky. Bohužel by mohla nastat situace, kdyby se spínač nárazem nemusel stisknout. Vhodnějším řešením je použití elektromagnetického spínače, buď v podobě Hallové sondy a nebo magnetického jazýčkového kontaktu.

V senzoru pro učení směru větru a jeho rychlosti byly použity Hallové sondy. To jsme si mohli dovolit, neboť měření neprobíhalo kontinuálně ale jen krátce jednou za čas. Při měření srážek, jak již bylo řečeno, je potřeba nepřetržitého snímání deště. Jelikož se nám v případě optického senzoru nepovedlo navrhnout senzor pro detekci deště, tak by to znamenalo, že by Hallova sonda běžela neustále. To by znamenalo vysokou spotřebu energie a tomu se chceme vyvarovat. Bude vhodnější použít magnetický jazýčkový kontakt. Ten bude spínáný za pomoci magnetu, který bude umístěn

ve vaničce a při každém překlopení dojde k sepnutí obvodu. Sepnutí je detekováno na pinu IO26.

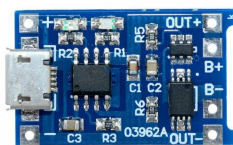
5.2 Elektrické zapojení venkovní stanice

Stěžejní částí venkovní stanice bylo obvodové zapojení. Je zde potřeba vyřešit napájení senzorů, mikrokontroleru a to optimalizovat pro nízkou spotřebu. Více o měření a optimalizaci spotřeby je uvedeno v kapitole 8.1.

5.2.1 Návrh napájení

Nejprve je třeba navrhnout systém napájení senzorů a mikrokontroleru. Celá jednotka bude bateriově napájena s možností dobíjení za pomoci solárního článku, tak aby byla co nejvíce soběstačná. Je třeba vybrat vhodnou baterii a vyřešit způsob jejího nabíjení. Jako dobíjecí baterii jsem se rozhodl zvolit Li-Ion akumulátor 3,7 V s kapacitou 3000 mAh. Jedná se o článek který je běžně dostupný a hojně se používá v různých aplikacích. Byl zvolen s dostatečnou kapacitou aby dokázal udržovat stanici dlouho napájenou i v nepříznivém počasí bez možnosti dobíjení. Tyto baterie ale mají pár úskalí, na které je třeba si dát pozor. Baterii nemůžeme nabíjet jen přímým zapojením na zdroj energie jak již bylo řečeno v kapitole 4.2. Bylo třeba přidat obvod který se stará o správné nabíjení akumulátoru a chrání ho před předpětím či podvybitím.

Pro tuto ochranu a kontrolu nabíjení byl zvolen modul s nabíjecím čipem TP4056 a ochranným čipem DW01A, který chrání baterii před podvybitím a přehříváním viz obr. 5.9. Modul operuje se vstupním napájením v rozsahu 4,5-6 V a maximálním nabíjecím proudem 1 A. Samotný modul při provozu spotřebovává přibližně 5 μ A [49]. Na tomto modulu se nacházejí indikační LED diody, které informují uživatele o stavu nabíjení. Tyto diody byly odstraněny, z důvodu úspory energie. Ačkoliv se nejedná o nejvhodnější modul pro řešení nabíjení pomocí solárního článku, tak bylo toto řešení zvoleno z důvodu velmi nízké pořizovací ceny modulu a taky faktu, že účinnost nabíjení modulem je dostačující.



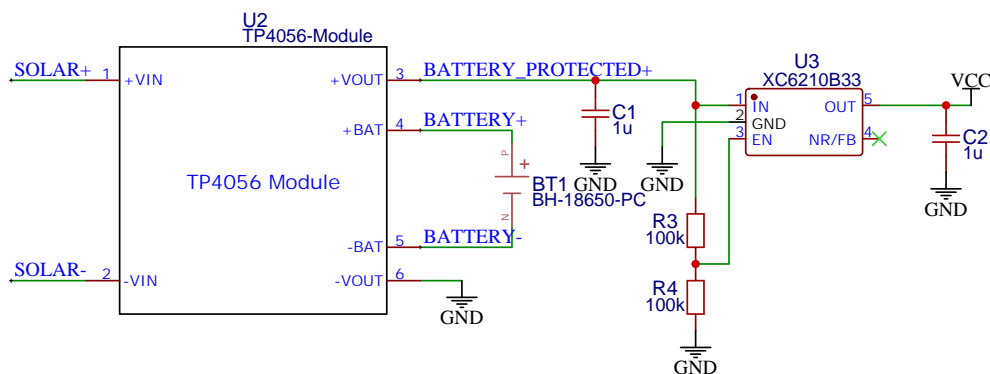
Obrázek 5.9. Modul TP4056 s ochranou DW01A [44]

Dobíjení baterie zajišťuje solární panel který má výstupní napětí 6 V a maximální dodávaný proud 150 mA [50]. Pro naše potřeby, s ohledem na použité součástky, je tento panel dostatečný. Více o tom v kapitole 8.1.2.

Nyní je třeba vyřešit napájení senzorů a mikrokontroleru. Mikrokontroler může být napájen buď 5 V a nebo 3,3 V, stejným napětím mohou být napájeny i senzory. Pokud bychom chtěli vše napájet 5 V, tak bychom museli použít nějaký druh DC/DC měniče, nicméně v tomto případě by docházelo ke zbytečným ztrátám z důvodu převodu nižšího napětí na vyšší. Lepší je tedy napětí baterie stabilizovat na hodnotu 3,3

V. Zde je nutné vybrat správný regulátor napětí. Hlavními parametry je vstupní a výstupní napětí, maximální možný výstupní proud, vlastní spotřeba a nakonec maximální rozdíl mezi vstupním a výstupním napětím. Jako vhodný regulátor byl zvolen XC6210B33.

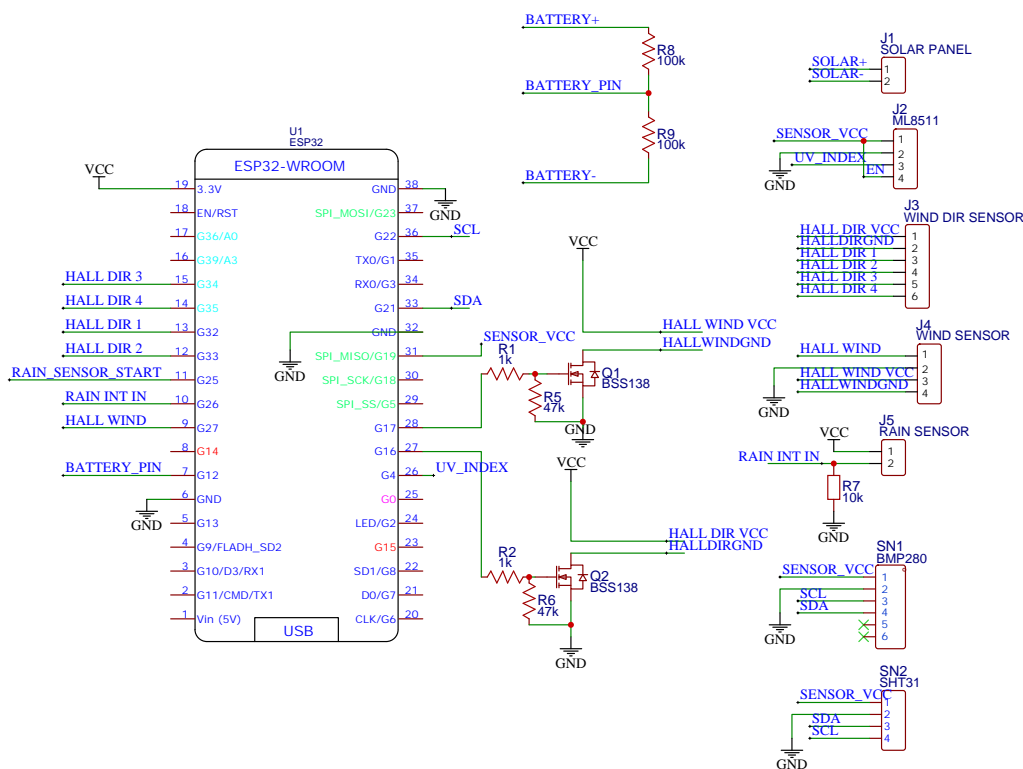
Jedná se o LDO regulátor. Pracovní vstupní napětí je v rozsahu 1,5-6 V a maximální výstupní proud 700 mA. Sám o sobě má nízkou spotřebu okolo 35 μA [51]. Výsledné obvodové zapojení celého napájení je na následujícím obr. 5.10.



Obrázek 5.10. Schéma nabíjení a napájení stanice

5.2.2 Zapojení a ovládání napájení senzorů

Po vyřešení napájení, bylo třeba navrhnout výsledné zapojení s mikrokontrolérem ESP32 a ostatními senzory. Zapojení je vidět na následujícím obr. 5.11.



Obrázek 5.11. Schéma zapojení jednotlivých senzorů

Senzory nebudeme z důvodu úspory energie a taky z důvodu, že měření neprobíhá kontinuálně napájet stále. Je tedy nutné navrhnout způsob ovládní napájení senzorů. Nízko odběrové senzory pro měření teploty, vlhkosti, tlaku a UV záření mohou být napájeny přímo z pinu ESP32. Jejich souhrný odběr je do jednoho mA a dle datasheetu je možné z pinu odebírat až 20 mA. Hallové sondy, ačkoliv jejich celkový odběr by měl výstupní pin zvládnout, tak by bylo vhodnější jejich napájení ovládat za pomoci MOSFETů Q1 a Q2. Lepší je to z toho důvodu, že při vyšším odběru z pinů ESP32 by mohlo dojít k poklesu napětí a tedy změně výstupních hodnot Halloových sond.

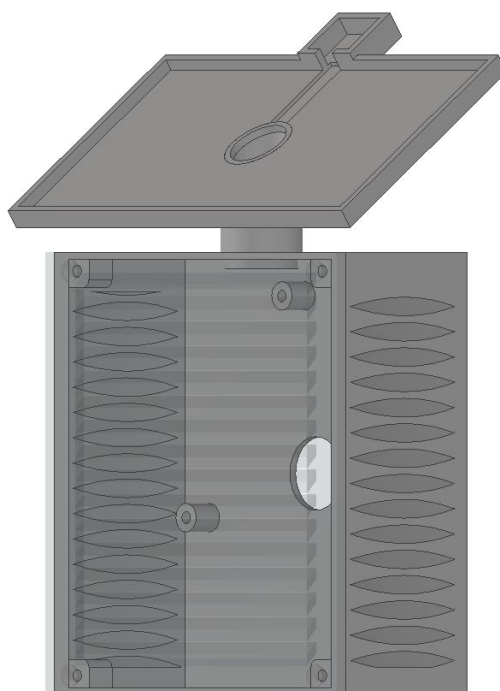
5.3 Návrh 3D modelů venkovní stanice

Venkovní stanice se skládá z mnoha částí. Bylo třeba navrhnout pouzdro pro uložení elektroniky a taktéž pouzdra pro jednotlivé části senzorů. Návrh dílů probíhal opět v aplikaci Autodesk Inventor. Veškeré díly budou následně tisknuty na 3D tiskárně a proto byla snaha přizpůsobit jednotlivé díly pro snadný tisk.

5.3.1 3D model krabičky pro elektroniku

Krabička se skládá se dvou částí. Jednou je hlavní krabička a další je držák solárního panelu a UV senzoru. Bylo u něj třeba navrhnout otvory tak, aby venkovní vzduch měl bezproblémový přístup k senzorům SHT31 a BMP280 pro měření teploty. Zároveň konstrukce otvorů musela být odolná vůči dešti a taktéž aby vítr nefoukal na senzory. Mohlo by jinak dojít k nepřesnostem při měření. Strany boxu mají žebrování zkosené pod úhlem 45°. To by mělo zabránit vniknutí deště a taktéž rozbít přímý náraz větru. Uvnitř krabičky se pak nachází ještě distanční sloupky pro uchycení DPS a v zadní části pak otvor pro prostup kabelů od senzorů.

Nad krabičkou pro elektroniku se pak nachází deska pro umístění solárního panelu a UV senzoru. Deska musí být vhodně nakloněna pro nejlepší účinnost osazovaného solárního panelu. Účinnost závisí na náklonu a natočení panelu. V České republice je ideální náklon mezi 15-35°. Nižší náklon je efektivní v letních měsících, kdy je slunce vysoko na obloze. Naopak v zimních měsících je slunce níže a je tedy efektivnější vyšší úhel náklonu. Krom náklonu je důležitý i směr náklonu, ten je nejideálnější na jih [52]. Jelikož je pro nás náročný provoz hlavně v zimě kvůli dobíjení, tak byl zvolen vyšší úhel náklonu a to 35°. Nad deskou je pak umístěn UV senzor. Výsledný model je zobrazen na obr. 5.12.



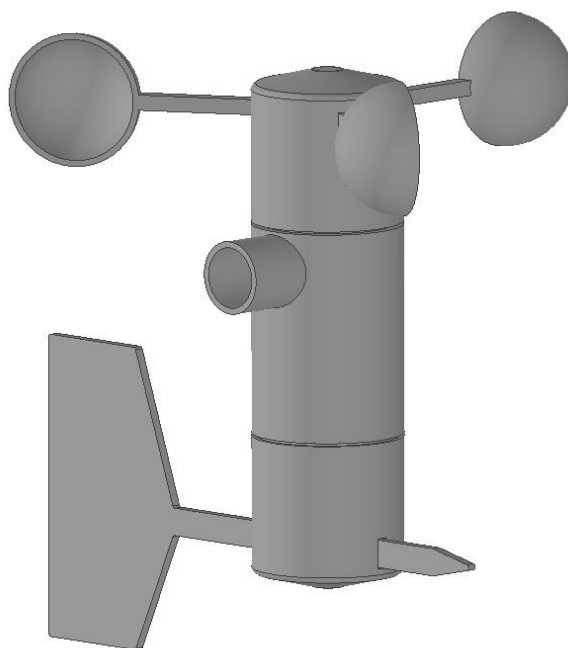
Obrázek 5.12. Venkovní pouzdro s uchycením uv senzoru a solárního panelu

■ 5.3.2 3D model anemometru a ukazatele směru větru

Anemometr a ukazatel směru větru byly umístěny na jednu stranu nad sebe. Tedy budeme potřebovat jeden stator, ve kterém budou umístěny Hallové sondy. Dále potřebujeme dva rotory pro ukazatel směru větru a anemometr, ve kterém budou umístěny neodymové magnety. Ve statoru se krom Hallovy sond, nachází otvor pro zasunutí tyče, na které se budou otáčet rotory a také otvor pro výstup kabelů od sond. Sondy a magnety jsou rozmístěny dle obrázků 5.6 a 5.7.

Rotor anemometru se skládá ze dvou částí. Základny, která obsahuje otvor pro umístění kuličkového ložiska a také otvory pro uložení magnetu. Na základně se pak nachází otvory pro zasunutí lopatek. Ty jsou celkem tři.

Podobnou konstrukci má rotor ukazatele směru větru. Základna je stejná, pouze se zde nachází otvory pro umístění směrovek a ne pro umístění lopatek. Výsledný navržený senzor je na obrázku 5.13.



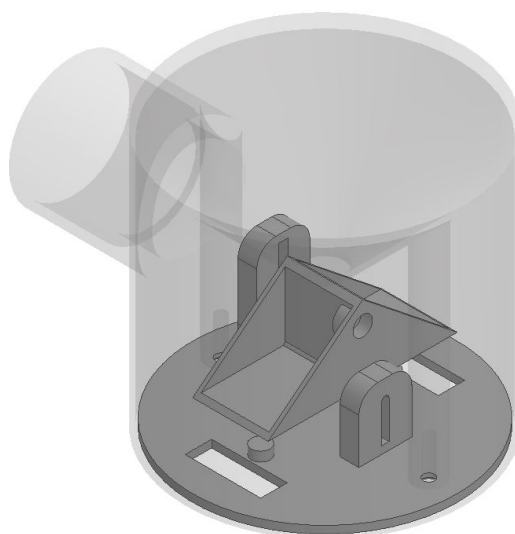
Obrázek 5.13. Anemometr a ukazatel směru

■ 5.3.3 3D model srážkoměru

Na druhé straně meteostanice se pak nachází člunkový srážkoměr, který je složen ze tří částí. První je základna, ta obsahuje otvory pro odtok vody při překlopení vaničky. Dále se zde nachází uchycení jazýčkového spínače a vaničky.

Další částí je již zmíněná vanička. Skládá se ze dvou menších vaniček a má z boku umístěn otvor na umístění magnetu.

Poslední částí je kryt s otvorem umístěným přímo nad vaničkou. Výsledný srážkoměr je na obr. 5.14.

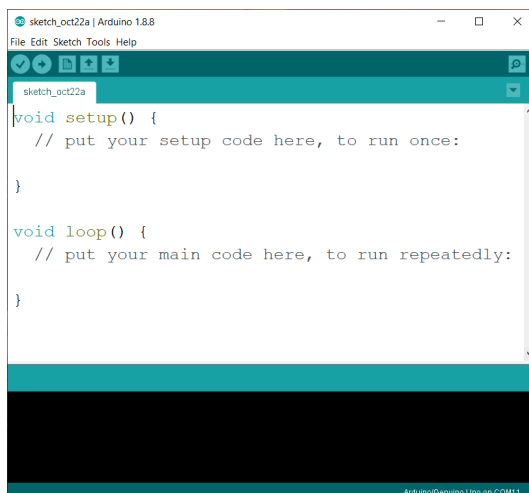


Obrázek 5.14. Srážkoměr

Kapitola 6

Software

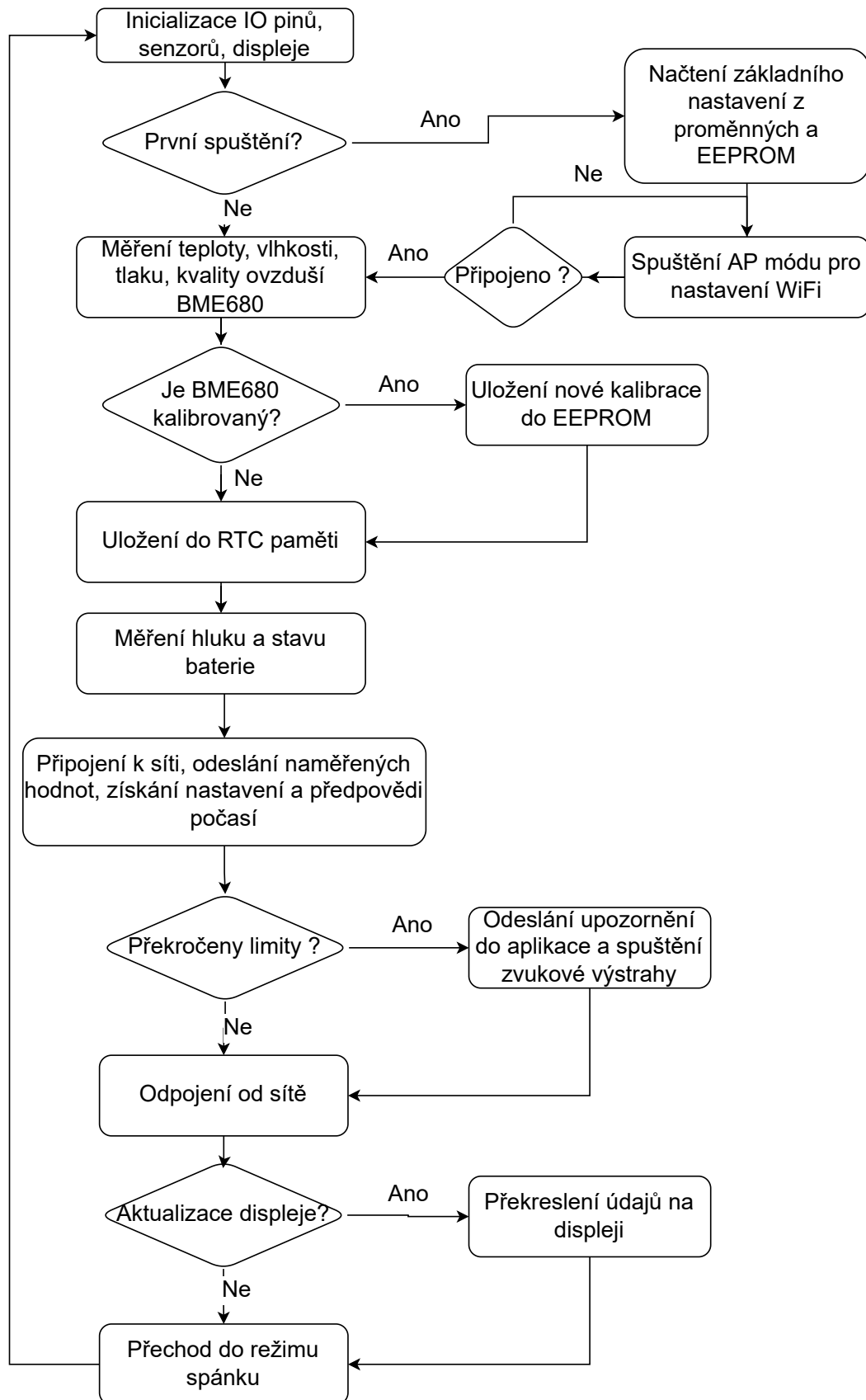
Po návrhu elektrického zapojení jednotlivých částí a navržení mechanických dílů, bylo třeba připravit obslužné programy pro vnitřní a venkovní stanici. Obě stanice byly programovány v prostředí Arduino IDE[53] zobrazeného na obr. 6.1 jazykem arduino wiring. Jedná se o jazyk vytvořený pro programování mikrokontrolérů, jehož framework je založen na programovacím jazyce C++. Do prostředí bylo třeba před samotným programováním nahrát příslušné knihovny k deskám ESP32 a dále také knihovny pro práci s jednotlivými senzory. Další částí bylo pak navrhnout a vytvořit prostředí pro vzdálenou správu stanic, vizualizaci dat a v poslední řadě systém notifikací nebezpečí uživateli.



Obrázek 6.1. Programovací prostředí Arduino IDE

6.1 Software vnitřní stanice

Program pro obsluhu vnitřní stanice lze rozdělit do několika kroků viz stavový diagram na obr. 6.2. Na začátku v sekci setup je potřeba inicializovat veškeré komponenty. Jedná se zejména o nastavení vstupně/výstupních pinů, inicializace displeje, inicializace senzoru BME680 a inicializace EEPROM pro ukládání dat během spánku zařízení. Dále se při prvním spuštění nastaví základní nastavení, které obsahuje informace o poloze zařízení, hodnoty limitů pro kontrolu a nastavení webových aplikací. Stanice se při prvním spuštění nastaví do režimu, při kterém se lze ke stanici prostřednictvím Wi-Fi připojit a nastavit připojení k domácí Wi-Fi síti a také nastavit adresu vlastního serveru pro sběr dat. Tyto údaje jsou uloženy do EEPROM paměti a není je třeba opět nastavovat i v případě odpojení od napájení nebo restartu zařízení. V hlavní smyčce programu následně probíhá měření veličin, komunikace se servery, kontrola překročení nastavených limitů měřených veličin a nakonec překreslení displeje. Jakmile celý program doběhne, tak se mikrokontrolér uspí.



Obrázek 6.2. Stavový diagram vnitřní stanice

6.1.1 Inicializace

Při inicializaci je nutné nastavit pin mikrofonu IO13 jako vstupní pin, dále pin pro ovládání bzučáku IO12 jako výstupní pin. Pro správnou funkci senzoru BME680 je třeba zapnout I2C sběrnici na pinech IO21 a IO22. Následně se alokuje EEPROM paměť pro uchování informací z BME680 a nastavení adresy serveru. Nakonec se alokuje paměť pro displej.

6.1.2 Měření dat

Jak již bylo zmíněno, tak po inicializaci a prvotním nastavení přichází měření veličin. Popíšeme si jednotlivá měření.

■ Měření údajů ze senzoru BME680

Jako první měření je provedeno měření senzorem BME680. Senzor je třeba nejdříve nakalibrovat. Kalibrace je automatická a senzor si ji provádí sám. Pro nakalibrování je potřeba provést několik měření, obvykle trvá 20 minut, než se senzor začne kalibrovat a zaznamenávat i kvalitu ovzduší. Při kalibraci senzor vychází z předchozího měření stavu senzoru. Proto tedy, aby mohla stanice fungovat v úsporném režimu, tak je třeba ukládat vždy předchozí stav senzoru. Zároveň je pro kalibraci a její udržení nutnost dodržet intervaly mezi jednotlivými měřeními. Senzor během kalibrace prochází několika přesnostmi kalibrace. Přesnost 0, která znamená, že se senzor právě spustil a stabilizuje se. Další přesností je 1, v tuto chvíli se už senzor ustálil, ale měřená data jsou příliš stabilní pro kalibraci. Při přechodu do přesnosti 2 senzor získal dostatek dat pro kalibraci a tu zahájil. Poslední je přesnost 3, v tomto stavu je senzor zkalibrován. Občas může senzor skočit z přesnosti 3 do 2 z důvodu rekalibrace.

Pro ukládání aktuálního stavu se v programu používá EEPROM a RTC paměť. Důvod použití dvou pamětí je jednoduchý. RTC paměť sice uchovává data i během spánku ESP32, ale pokud dojde k přerušení napájení, tak je tato paměť po opětovném připojení vymazána. Proto je třeba si ukládat stav i do paměti EEPROM ve které je stav uložen i po odpojení napájení. V EEPROM je, ale ukládán pouze stav, při kterém byl už senzor zkalibrován, ostatní stavy nejsou relevantní a pokud by se do EEPROM nestihl uložit relevantní stav, tak je lepší provést kalibraci od začátku. Během kalibrace se tedy používá jen RTC paměť a po kalibraci se používají obě.

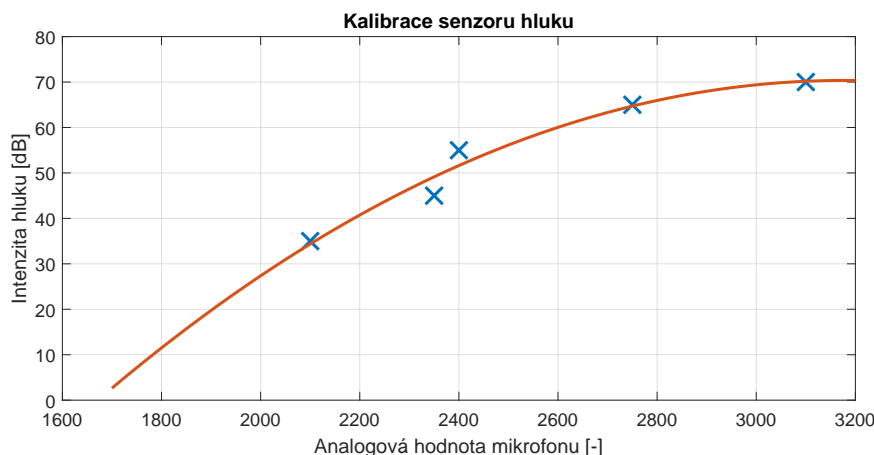
Po načtení stavu senzoru, jsou odečteny naměřené hodnoty teploty, vlhkosti, eCO2 a indexu kvality ovzduší a ty pak následně uloženy do struktury. Nakonec se uloží aktuální stav do paměti na základě toho zda se jedná o zkalibrovaný či nezkalibrovaný stav. Senzorem může být odečtena i hodnota tlaku. Tlak se běžně udává ve vztahu k hladině moře. Senzor ale udává hodnotu, která je vztažena k aktuální nadmořské výšce a je tedy nutno tuto hodnotu přepočítat dle vztahu (1) následovně [54]:

$$P_{hladina} = P_{senzor} \cdot \left(\frac{0,0065 \cdot h_{senzoru}}{275,15 + T + 0,0065 \cdot h_{senzoru}} \right)^{-5,257} \quad (1)$$

■ Měření hluku

Intenzita hluku je měřena pomocí mikrofonu. Pomocí mikrokontroléru je snímána průměrná hodnota střídavého napětí z mikrofonu. Je provedeno celkem 16 měření, která se posléze zprůměrují. Bohužel z této hodnoty není možno určit přesně intenzitu hluku. Abychom mohli určit přibližnou hodnotu intenzity hluku,

bylo třeba nejdříve provést kalibraci. Ta probíhala tak, že byl mikrofon postupně vystavován intenzitě hluku s krokem 10 dB a průběžně zaznamenávána naměřená data mikrokontrolérem. Naměřená data měla tendenci stoupat, ale ne lineárně. Byla tedy proložena polynomem druhého řádu, který data proložil lépe a ten byl pak použit k přepočtu naměřené analogové hodnoty mikrofonem na intenzitu hluku. Výsledná kalibrace je na obr. 6.3.



Obrázek 6.3. Kalibrace senzoru hluku

■ Stav baterie

Na desce se nachází odporový dělič, který vydělí napětí baterie dvěma. To je nutné z důvodu, že piny ESP32 netolerují vyšší napětí než je 3,3 V, kdežto baterie může mít až 4,2 V a mohlo by tedy dojít k poškození ESP32. Napětí je pak pinem IO12 analogově odečteno a následně přepočteno na reálné napětí baterie dle vztahu (2):

$$U_{baterie} = \left(\frac{\text{Hodnota}_{IO12}}{4095} \cdot 2 \cdot 3.3 \right) + U_{Kompenzace} \quad (2)$$

Kompenzace napětí je třeba určit pomocí voltmetru. Nejprve změříme napětí bez kompenzace a rozdíl mezi reálnou hodnotou a naměřenou hodnotou je kompenzační hodnota.

■ 6.1.3 Komunikace

Po naměření všech dat, které stanice dokáže měřit, tak se v programu přechází do části, kde komunikujeme se servery prostřednictvím Wi-Fi připojení.

■ Připojení k lokální síti

Připojení k síti probíhá automaticky. V paměti mikrokontroléru jsou uloženy přihlašovací údaje k síti. Pokud nedojde do 10 s k připojení k síti, tak se část s komunikací se servery přeskočí a program pokračuje dál.

■ Komunikace s vlastním serverem

V této části programu se naváže spojení s vlastním serverem pomocí HTTP protokolu. Pomocí SQL dotazů dojde ke stažení informací o aktuálním nastavení stanice a poslední naměřená data z venkovní stanice. Stažené nastavení je pak uloženo do RTC paměti a je pak používáno a aktualizováno při každém probuzení stanice.

■ Získání předpovědi počasí

Předpověď počasí je získávána obdobným způsobem jako při komunikaci s vlastním serverem. K předpovědi počasí je použit server OpenWeather. Jedná se o jeden z mnoha serverů, který poskytuje informace o aktuální předpovědi počasí. Výhoda tohoto serveru je, že poskytuje registraci zdarma s plánem, ve kterém můžeme poslat až 1000 dotazů na předpověď za den, což ani nevyužijeme. K získání dat je potřeba použít unikátní klíč. Pomocí klíče se pošle dotaz na server, který odešle data o předpovědi počasí. Data jsou pak použité pro zobrazení na displeji.

■ Odeslání výstrahy

Jako poslední je kontrola limitů a případná indikace nebezpečí. Limity jsou kontrolovány proti nastaveným posledním limitům stanice. Mezi kontrolované veličiny patří kvalita ovzduší, eCO₂, vlhkost, teplota ve vnitřním prostředí, UV index, rychlost větru a počet srážek. Při překročení limitů je tato informace poslána uživateli prostřednictvím aplikace IFTTT.

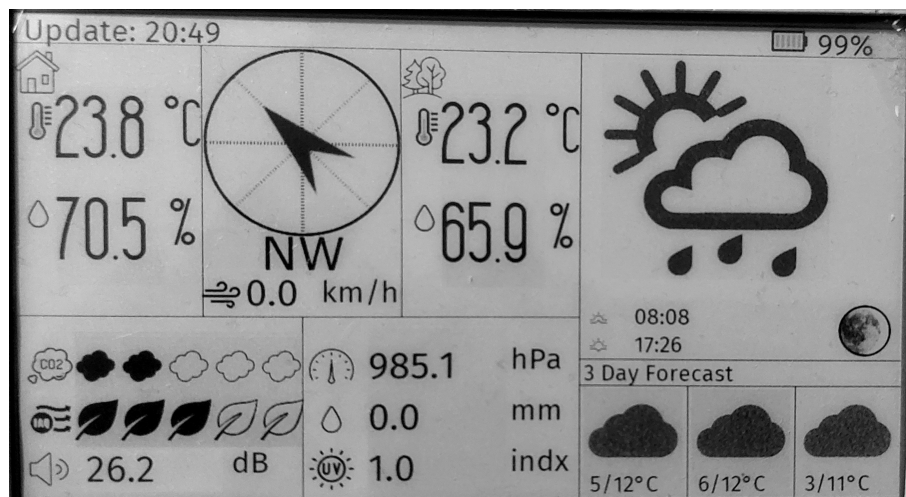
Webová aplikace IFTTT (If This Then That) je webová aplikace, která umožňuje vytvářet řetězce podmíněných příkazů. Řetězce se skládají ze startovních událostí jako například v daný čas, provedené změny v různých webových službách, změny na různých zařízeních apod. V našem případě je startovní událost webhooks. Tato událost je použita pro zařízení, která nejsou ještě integrována do systému IFTTT a za pomoci webových požadavků můžeme vyvolávat různé události. Tím se dostáváme k další části řetězce a to je co se má stát při zavolání akce. Opět to mohou být různé akce webových služeb či zařízení. My v tomto případě využijeme notifikace ve stejnojmenné aplikaci pro mobilní telefon.

Odeslání výstrahy tedy vypadá následovně. Při překročení kteréhokoliv limitu vyšleme webový požadavek k IFTTT serveru spolu s informacemi o tom co bylo překročeno a jaká je aktuální hodnota. IFTTT tuto informaci zpracuje a během několika sekund je tato informace zobrazena v aplikaci na mobilním telefonu a i jako notifikace v případě kdy není aplikace aktivně otevřena.

Služba IFTTT je v základní verzi zcela zdarma a její ovládání a nastavení je velice jednoduché. V této verzi nabízí až 5 různých řetězců. My si v našem případě vystačíme pouze s jedním. Ke komunikaci s naším řetězcem je třeba použít náš unikátní klíč a název našeho řetězce.

■ 6.1.4 Návrh grafického rozhraní vnitřní stanice

Velkou a podstatnou částí vnitřní stanice je grafické rozhraní stanice, tedy předat uživateli přehledně a srozumitelně naměřené údaje. Tyto údaje jsou zobrazovány na displeji, na kterém se nachází několik částí jak je ukázáno na následujícím obrázku 6.4.



Obrázek 6.4. Rozvržení displeje vnitřní stanice

Celý grafický návrh bylo třeba navrhnout. Úplně navrchu se nachází stavová lišta. V této liště se zobrazuje čas poslední aktualizace displeje. Dále pak, pokud dojde k chybě a nebo k překročení limitů, tak se zde zobrazí informace ohledně problému. Nakonec je zde indikace stavu baterie a případného nabíjení. Zbytek displeje je pak rozdělen do tří částí. Levá část pro zobrazení informací uvnitř místnosti, prostřední část pro údaje zvenčí a nakonec pravá část, která zobrazuje předpověď počasí. Nejčastěji sledovanými údaji na stanicích bývá teplota, vlhkost a aktuální počasí. Proto, jak je vidět na obrázku, se jedná o výraznější položky než ostatní. V levé dolní části se dále nachází hodnoty kvality ovzduší, eCO₂ a hluku. Hodnoty eCO₂ a kvalita ovzduší je senzorem měřená v jednotce ppm, nicméně pro běžného uživatele není tato hodnota příliš srozumitelná a proto bylo přistoupeno v zobrazení jako známky od 1 do 5. Tato známka je zobrazena u eCO₂ jako počet plných mraků a u kvality ovzduší jako počet lístků. U hluku ponecháváme hodnotu v dB. V prostřední dolní části se nachází tlak, srážky a UV index. Tyto informace jsou zde uváděny v běžných jednotkách tedy tlak v hPa, srážky v mm/h a UV index číslem od 0 do 15.

V pravé části se pak nachází informace o aktuálním počasím s předpovědí na následující 3 dny.

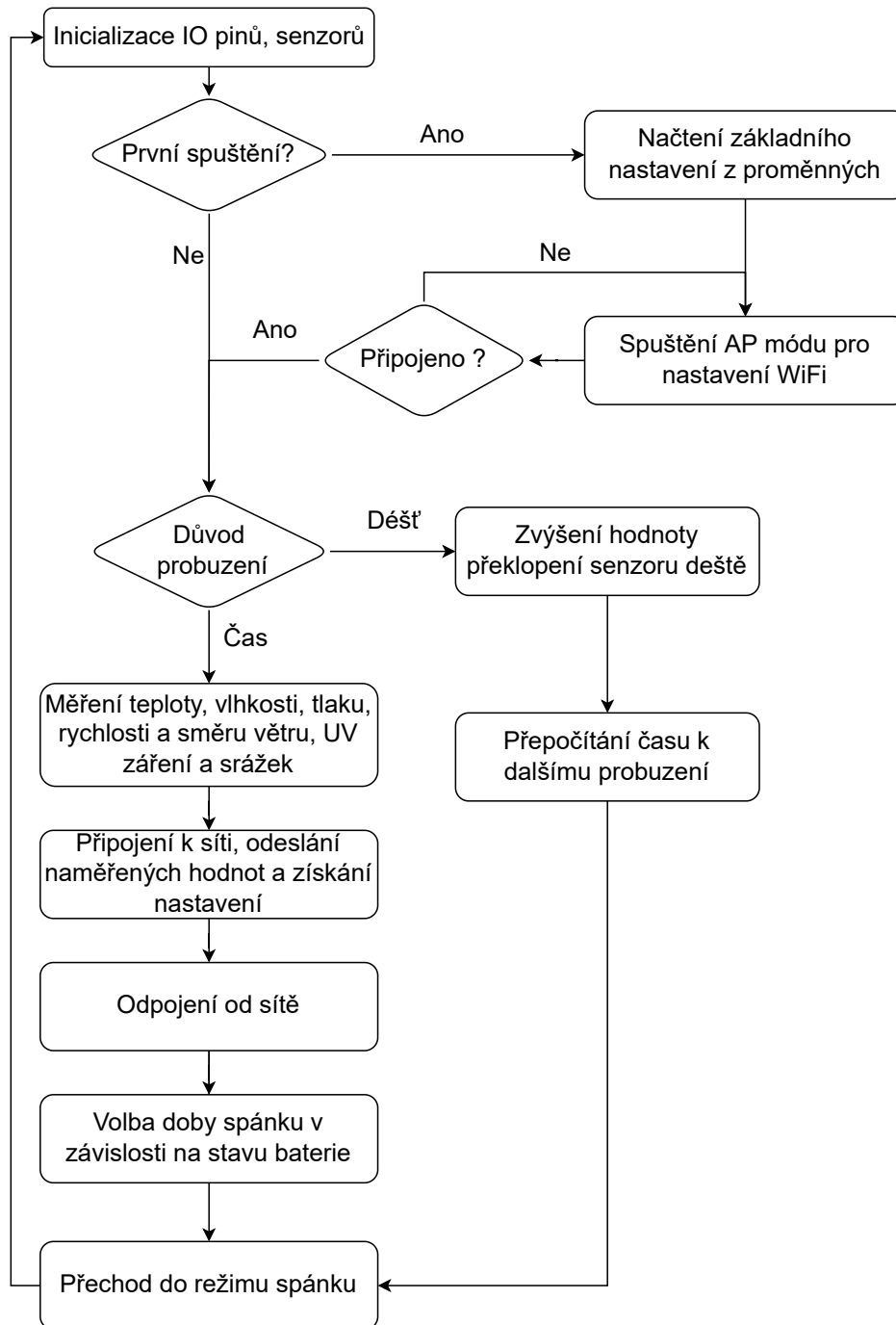
Knihovna pro desku LilyGo neobsahuje příliš mnoho funkcí pro práci s displejem a samotné vykreslování není úplně jednoduché. Celý návrh spočívá hlavně v pozicování jednotlivých prvků zobrazených na obr. 6.4. Nejobtížnější částí je připravit obrázky a fonty pro displej. Příprava spočívá v převodu znaků a obrázku do odstínu šedi. Na webu k displeji se nachází programy napsané v jazyce Python pro převod. Bohužel při testování těchto programů docházelo k chybám, nejspíše z důvodu nekompatibility s novými knihovnami, a bylo třeba je tedy lehce upravit. Další lehce problematickou částí je aktualizace informací na displeji. Před zobrazením nových údajů, je nejdříve potřeba vymazat (vyčistit) předchozí informaci a pak teprve zobrazit novou. Pokud bychom nevymazali předchozí informaci, tak by informace splynuly dohromady a nebyly by čitelné.

■ 6.1.5 Přechod do režimu spánku

Čas, po který je třeba uspat vnitřní stanici, je dán senzorem BME680. Senzor má několik měřících režimů u kterých je třeba dodržovat stejný časový rozestup, aby byla zajištěna správná kalibrace pro měření kvality vzduchu. Nejkratší interval jsou 3 vteřiny a nejdelší 5 minut. Pro ušetření energie byl tedy zvolen čas usnutí na 5 minut.

6.2 Software venkovní stanice

Obdobně jako v případě vnitřní stanice, lze i program pro obsluhu venkovní stanice rozdělit do několika kroků. Viz stavový diagram na obr. 6.5. Po probuzení program provede inicializaci vstupně výstupních pinů a senzorů a pokud se jedná o prvotní zapnutí stanice, tak se provede nastavení obdobně jako v případě vnitřní stanice, tedy nastavení připojení k místní síti a nastavení vlastního serveru. Poté se provede měření všech veličin, zahájí se komunikaci se serverem a nakonec se stanice uspí. Během spánku stanice se ještě zaznamenává množství srážek pomocí srážkoměru.



Obrázek 6.5. Stavový diagram vnitřní stanice

6.2.1 Inicializace

U venkovní stanice je třeba inicializovat vícero zařízení. Nejdříve se nastaví piny IO32-IO35 jako vstupní piny, jedná se o data ze senzoru směru větru. Dále se jako vstupní pin se nastaví pin IO27 pro měření rychlosti větru. Pro UV senzor je třeba nastavit pin IO4 jako vstupní. Pro měření srážek, je nutné pin IO26 nastavit jako vstupní a navíc je na tomto pinu povoleno externí probuzení. Posledním vstupním pinem je pin IO12 pro měření stavu baterie. Pro zbývající senzory SHT31 a BMP280 je nutno inicializovat I2C sběrnici.

6.2.2 Měření meteorologických parametrů

Před začátkem měření je třeba inicializovat část senzorů, jedná se o senzory SHT31 a BMP280. Nejprve se pomocí pinu IO19 přivede k senzorům napájení a následně se provede inicializace. Po té můžeme přejít k samotnému měření.

■ Teplota, vlhkost a tlak

Pomocí senzoru SHT31 je odečtena aktuální teplota a vlhkost. Po odečtení teploty a vlhkosti následuje hned odečtení tlaku za pomoci senzoru BMP280. Naměřený tlak je nutno opět přepočítat ve vztahu k hladině moře stejným způsobem jako u vnitřní stanice viz rovnice (1). Následně se přejde k měření hodnoty indexu UV záření.

■ UV záření

Jak bylo řečeno v kapitole 5.1.4, tak výstupem senzoru je analogové napětí, které je přímo úměrné naměřené intenzitě UV záření. Nejprve tedy naměříme tuto hodnotu a pak jí převedeme do indexu UV od 0 do 15. Aktuální hodnotu UV záření neměříme jen jednou ale provedeme 16 měření, které následně zprůměrujeme. Takto naměřenou a zprůměrovanou hodnotu pak převedeme do UV indexu. Převod je jednoduchý. Z datasheetu víme, že indexu 0 odpovídá napětí 1 V a maximálnímu indexu 15 pak napětí 3 V. Dále víme, že charakteristika je dle datasheetu lineární [47]. díky tomuto lze jednoduše přepočítat napětí na UV index dle rovnice (3) a (4).

$$UV\ index = (U_{sensor} - U_{min}) \frac{Index_{max} - Index_{min}}{U_{max} - U_{min}} + Index_{min} \quad (3)$$

$$UV\ index = (U_{sensor} - 1) \frac{15 - 0}{3 - 1} + 0 \quad (4)$$

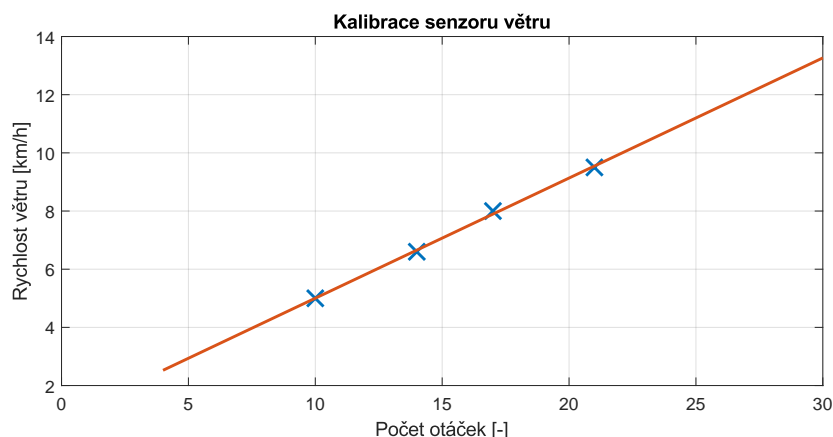
Po dokončení měření jsou tyto senzory odpojeny od napájení.

■ Rychlost větru

Ta je snímána za pomoci anemometru. Před zahájením měření je třeba nejdříve senzor připojit k napájení. To se provede pomocí mikrokontroléru, který otevře MOSFET Q1 a ten přivede napájení k senzoru. Senzorem je sníman, pomocí Hallové sondy, počet otáček za jednotku času. Měření probíhá celkem třikrát a to po dobu 5 sekund. Z těchto měření je vybráno to, které má nejvyšší počet otáček a z něho je pak určena rychlost větru.

Rychlost větru byla určena experimentálně. Senzor byl vystaven stabilnímu proudu vzduchu z ventilátoru a zaznamenávány počet otáček anemometru za 5 sekund. Rychlost vzduchu z ventilátoru byla určena za použití jiného referenčního přístroje Parkside PWM A1 [55]. Takto bylo naměřeno několik bodů, ty pak byly

aproximovány přímkou a její rovnice byla následně použita pro přepočítání otáček na rychlost větru viz obr. 6.6. Po naměření hodnot je senzor vypnut.



Obrázek 6.6. Kalibrace rychlosti větru

■ Směr větru

Při návrhu senzoru směru větru byly použity 4 Hallové sondy a dva magnety. Hodnotu Hallových sond odečítáme analogově. Jeden magnet, který slouží pro určení hlavních směrů, zvyšuje hodnotu měřenou na Hallových sondách. Druhý magnet, který slouží k určení vedlejších směrů, naopak tuto hodnotu snižuje. Díky tomu můžeme rozlišit 8 jednotlivých sektorů ze kterých fouká vítr.

■ Srážky

K měření dochází i v průběhu spánku. Každé jedno externí přerušení znamená jedno překlopení vaničky. Objem vody, který je nutný pro překlopení, byl experimentálně odhadnut za pomoci injekční stříkačky kdy tento objem byl přibližně 2,2 cm³. Dále k tomu, abychom určili intenzitu srážek je třeba znát plochu pro zachytávání vody. Ta je určena z 3D modelu srážkoměru. Dopadová plocha srážkoměru je kruhová a její plocha činí 40,69 cm². Z objemu a plochy jsme schopni pak spočítat výšku sloupce vody dle vztahu (5):

$$h_{vody} = \frac{V}{S} = \frac{2,2}{40,69} = 0,054 \text{ cm} \quad (5)$$

Intenzita srážek se obvykle udává v mm/h a proto je třeba tuto hodnotu přepočítat. O to se stará webová aplikace, která vezme vždy počet srážek za hodinu a tu pak zobrazuje uživateli na webu a stanici.

■ Kapacita baterie

Stav baterie je počítán stejným způsobem jako ve vnitřní stanici jak bylo uvedeno v kapitole 6.1.2

■ 6.2.3 Komunikace

Komunikace venkovní stanice probíhá obdobným způsobem jako u vnitřní stanice uvedeno v kapitole 6.1.2. S tím rozdílem, že se pouze za pomoci Wi-Fi připojení stáhne aktuální nastavení stanice a dále se pak odešlou zpět na server naměřená data.

6.2.4 Přechod do režimu spánku

Přechod do režimu spánku je tu o něco složitější oproti vnitřní stanici, neboť musíme brát v úvahu, že by se mělo jednat o energeticky soběstačnou stanici. V tomto případě se nastavení délky spánku odvíjí od aktuálního stavu baterie. Pokud máme dostatek baterie, tak si můžeme dovolit častější měření (kratší dobu spánku) a to zejména v letních měsících kdy je dostatek sluneční energie na dobití baterie. Naopak v zimních měsících, kdy je nedostatek slunečního svitu, je snaha počet měření snížit. Tedy pokud je stav baterie vyšší jak 75 % tak se spánek nastaví na 5 minut, v případě kapacity nižší jak 75 % a vyšší jak 40 % je čas mezi měřeními 10 minut a pokud kapacita klesne pod 40% tak je čas mezi měřeními 15 minut. Tedy doba spánku je adaptivní v závislosti na kapacitě baterie. Časy jsou zvolené na základě spotřeby uvedené v kapitole 8.1.2.

6.3 Vzdálená administrace stanic

Pro uživatele je velká výhoda v dnešním světě internetu spravovat svá domácí zařízení vzdáleně a mít informace ze zařízení pod kontrolou. Často je potřeba k danému zařízení přistupovat z jiného místa než pouze z domova. Bylo tedy potřeba navrhnout řešení, kterým by byl uživatel schopný takto stanici spravovat. Stěžejní částí bylo zvolit řešení pro ukládání a práci s daty. Dále také navrhnout uživatelsky přívětivého rozhraní pro práci s nimi. Existuje vícero možných řešení. Uvedeme si hlavní dvě.

Prvním možným řešením je možnost využít MQTT (MQ Telemetry Transport). Jedná se o jednoduchý a nenáročný transportní protokol pro posílání zpráv mezi IoT zařízeními (klienty) přes centrální bod tkz. brokera. Princip komunikace je jednoduchý a funguje na principu publisher – subscriber. Existuje jeden centrální prvek (broker), který se stará o výměnu zpráv mezi zařízeními na základě témat (topic). Zařízení pak buď publikují data s daným tématem (publish), které odešle centrálnímu prvku a nebo naopak se přihlásí k odběru témat (subscribe) a centrální jednotka jim je pak posílá. Součástí přenášené zprávy může být prakticky cokoli a MQTT k této zprávě přidá pouze minimum servisních dat Pro zobrazování aktuálních dat se jedná o vhodné řešení. Nicméně je třeba mít přístup k nějakému brokeru. Možnosti jsou dvě. Buďto provozovat brokera na vlastním serveru např. Mosquitto nebo využít zdarma nabízených brokeru online, kterých je ale pouze pár, typicky HiveMQ. Problémem tohoto řešení je však ukládání dat dlouhodobě. Existují řešení, pomocí kterých lze ukládat data do SQL databáze ale je vyžadován vlastní server a zkušenějšího uživatele schopného pracovat s ním.

Druhým řešením je použití webové aplikace spolu s SQL databází. V tomto případě zařízení komunikuje prostřednictvím webové aplikace přímo s SQL databází. Komunikace probíhá prostřednictvím HTTP (Hypertext Transfer Protocol), který je navržen pro komunikaci mezi klientem a serverem. HTTP funguje na principu dotaz-odpověď, tedy klient pošle HTTP dotaz na server a ten posléze odpoví klientovi. Odpověď obsahuje informaci ohledně stavu doručení tohoto požadavku a také může obsahovat dodatečné informace, které byly žádané klientem. Zde jako server lze využít jak vlastní tak i mnoho webových serverů, které jsou zdarma a na kterých může běžet tato aplikace.

Díky tomu, že u webové aplikace spolu s SQL není třeba instalovat dodatečný software, je uživatelsky přívětivější oproti MQTT a umožňuje jednoduché ukládání dat dlouhodobě, proto byla zvolena webová aplikace s SQL databází.

■ 6.3.1 Webové stránky pro správu stanic a dat

Při tvorbě webu byla snaha, aby web vypadal moderně a byl uživatelsky přívětivý. Bylo třeba navrhnout jeho rozložení a vzhled. Tvorba stránek probíhala za pomoci kombinace značkovacího jazyka HTML a programovacího jazyka PHP. Styl byl pak napsán pomocí kaskádových stylů CSS3. Web se nachází na webovém serveru poskytovatele Endora, který je zdarma na adrese <https://meteostation.hys.cz/>. Web můžeme rozdělit do 4 hlavních stránek podle obsahu:

■ Domovská (úvodní) stránka

Na této stránce se nachází základní přehled aktuálního počasí a informace z monitorovací jednotky. Předpověď počasí je pořizována ze stejného zdroje jako je v případě vnitřní stanice, tedy pomocí OpenWeather. Na této stránce se nenachází grafy a není je možné vyvolat. Jdou zobrazit až v kompletním přehledu vnitřní a nebo vnější stanice.

■ Informace o vnitřní a vnější stanici

Na těchto stránkách se nachází veškeré informace, které měří vnitřní a vnější stanice. Skládá se z ukazatelů, které ukazují poslední naměřená data. Ukazatele jsou uzpůsobeny graficky tak, aby bylo na první pohled patrné jestli se jedná o vysokou, nízkou a nebo normální hodnotu. Po kliknutí na kterýkoliv ukazatel se zobrazí dlouhodobý graf naměřených dat za posledních 30 dní. Tyto grafy byly vytvořeny za pomoci knihovny CanvasJS [56]. Jedná se o knihovnu, která obsahuje veškeré nástroje pro vizualizaci a práci s grafy, Grafy na stránce lze libovolně přiblížit nebo je posouvat v čase. Grafy mají dvě barvy, jedna standardní modrá, která znázorňuje hodnoty v normě a druhá je červená, která poukazuje na překročené limitní hodnoty dle nastavení.

■ Nastavení

Poslední stránkou je stránka s nastavením stanic. Na této stránce se nacházejí ovládací prvky databáze, které umožňují mazat data v jednotlivých tabulkách. Další sekce je nastavení parametrů stanic. Jedná se o zeměpisnou polohu, jednotlivé klíče k službám o počasí a k notifikacím, dobu mezi aktualizacemi displeje vnitřní stanice. Krom možnosti provedení těchto změn, se zde nachází ještě možnost obnovit základní nastavení stanic. Poslední částí stránky je sekce s nastavením limitů jednotlivých veličin

V pozadí těchto stránek se pak nachází jednotlivé skripty pro komunikaci s databází. Jedná se o skripty pro připojení k databázi, získání posledních naměřených dat, informací o předpovědi a také skripty, které volají přímo stanice pro získání aktuálního nastavení a nebo pro odeslání aktuálních dat. Ukázka webu je na následujícím obr. 6.7.



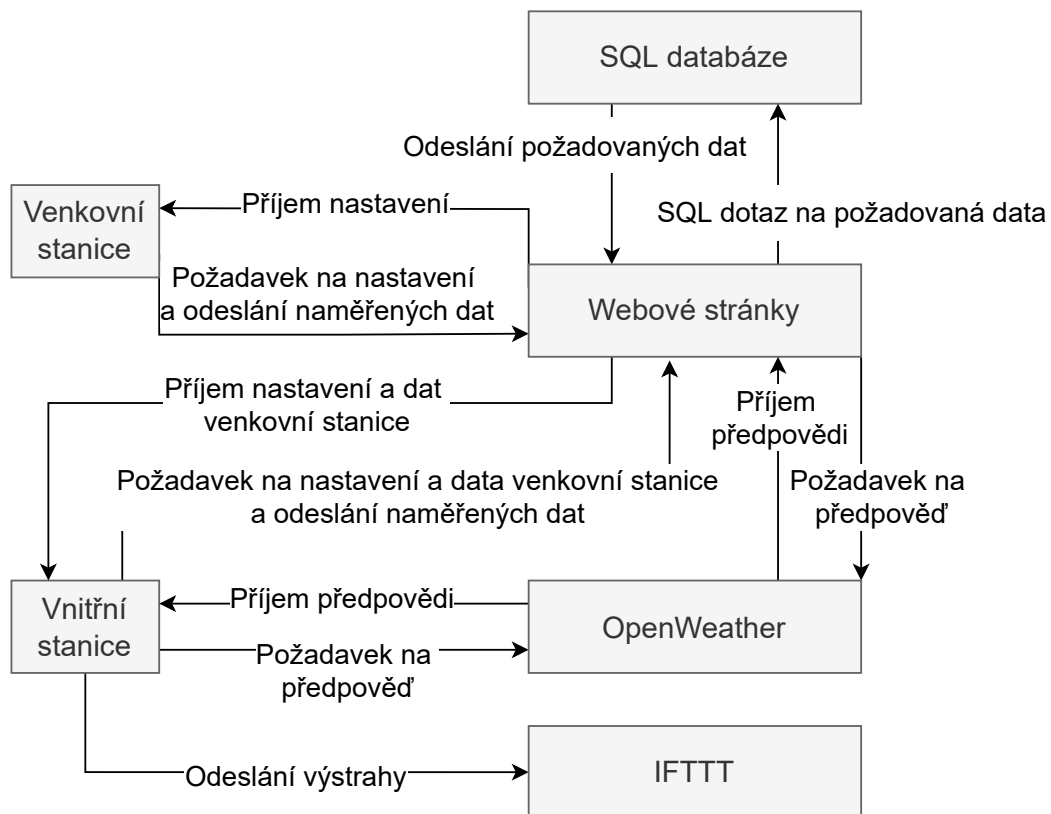
Obrázek 6.7. Náhled domovské stránky webu

6.3.2 Ukládání a práce s daty

Stěžejní částí webové aplikace je ukládání dlouhodobě dat ze senzorů. K tomu poslouží, jak již bylo zmíněno, SQL databáze. Tato databáze obsahuje celkem 4 tabulky. První dvě obsahují naměřená data ze senzorů (Vnitřní a vnější jednotky) a další dvě tabulky pak jednotlivá nastavení obou stanic.

Ukládání dat ze stanic do databáze probíhá prostřednictvím webové aplikace. Webová aplikace obsahuje již zmíněné skripty, které přijmou data ze stanic, ta zpracují a následně vloží patřičně do databáze. Tyto data pak používá webová aplikace pro samotnou vizualizaci dat.

Vkládání a nebo získávání dat z tabulek je založeno na SQL dotazech. V těchto dotazech specifikujeme vždy co chceme z dané tabulky získat. Fungují tedy jako filtry. Kromě vyhledávání v tabulkách, můžeme i jednotlivé řádky upravovat a toho je využito v nastavení, ve kterém se nacházejí pouze dva řádky. Jedním řádkem je tovární nastavení, které se přepisuje pouze přímo v databázi a druhým řádkem je uživatelské nastavení, které se dá upravovat na webové stránce nastavení. Celkové schéma komunikace stanic a webových aplikací je vidět na obr. 6.8



Obrázek 6.8. Princip komunikace jednotlivých stanic

Kapitola 7

Sestavení prototypu

7.1 Výroba mechanických částí stanice

Výroba mechanických částí probíhala především na 3D tiskárně ANET A8. Pro tisk všech součástí bylo třeba zvolit vhodný materiál. 3D tiskárny podporují tisk z mnoha druhů materiálů. Mezi nejpoužívanější při tisku jsou PLA, PETG, ASA, ABS:

- PLA (Polylactic acid)

Jedná se o polyester rostlinného původu. PLA je vhodné pro tisk začátečníkům. Tiskne se jednoduše díky nízkým požadavkům na teplotu trysky (cca 210 °C) a podložky (cca 60 °C). Materiál je díky tomu vhodný pro levné prototypování. Je vhodný zejména pro vnitřní použití. Pro venkovní použití se nehodí, jelikož neodolává vysokým teplotám a nejedná se o mechanicky příliš pevný materiál [57].

- PETG (Glykolem modifikovaný Polyethylene Terephthalate)

Tento materiál vychází z klasického PET, který se hojně používá v potravinářství. Písmeno G značí, že do materiálu PET je přidán glykol, který zlepšuje vlastnosti pro tisk. Jedná se o hojně používaný technický materiál. Oproti předchozímu PLA má vyšší teplotní odolnost a je houževnatější. Je opět vhodný pro začátečníky, nicméně jsou zde používány o něco vyšší teploty trysky (cca 240 °C) a podložky (cca 90 °C) [57].

- ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) Materiál hojně používaný pro levnou výrobu odolných mechanických dílů (LEGO, kryty mobilů apod.). Má vysokou houževnatost a tepelnou odolnost, ale pod vlivem UV záření degradují a žloutnou. Tisk pomocí ABS je náročnější. Materiál vyžaduje vysoké teploty trysky (cca 260 °C) a i podložky (cca 110 °C). Krom toho je potřeba zajistit stálost teploty při tisku, například uzavřením tiskárny do boxu. Během tisku vznikají škodlivé látky, které je třeba odsávat pryč [57].

- ASA (Acrylic Styrene Acrylonitrile)

ASA materiál je nástupcem ABS. Má vylepšenou odolnost vůči UV záření a obdobnou houževnatost jako ABS. Je vhodný pro venkovní použití. Požadavky při tisku jsou obdobné jako pro ABS a stejně jako ABS uvolňuje nebezpečné výpary při tisku [57].

Díky tomu, že se vnitřní stanice bude nacházet v domácím prostředí a nebude vystavena povětrnostním jevům, dešti ani přímému slunečnímu svitu. Může být pro konstrukci použit materiál PLA nebo PETG. Co se týče venkovní stanice, tak by bylo vhodné použít nejlépe ASA. Bohužel tiskárna, použita pro tisk, není vhodná pro tisk ABS i ASA materiálů z důvodu výkonu a tak byl nakonec pro obě jednotky použit materiál PETG.

Veškeré modely, které byly uvedeny v kapitolách 4.3 a 5.3, byly tisknuty s tryskou o průměru 0.4mm s výškou vrstvy 0,3 mm a s výplní 20 % . Zvolená výška vrstvy a tryska je kompromis mezi rychlostí tisku a rozlišením tištěného modelu.

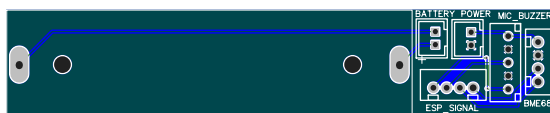
7.2 Návrh a výroba DPS

Před návrhem DPS bylo třeba celé zapojení otestovat v nepájivém poli. Nepájivé pole je vhodné pro testování a prototypování elektrických obvodů, zejména díky možnosti jednoduše vyměňovat součástky a zapojení. Nevýhoda tohoto pole je hlavně fakt, že se do nepájivého pole vkládají hlavně THT součástky. Dále je problém v přehlednosti obvodu pokud používáme mnoho spojů.

Po otestování obvodového zapojení uvedeného v kapitolách 4.2 a 5.2 bylo překročeno k návrhu desek pro vnitřní a venkovní stanici. Jak obvody tak desky byly navrženy pomocí webové aplikace EasyEda [58]. Aplikace v sobě má už zakomponované velké množství součástek a jejich footprintů, které nám zjednoduší návrh. Dále lze z aplikace přímo desky exportovat pro výrobu v JBLPCB, kde také byly následně objednány. Součástky na obou deskách byly pájeny za pomoci ruční pájecí stanice. Nejdříve byly zapájeny SMD součástky a pak až THT součástky.

7.2.1 Deska pro vnitřní stanici

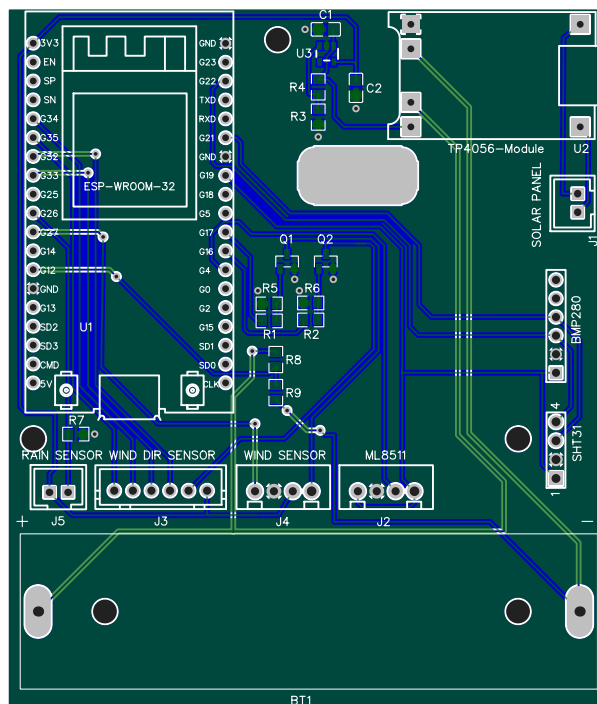
Tato deska je velice jednoduchá do návrhu. Na desce jsou umístěny pouze propojovací konektory a pouzdro pro baterii. Osazená deska je pak umístěna ve spodní části vnitřní stanice. Návrh desky je pak na obr. 7.1.



Obrázek 7.1. Návrh DPS pro vnitřní stanici

7.2.2 Deska pro venkovní stanici

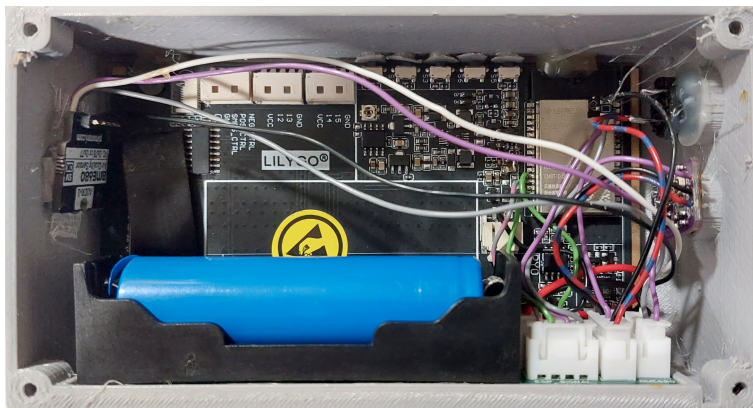
Deska pro venkovní stanici je o něco složitější. Bylo třeba správně na desce umístit senzory teploty, vlhkosti a tlaku. Senzory by mohli být ovlivněny teplem, které vydává ESP32, tak byly umístěny na okraj desky. V desce se ještě nachází výřez pro prosunutí veškeré kabeláže od senzorů. Výsledná deska je na obr. 7.2.



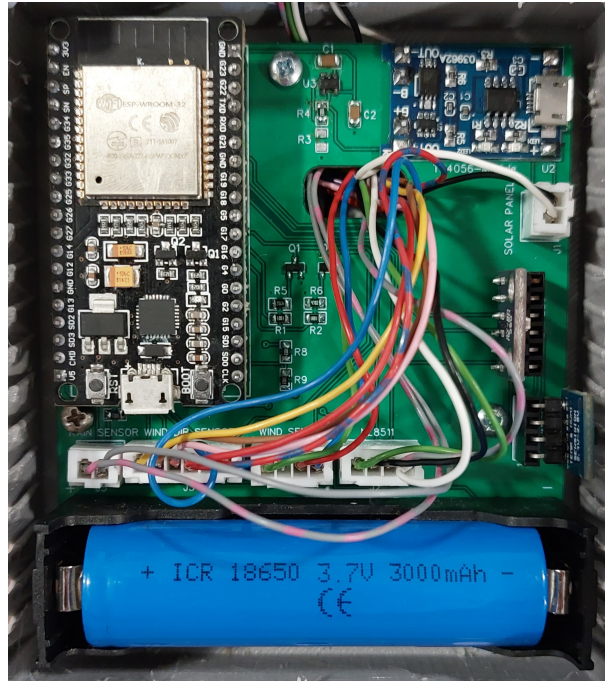
Obrázek 7.2. Návrh DPS pro venkovní stanici

Ačkoliv jsou na venkovní desce navrženy piny pro přímé napájení senzorů a ESP32, rozhodl jsem se místo nich zapájet konektory do kterých se ESP32 a senzory zasunou. Důvodem bylo umožnit, v případě poruchy, lehkou výměnu součástek. Ve finální verzi by bylo pak vhodné součástky napájet napřímo.

Po zapájení součástek bylo třeba desku otestovat zda nedochází nikde ke zkratu a zda je na výstupu stabilizace napětí hodnota 3,3 V. Testování proběhlo za pomoci laboratorního zdroje, kde je možné nastavit omezení proudu a v případě poruchy by nemělo dojít k poškození součástek. Dále byl otestován nabíjecí modul, nejdříve připojením napětím ze zdroje. V tomto případě modul než problémů nabíjel baterii. Dále bylo otestováno, zda bude modul nabíjet i se solárním panelem a i v tomto případě nabíjení probíhalo bez problémů. Tento test prošel v pořádku a mohly být do desky připojeny senzory a ESP32. Výsledné osazení a zapojení desek je vidět na obrázcích 7.3 a 7.4.



Obrázek 7.3. Zapojená a osazená deska vnitřní stanice



Obrázek 7.4. Zapojená a osazená deska venkovní stanice

7.3 Sestavení a zprovoznění

7.3.1 Sestavení

Jakmile byly veškeré díly vytištěny, desky osazené, tak se přešlo na sestavení obou stanic. Během sestavení se naskytl několik problémů. Jedním z problémů byla nepřesnost některých vytištěných součástí i přes zahrnutou tolerance v modelech. Největším problémem bylo usazení ložiska do rotorů senzoru rychlosti a směru větru. Řešení jsou v podstatě dvě. Jedním je model upravit a znovu vytisknout. To by sice nebyl problém, ale čekalo by se dlouho na nový výtisk a hromadila by se i spotřeba materiálu. Druhým a lepším řešením bylo za pomoci pilníků a skalpelu nutné části poupravit. Dále bylo potřeba upravit trychtýř pro srážkoměr. Při tisku na 3D tiskárně dochází k postupnému vrstvení materiálu a vzniklý povrch není úplně hladký a bylo třeba povrch zbrusit.

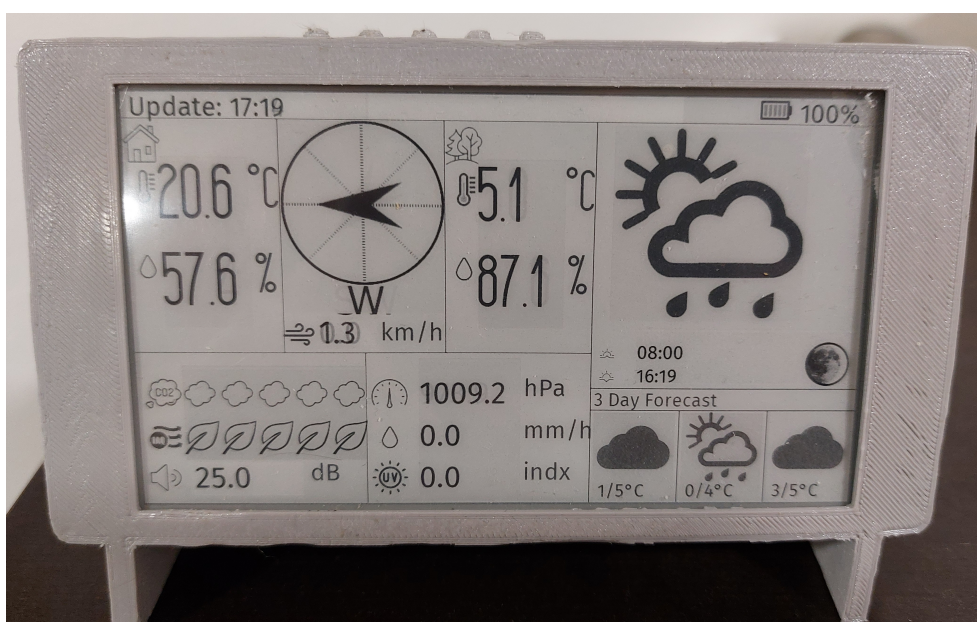
Některé části bylo nutné pospojovat. Část z nich byla spojena samořeznými šrouby. Jednalo se o kryty obou stanic a spodní základnu dešťového senzoru. Ramena na kterých byly umístěny senzory větru a deště, které byly z kovových trubek, byly fixovány šrouby a utěsněny silikonem. Spojení mezi solárním panelem a boxem byly lepené lepidlem. Výsledná venkovní stanice je vidět na následujícím obrázku 7.5.

Další problém nastal během měření spotřeby vnitřní stanice za pomoci laboratorního zdroje. Během měření došlo ke krátkodobému zvýšení vstupního napětí, které poškodilo desku s displejem a mikrokontrolérem. Bylo třeba nalézt co se poškodilo. Nejdříve bylo zkontrolováno vstupní napětí, to bylo v pořádku. Dále proběhla kontrola napájení mikrokontroléru u kterého bylo zjištěno, že se zde nachází napětí nižší než 1V. To je špatně a poukazuje to na problém s regulací napětí. Součástka, která se starala o regulaci na 3,3 V byla proražena a při jakémkoliv spuštění zkratovala desku. Naštěstí se na desce nachází vratná pojistka, která zbytek desky ochránila. Po vý-

měně regulátoru deska opět začala správně fungovat. Výsledná vnitřní stanice je pak vidět na obr. 7.6.



Obrázek 7.5. Výsledná venkovní stanice



Obrázek 7.6. Výsledná vnitřní stanice

7.3.2 Instalace softwaru

Jakmile je hotová veškerá mechanická a elektronická část, přijde na řadu instalace softwaru. Ta spočívá v nahrání programů do obou mikrokontrolérů stanic a nastavení webu. Nahrání programů je v celku jednoduché a to za pomoci aplikace Arduino IDE. Obě desky se připojí k počítači za pomoci USB rozhraní a programy se do desek nahrají.

Zprovoznění webové aplikace je o něco obtížnější. Nejdříve je třeba zařídit si webový hosting s podporou databázového serveru, k tomu mohou být použity hostings na internetu, kde některé z nich nabízejí i provoz zdarma.

Po zvolení vhodného řešení je třeba vytvořit uživatele pro SQL databázi. Poté je třeba nainportovat před připravenou databázi. To se provede přímo na stránce data-

báze pomocí tlačítka import, kde je potřeba pouze zvolit soubor s databází a potvrdit.

Po zprovoznění databáze je třeba nahrát za pomoci FTP připojení webovou aplikaci. U ní je pouze potřeba v souboru `databaseConnection.php` upravit adresu databáze a přihlašovací údaje. Takto nahraný web je pak plně funkční a připraven pro stanice.

Kapitola 8

Testování stanic

8.1 Spotřeba energie

Důležitou částí celého návrhu byla spotřeba energie stanic. V případě vnitřní stanice chceme zajistit, aby se stanice nemusela dobíjet příliš často a u venkovní stanice byla požadována soběstačnost, kterou má zajistit solární panel a správa využití baterie.

8.1.1 Spotřeba vnitřní stanice

Jelikož se část stanice skládá z již hotového modulu není jednoduchá identifikace jednotlivých komponent pro výpočet celkové spotřeby.

- ESP32 s E-ink displejem U desky LilyGo byl problém s určením spotřeby. Deska nebyla mnou navržena a nachází se zde spousta obvodů pro práci s displejem. Spotřeba byla určena experimentálně za pomoci laboratorního zdroje, ze kterého byla odečtena průměrná spotřeba energie pro zásadní děje. Mezi tyto děje patří běžná spotřeba mikrokontroléru, dále spotřeba při navázání spojení s Wi-Fi sítí a nakonec překreslení displeje. Celý program běží přibližně celkem 26s. Během toho modul s displejem a ESP32 spotřebovává přibližně 110 mA. Během cyklu jsou patrné skokové změny. Při navazování připojení k Wi-Fi síti a komunikací se servery stoupne spotřeba až na 200 mA a to po dobu přibližně 6,5 s. Této spotřeby stanice dosahuje i při překreslování dat na displeji, které trvá přibližně 11 s.

Senzory, které byly přidány do vnitřní stanice byly během tohoto měření odpojena, abychom dostali správnější výsledky

- BME680 Tento senzor je přímo navržen pro nízko odběrová zařízení. Měření tímto senzorem trvá 2s a spotřeba je 1,5 mA. Mimo měření je spotřeba senzoru do 1 nA.
- Mikrofon Modulem MAX4466 pro měření intenzity zvuku provádí 16 měření, které trvají dohromady 5 s. Po tuto dobu spotřebovává pouze 24 μ A.
- Bzučák V případě aktivního bzučáku je maximální odběr 25 mA, ale tento odběr nemůžeme brát úplně v potaz do výsledné spotřeby stanice. Tento odběr je aktivní pouze v případě, že došlo k překročení limitů, ke kterému nedochází pravidelně.

Z výše uvedeného je patrné, že senzory mají jen malý vliv na výslednou spotřebu stanice. Největší spotřebu má mikrokontrolér ESP32. Stanice má pevný čas po kterém se musí provést znovu měření kvůli senzoru pro měření kvality ovzduší. Celý cyklus trvá 5 minut a z tohoto času je stanice aktivní po dobu 26 s. Celá stanice pracuje na 3,3 V a z výsledných dat můžeme potom určit průměrnou spotřebu stanice následovně dle rovnice (6):

$$P_{5min} = \frac{(2 \cdot 1,5 + 5 \cdot 0,000024 + 8,5 \cdot 110 + 17,5 \cdot 200) \cdot 3,3}{2 + 5 + 8,5 + 17,5 + 274} = 47,69 \text{ mW} \quad (6)$$

Kapacita zvolené baterie je 3000 mAh a při napětí 3,7 V dostáváme energii baterie 11 100 mWh. S touto energií by stanice vydržela v provozu přibližně 232 h, tedy 9 a půl dne. Pro zvýšení výdrže je možnost nechat aktualizovat displej až po delší době a ne po 5 minutách. Například, pokud budeme aktualizovat displej po 15 minutách, tak se dostáváme na následující spotřebu dle rovnice (7) a (8):

$$I_{15min} = \frac{3 \cdot (2 \cdot 1,5 + 5 \cdot 0,000024 + 8,5 \cdot 110 + 6,5 \cdot 200) + 11 \cdot 200}{3 \cdot (2 + 5 + 8,5 + 6,5 + 274) + 11} = 9,93 \text{ mA} \quad (7)$$

$$P_{15min} = I_{15min} \cdot 3,3 = 32,78 \text{ mW} \quad (8)$$

S touto spotřebou se výdrž stanice zvedla až k přibližně 338 h, tedy 14 dní provozu. Samozřejmě je možné dobu aktualizace nastavit i delší a dosáhnout tak i delší doby výdrže.

Možným dalším snížením spotřeby by mohlo být omezení komunikace pomocí Wi-Fi, ale tato komunikace je využívána i k nastavování stanice a případné vzdálené signalizaci nebezpečí a proto tato možnost nebyla nakonec brána v úvahu.

8.1.2 Spotřeba venkovní stanice

U venkovní stanice, jelikož byla celá navrhována námi, je lepší identifikace spotřeby jednotlivých částí stanice. Postupně budou rozebrány.

■ Senzory teploty, vlhkosti, tlaku a UV záření

Tyto senzory běží velice krátkou dobu a jsou ovládány pomocí výstupního pinu mikrokontroléru, který slouží zároveň jako jejich napájení. Spotřeba jednotlivých senzorů je získána z datashetů. U senzoru SHT31 je spotřeba při měření 800 μ A které trvá 3 ms. Dále u senzoru BMP280 je spotřeba 4 μ A a měření trvá 5 ms. Posledním je senzor UV záření ML8511, ten má spotřebu 300 μ A a měření trvá 2 ms. Celkově měření údajů zabere 10 ms.

Ve výpočtu nejsou zahrnuty spotřeby jednotlivých senzorů v době, kdy se s nima přímo neměří a jsou idle stavu. Dovolili jsme si to z důvodu, že odběr všech těchto senzorů dohromady v idle stavu je menší jak 5 nA.

■ Sensor rychlosti větru

U senzoru rychlosti větru je použita Hallova sonda. Ta má dle datasheetu spotřebu 4mA. Kvůli úspoře energie tento senzor běží jen po dobu měření a jeho napájení je ovládáno za pomoci MOSFETu. Celkové měření pomocí senzoru zabere 15 s.

■ Sensor směru větru

U tohoto senzoru jsou použity celkem 4 Hallové sondy, stejné jako v případě senzoru rychlosti větru. Jejich spotřeba je tedy 16 mA. Jelikož nechceme aby tento senzor běžel neustále kvůli úspoře energie tak je jeho napájení ovládáno opět pomocí MOSFETu. Doba měření je 100 ms.

■ Sensor deště

Tento senzor ve své podstatě žádnou energii nespotebovává, jelikož je založen na magnetickém přepínači. Má pouze nepřímou spotřebu, kdy v případě překlopení a sepnutí spínače se probudí mikrokontrolér pro záznam překlopení. Při tomto probuzení, které trvá pouze 2,5 s, je průměrná spotřeba 70 mA. Nicméně překlápění senzoru je závislé na intenzitě dešti.

■ ESP32

Mikrokontrolér, spotřebovává nejvíce energie. Celý program běží celkem 37,5 s a po tuto dobu je průměrná spotřeba 80 mA. Během doby běhu programu je navázáno Wi-Fi připojení a komunikace se serverem, které trvá v průměru 6s. Při tomto připojení vzroste odběr stanice na 200 mA.

■ Obvody napájení

Mezi tyto obvody počítáme modul nabíjení s obvodem TP4056 a DW01, dále pak stabilizátor napájení XC6210B33. Modul TP4056 s DW01 má celkový odběr 60 μ A. Stabilizátor má pak odběr 40 μ A. Jelikož se jedná o obvody pro nabíjení a řízení napájení tak běží celou dobu.

Pokud shrneme výše zmíněné hodnoty odběrů jednotlivých senzorů a částí stanice tak dostáváme následující výslednou spotřebu dle rovnic (9) a (10):

$$I_1 = \frac{0,003 \cdot 0,8 + 0,005 \cdot 0,004 + 0,002 \cdot 0,3}{0,003 + 0,005 + 0,002} = 0,30 \text{ mA} \quad (9)$$

$$I_2 = \frac{15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 16 + 31,5 \cdot 80 + 6 \cdot 200}{15 + 0,1 + 6 + 31,5} + 0,1 = 71,99 \text{ mA} \quad (10)$$

$$I = I_1 + I_2 = 72,29 \text{ mA}$$

Celá stanice má tedy celkový průměrný odběr 72,29 mA, při napětí 3,3 V, během měření trvající 37,5 s. Další důležitou spotřebou je spotřeba energie během spánku zařízení. V tomto režimu běží pouze obvody napájení, které souhrnně odebírají 0,1 mA a pak je tu ještě ESP32, které během spánku odebírá přibližně 0,5 mA. Díky znalosti veškerých odběrů lze pak určit vhodný čas mezi jednotlivými měřeními, tak abychom udrželi stanici co nejvíce soběstačnou. Pokud bychom zvolili například 5 minutové pauzy mezi jednotlivými měřeními, tak bychom se dostali na následující spotřebu dle rovnice (11):

$$P_{5min} = \frac{(72,29 \cdot 37,5 + 300 \cdot 0,6) \cdot 3,3}{37,5 + 300} = 28,27 \text{ mW} \quad (11)$$

Pro prodlevu 10 min pak dle rovnice (12):

$$P_{10min} = \frac{(72,29 \cdot 37,5 + 600 \cdot 0,6) \cdot 3,3}{37,5 + 600} = 15,90 \text{ mW} \quad (12)$$

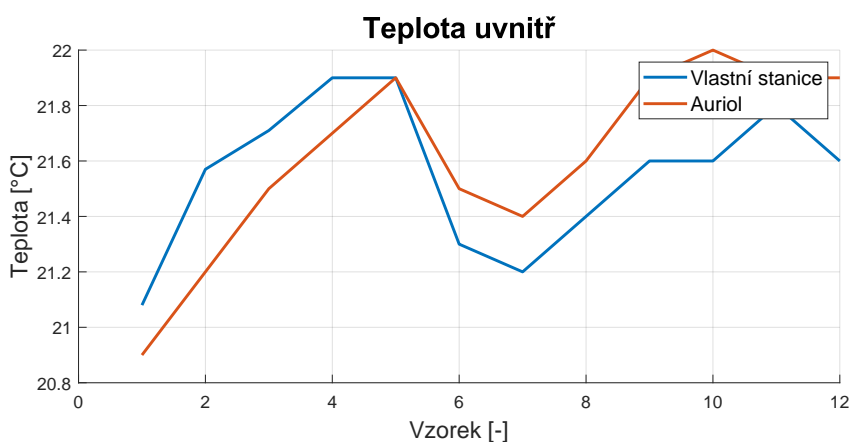
Nakonec pro 15 min dle rovnice (13):

$$P_{15min} = \frac{(72,29 + 900 \cdot 0,6) \cdot 3,3}{37,5 + 900} = 11,44 \text{ mW} \quad (13)$$

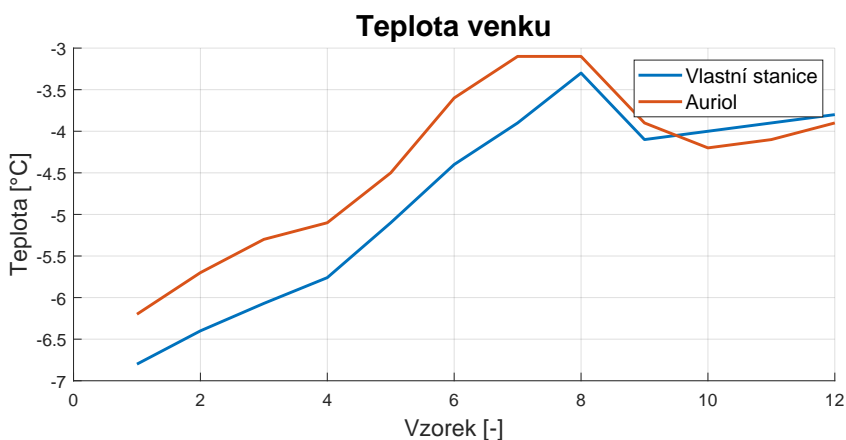
Z výsledků je patrné, že pokud chceme udržet stanici soběstačnou při měření s intervalem 5 min, tak je potřeba dodávat stanici energii 29,21 mW. Jelikož máme solární nabíjení, tak v noci nedodáváme stanici žádný proud. Z toho plyne, že je přes den potřeba získat energii i pro noc, tedy dodávat stanici dvojnásobnou energii za předpokladu stejné délky dne a noci. Instalovaný solární panel tyto potřeby plnil. Ve stanici je instalována baterie s kapacitou 3000 mAh a při napětí 3,7 V dostáváme energii baterie 11 100 mWh. S touto energií by stanici bez přísunu energie a s aktualizacemi každých 5 min měla dokázat vydržet v běhu 380 h, tedy necelých 16. Ve výpočtu není zahrnuto samo vybíjení baterie a taktéž fakt, že nabíjecí obvod nedovolí vybití baterii na nulovou kapacitu z důvodu ochrany baterie.

8.2 Porovnání s konkurenčním zařízením

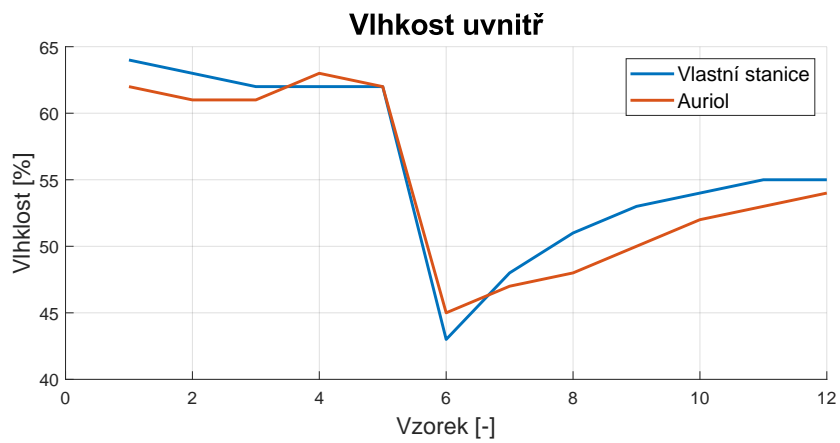
Zkonstruovanou stanicí bylo nutné porovnat s konkurencí a zjistit zda výsledná stanice dosahuje kvalit komerčních přístrojů. Bohužel k porovnání měření je k dispozici pouze levnější varianta monitorovací stanice Auriol 4-LD5641 [59] s ukazatelem teploty a vlhkosti a pouze tyto hodnoty mohou být otestovány napřímo, kdy se navržená stanice nachází v blízkosti zakoupené stanice. Atmosférický tlak mohou zjistit za pomoci webových stránek pro dané okolí. Zbývající parametry nelze dobře porovnat s konkurencí neboť není vlastněno žádné další zařízení k porovnání. Následující grafy 8.1 - 8.5 ukazují porovnání s komerčním řešením.



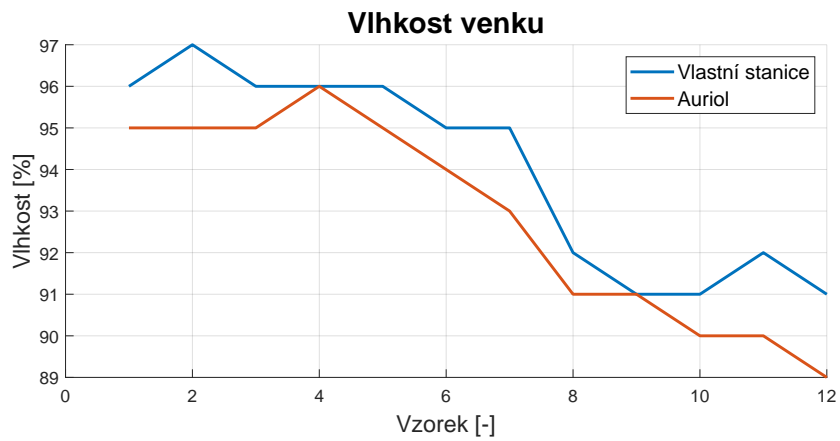
Obrázek 8.1. Porovnání vnitřní teploty



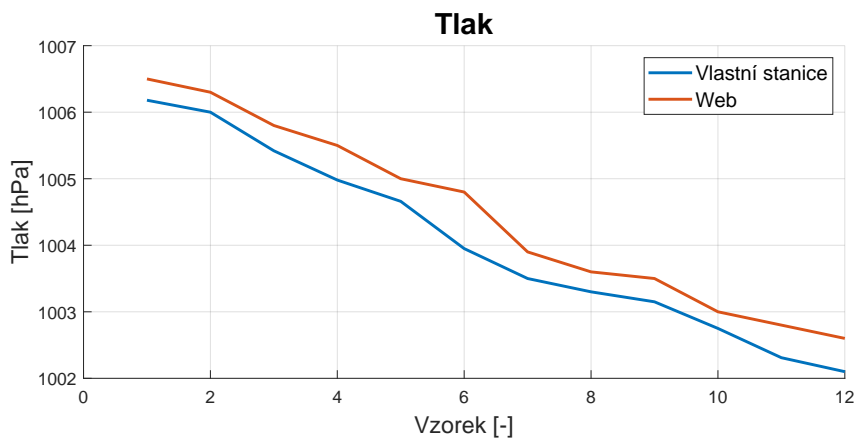
Obrázek 8.2. Porovnání venkovní teploty



Obrázek 8.3. Porovnání vnitřní vlhkosti



Obrázek 8.4. Porovnání venkovní vlhkosti



Obrázek 8.5. Porovnání venkovního tlaku

8.3 Možné úpravy stávajícího zařízení.

V průběhu sestavování se vyskytly menší problémy hlavně spojené s konstrukcí, které by bylo možné vylepšit. Jedná se zejména uchycení rotorů pro měření směru a rychlosti větru. Dále celkové mechanické pospojování, aby výsledná stanice (hlavně venkovní) byla bytelnější. V poslední řadě, by tištěné díly měli být vyrobeny jiným způsobem než pomocí 3D tisku. Tisk jako takový je dobrý pro prvotní návrh, ale pro finální produkt je vhodné zvolit například stříkání plastů do forem, tak aby bylo dosaženo jednolitosti a hladkých povrchů

Taktéž by bylo vhodnější pro vnitřní stanici použít vlastní desku, která by obsahovala už integrované konektory pro jednotlivé senzory nebo je integrovat přímo na desku. V případě venkovní stanice, tak by vylepšení spočívalo v integraci senzorů a mikrokontroléru na desku. Taky by bylo vhodné přepracovat systém pro nabíjení solárním panelem, aby byl více efektivní než s modulem TP4056 a optimalizovat velikost solárního panelu.

U webové aplikace by bylo vhodné vytvořit instalační aplikaci, která by provedla uživatele jednodušeji instalací webu a SQL databáze. Tak aby odpadla práce navíc s nahráváním na serveru a nastavování databáze.

Navržené změny byly nad rámec původního zadání diplomové práce a tudíž nebyly provedeny.

Kapitola 9

Závěr

Cílem bylo navrhnout, zkonstruovat a naprogramovat monitorovací stanici s vnitřní a venkovní jednotkou. Nejdříve jsem prozkoumal hotová řešení, které se již nachází na trhu abych mohl navrhnout vlastní koncept. Pak jsem se seznámil s principy měření jednotlivých parametrů jako je teplota, vlhkost, tlak, kvalita ovzduší apod. a taktěž s dopady měřených parametrů na člověka.

Navrhl jsem vlastní koncept, který spočíval v návrhu veškeré elektroniky, zvolení low-power senzorů a i výroby vlastních senzorů na měření rychlosti a směru větru a srážek.

Dále jsem vymodeloval veškeré mechanické části, které jsem pak vytisknul za pomoci 3D tiskárny vhodným materiálem.

Po návrhu jsme celou stanici sestavil, naprogramoval a vytvořil grafické rozhraní vnitřní stanice.

Krom návrhu programů pro stanice, jsem navrhl i vzdálenou administraci, pomocí které mohou obě jednotky spravovat vzdáleně a taky systém notifikací, tak aby uživatel mohl být kdykoliv informován o nebezpečí. Toho jsem docílil pomocí navržených webových stránek s využitím několika externích webových aplikací.

Nakonec jsem stanici podrobil testům spotřeby a taktěž porovnal některé měřené veličiny s konkurencí na trhu. Stanice spojuje vícero monitorovacích jednotek dohromady a obdobná se na trhu nevyskytuje. Otestované parametry dosahují přesnosti komerčních stanic a nabízí také několik vylepšení v podobě vzdálené správy a systému notifikací. Obě stanice, jak vnitřní tak vnější, běží 1 měsíc v zinním prostředí bez problémů.

Literatura

- [1] *Solight meteostanice*. Dostupné online:
<https://www.solight.cz/solight-meteostanice-extra-velky-barevny-lcd-teplota-vlhkost-tlak-rcc-usb-nabijeni-cerna-detail-3XZ1000201.aspx> [cit. 3.11.2022] .
- [2] *SWS 12500 WIFI*. Dostupné online:
<https://www.sencor.cz/profesionalni-meteorologicka-stance/sws-12500> [cit. 3.11.2022] .
- [3] *Garni 2055 Arcus*. Dostupné online:
<https://www.garni-meteo.cz/wi-fi-meteorologicka-stance-garni-2055-arcus.html> [cit. 3.11.2022] .
- [4] GARNI technology. *Garni 210T*. Dostupné online:
<https://www.garni-meteo.cz/chytry-meric-kvality-vzduchu-garni-210t-onecare.html> [cit. 12.12.2022] .
- [5] Krabcová Jana. *Vliv prostředí na zdraví člověka - Teplo*. 2020. Dostupné online:
<https://www.vovcr.cz/odz/tech/579/page10.html> [cit. 3.1.2023] .
- [6] Vojáček Antonín. *Přehled principů el. měření teploty*. 2014. Dostupné online:
<https://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil> [cit. 5.11.2022] .
- [7] Bhatia A. *Principles and Methods of Temperature Measurement*. Dostupné online:
<https://www.cedengineering.com/userfiles/Principles%20and%20Methods%20of%20Temperature%20Measurement-R1.pdf> [cit. 3.1.2023] .
- [8] UPMC. 2014. Dostupné online:
<https://share.upmc.com/2014/06/effects-humidity-body/> [cit. 3.1.2023] .
- [9] Hanzal Josef. *Vlhkoměry*. 2004. Dostupné online:
<https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vlhkomery.html> [cit. 5.11.2022] .
- [10] Hanzal Josef. *Humidity Sensor – Types and Working Principle*. 2007. Dostupné online:
<https://www.electronicshub.org/humidity-sensor-types-working-principle/> [cit. 3.1.2023] .
- [11] Petr Mejzlík. *Změny počasí, tlaku a vlhkosti – vliv na lidské tělo*. Dostupné online:
<http://www.x-idea.cz/zmeny-pocasi-a-vliv-na-lidske-telo/> [cit. 3.1.2023] .
- [12] Kadlec K. *Měření a regulace tlaku, kalibrace tlakoměrů*. Dostupné online:
<http://uprt.vscht.cz/ucebnice/L0/download/B6-priprava.pdf> [cit. 5.11.2022] .
- [13] Wilson Jon. *Pressure Measurement: Principles and Practice*. 2003. Dostupné online:

- <https://www.fierceelectronics.com/components/pressure-measurement-principles-and-practice> [cit. 3.1.2022] .
- [14] Vojáček Antonín. *Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech - 1. Co sledovat a měřit?* 2019. Dostupné online:
<https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-1-co-sledovat-a-merit.html> [cit. 7.11.2022] .
- [15] Vojáček Antonín. *Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech - 7. CO2.* 2020. Dostupné online:
<https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-7-co2.html> [cit. 3.1.2023] .
- [16] Vojáček Antonín. *Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech - 1. Jak ji měřit?* 2019. Dostupné online:
<https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-2-jak-ji-merit.html> [cit. 7.11.2022] .
- [17] *UV Radiation.* 2022. Dostupné online:
<https://www.cdc.gov/nceh/features/uv-radiation-safety/index.html> [cit. 3.1.2023] .
- [18] *What Is A UV Sensor?* Dostupné online:
<https://www.davisinstruments.com/pages/what-is-a-uv-sensor> [cit. 5.11.2022] .
- [19] *Součástky řízené neelektrickou veličinou.* 2015. Dostupné online:
<https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/608> [cit. 3.1.2023] .
- [20] Michelle Meg. *When Was the Rain Gauge Invented?* 2021. Dostupné online:
<https://sciencing.com/rain-gauge-invented-23359.html> [cit. 3.1.2023] .
- [21] Reimer Jeffrey. *How Do We Measure Rainfall?* 2018. Dostupné online:
<https://kids.frontiersin.org/articles/10.3389/frym.2018.00038> [cit. 5.11.2022] .
- [22] TECO. *Měření množství srážek, srážkoměr s překlápěcím člunkem.* 2020. Dostupné online:
<https://wiki.tecomat.cz/clanek/1162-mereni-mnozstvi-srazek-srazkomer-s-preklapecim-clunkem> [cit. 5.11.2022] .
- [23] Peter Nichols Gopinath Kathiravelu, Terry Lucke. *Rain Drop Measurement Techniques: A Reví.* 2015. Dostupné online:
https://mdpi-res.com/d_attachment/water/water-08-00029/article_deploy/water-08-00029.pdf [cit. 3.1.2022] .
- [24] *Anemometer.* 2022. Dostupné online:
<https://education.nationalgeographic.org/resource/anemometer> [cit. 3.1.2023] .
- [25] *Beaufort wind force scale.* Dostupné online:
<https://www.metoffice.gov.uk/weather/guides/coast-and-sea/beaufort-scale> [cit. 3.1.2023] .
- [26] Benda Tomáš. *NÁVRH A REALIZACE BEZKONTAKTNÍHO OTÁČKOMĚRU* . 2008. Dostupné online:
https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=10635 [cit. 5.11.2022] .
- [27] Žůrek Daniel. *APLIKACE POČÍTAČE V ULTRALEHKÉM LETOUNU.* 2017. Dostupné online:
https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=158343 [cit. 20.11.2022] .

- [28] *SEN0170*. Dostupné online:
https://wiki.dfrobot.com/Wind_Speed_Sensor_Voltage_Type_0-5V__SKU_SEN0170
[cit. 20.11.2022] .
- [29] Oswald Ed. *How is Wind Measured? Anemometers and Wind Vanes Explained*. 2022. Dostupné online:
<https://www.weatherstationadvisor.com/how-is-wind-measured/> [cit. 3.1.2023] .
- [30] Miroslav Vysoudil. *Základy fyzické geografie 1: Meteorologie a klimatologie*. 2013. Dostupné online:
<https://geography.upol.cz/soubory/studium/e-ucebnice/978-80-244-3893-1.pdf> [cit. 2.11.2022] .
- [31] Kohout Luděk. *Snímače polohy*. Dostupné online:
https://wiki.dfrobot.com/Wind_Speed_Sensor_Voltage_Type_0-5V__SKU_SEN0170
[cit. 20.11.2022] .
- [32] Krabcová Jana. *Vliv prostředí na zdraví člověka - Hluk*. 2020. Dostupné online:
<https://www.vovcr.cz/odz/tech/579/page11.html> [cit. 3.1.2023] .
- [33] Reichl Jaroslav. *Mikrofony*. Dostupné online:
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/377-mikrofony> [cit. 30.11.2022] .
- [34] *KONSTRUKCE MIKROFONŮ*. Dostupné online:
https://www.elektroakustika.cz/types_microphones.html [cit. 30.11.2022] .
- [35] Veselý Petr. *Technika nahrávání – mikrofon*. 2019. Dostupné online:
https://wiki.dfrobot.com/Wind_Speed_Sensor_Voltage_Type_0-5V__SKU_SEN0170
[cit. 20.11.2022] .
- [36] LilyGo. *LILYGO® T5-4.7 inch E-Paper ESP32*. 2020. Dostupné online:
http://www.lilygo.cn/prod_view.aspx?TypeId=50061&Id=1384&Fid=t3:50061:3
[cit. 22.11.2022] .
- [37] Bo-Ru (Paul) Yang. *Understanding the Mechanisms of E-ink Operation*. 2019. Dostupné online:
https://confit.atlas.jp/guide/event-img/idw2019/EP1-3/public/pdf_archive?type=in [cit. 8.11.2022] .
- [38] Espressif. *ESP32WROVERE ESP32WROVERIE Datasheet*. 2022. Dostupné online:
https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wrover-e_esp32-wrover-ie_datasheet_en.pdf [cit. 22.11.2022] .
- [39] He Lewis. *LilyGo-EPD47*. 2020. Dostupné online:
<https://github.com/Xinyuan-LilyGO/LilyGo-EPD47> [cit. 22.11.2022] .
- [40] *PIM357*. Dostupné online:
https://cz.farnell.com/productimages/standard/en_GB/SC14929-40.jpg [cit. 20.11.2022] .
- [41] Bosch. *BME680 Datasheet* . 2017. Dostupné online:
<https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/3660/BME680.pdf> [cit. 20.11.2022] .
- [42] *MAX4466 Datasheet*. 2001. Dostupné online:
<https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/MAX4465-MAX4469.pdf> [cit. 30.11.2022] .
- [43] Laskakit. *Aktivní bzučák*. Dostupné online:
<https://www.laskakit.cz/aktivni-bzucak-3-3v/##description> [cit. 10.11.2022] .

- [44] Laskakit. Dostupné online:
<https://www.laskakit.cz/> [cit. 20.11.2022] .
- [45] Sensirion. *Datasheet SHT3x-DIS*. 2019. Dostupné online:
https://sensirion.com/media/documents/213E6A3B/61641DC3/Sensirion_Humidity_Sensors_SHT3x_Datasheet_digital.pdf [cit. 10.11.2022] .
- [46] Bosh. *BMP280 Digital Pressure Sensor*. 2015. Dostupné online:
https://www.laskakit.cz/user/related_files/bst-bmp280-ds001-11.pdf [cit. 10.11.2022] .
- [47] LAPIS Semiconductor. *ML8511*. 2013. Dostupné online:
<https://www.laskakit.cz/arduino-senzor-uvb-uva-zareni-ml8511/> [cit. 10.11.2022] .
- [48] SEC. *SS49E*. 2008. Dostupné online:
<https://dratek.cz/docs/produkty/0/910/49e.pdf> [cit. 15.11.2022] .
- [49] Laskakit. *Nabíječka Li-ion článku TP4056 s ochranou*. Dostupné online:
<https://www.laskakit.cz/nabijecka-li-ion-clanku-tp4056-s-ochranou-microusb/##relatedFiles> [cit. 10.11.2022] .
- [50] Drátek. *Solární panel 6V 1W*. Dostupné online:
<https://dratek.cz/arduino/1589-solarni-panel-6v-1w-az-200ma.html> [cit. 11.11.2022] .
- [51] TOREX. *XC6210*. Dostupné online:
<https://www.torexsemi.com/file/xc6210/XC6210.pdf> [cit. 25.11.2022] .
- [52] Zilvar Jiří. *Jaký je nejlepší sklon a orientace fotovoltaických panelů pro solární pole?* 2021. Dostupné online:
<https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22703-jaky-je-nejlepsi-sklon-a-orientace-fotovoltaickych-panelu-pro-solarni-pole> [cit. 20.11.2022] .
- [53] Arduino. *Language Reference*. Dostupné online:
<https://www.arduino.cc/reference/en/> [cit. 25.11.2022] .
- [54] Keisan. *Convert Pressure*. Dostupné online:
<https://keisan.casio.com/keisan/image/Convertpressure.pdf> [cit. 23.11.2022] .
- [55] Parkside. *Parkside PWM 4 A1*. Dostupné online:
<https://www.lidl.cz/p/parkside-merici-pristroje/p100344348002> [cit. 2.12.2022] .
- [56] *CanvasJS*. Dostupné online:
<https://canvasjs.com/docs/charts/basics-of-creating-html5-chart/> [cit. 16.11.2022] .
- [57] *Průvodce materiály*. Dostupné online:
https://help.prusa3d.com/cs/category/pruvodce-materialy_220 [cit. 3.1.2023] .
- [58] *EasyEDA*. Dostupné online:
<https://easyeda.com/> [cit. 3.1.2023] .
- [59] *Bezdrátová meteostanice Auriol 4-LD5641*. Dostupné online:
https://help.prusa3d.com/cs/category/pruvodce-materialy_220 [cit. 3.1.2023] .

Příloha A

Seznam zkratk a symbolů

CSS3	■ Kaskádové styly ve verzi 3
DC	■ Stejnosměrný proud
DPS	■ Deska plošných spojů
E-ink	■ Elektronický inkoust
eCO ₂	■ Odhadovaná koncentrace CO ₂
EEPROM	■ Elektricky mazatelná paměť pouze pro čtení
HTML	■ Hypertextový značkový jazyk
HTTP	■ Internetový protokol určený pro komunikaci s WWW servery
IO	■ Vstupně výstupní pin mikrokontroléru
LCD	■ Displej na bázi tekutých krystalů
LED	■ Displej na bázi LED diod
Li-Ion	■ Lithium-iontová baterie
MOSFET	■ Tranzistor řízený elektrickým polem
MOX	■ Sensor se snímacím elementem z oxidu kovů
MQTT	■ Kompaktní a otevřený protokol výměny dat určený pro přenos dat na vzdálená místa
OLED	■ Displej na bázi organického elektroluminiscenčního materiálu
PHP	■ Skriptovací programovací jazyk pro programování dynamických internetových stránek a webových aplikací
PN	■ Rozhraní polovodiče typu P a polovodiče typu N
PSRAM	■ Pseudostatická paměť s náhodným přístupem
RAM	■ Paměť s náhodným přístupem
RTC	■ Hodiny reálného času
Senzor 7v1	■ Obecný název pro venkovní senzor pro měření povětrnostních a klimatických parametrů
SMD	■ Součástky pro povrchovou montáž
SQL	■ Standardizovaný strukturovaný dotazovací jazyk pro práci s daty v relačních databázích
SRAM	■ Statická paměť s náhodným přístupem
THT	■ Součástky s drátovými vývody
UV	■ Ultrafialové záření
UVA	■ Ultrafialové paprsky typu A
UVB	■ Ultrafialové paprsky typu B
Wi-Fi	■ Technologie pro bezdrátový přenos

Příloha B

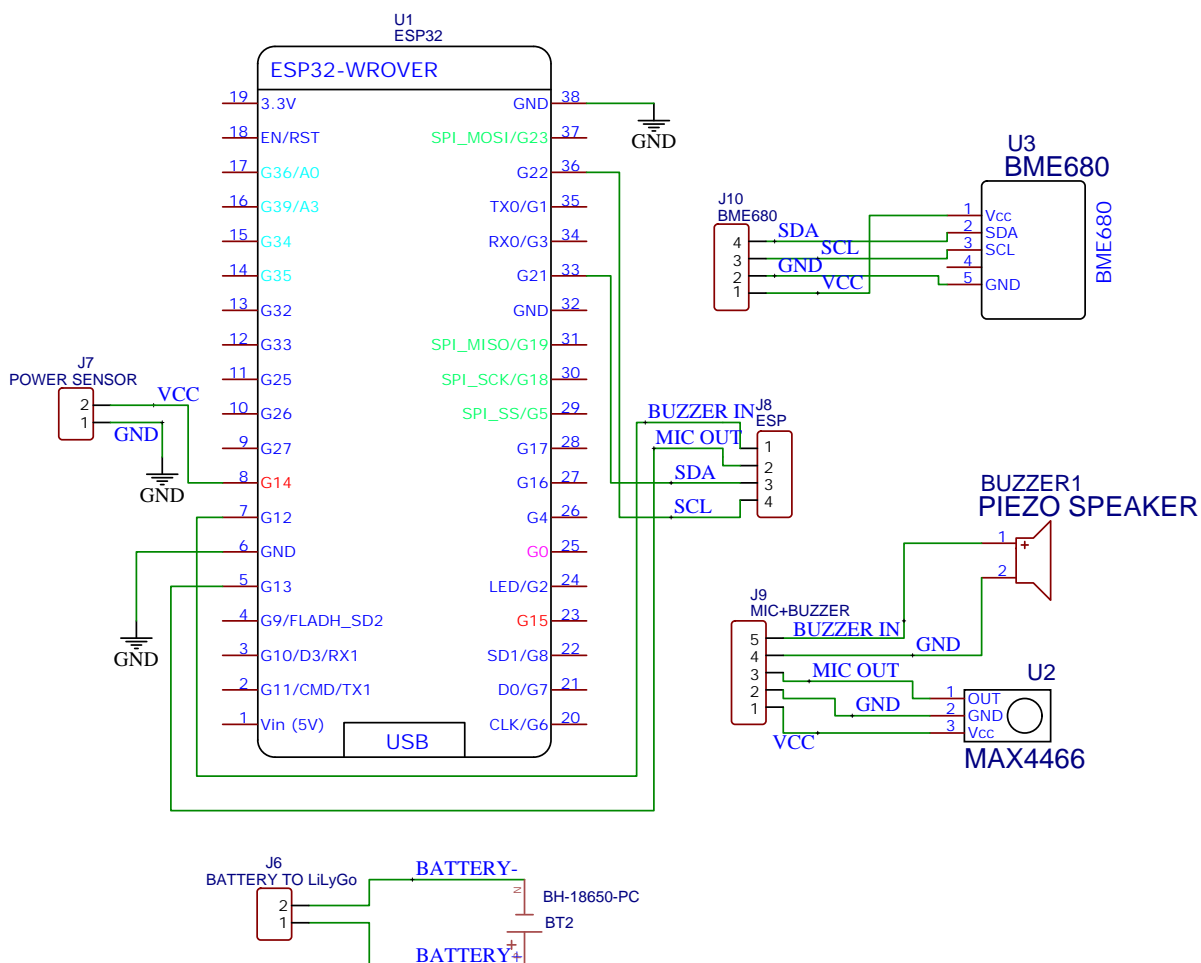
Seznam souborů

indoor.ino	Hlavní program vnitřní stanice.
firesans.h	Knihovna s texty pro vnitřní stanici.
icons.h	Knihovna s obrázky pro vnitřní stanici.
outdoor.ino	Hlavní program venkovní stanice.
web.zip	Archív s webem.
web_database.sql	Základní struktura tabulek pro import do SQL.
indoor_case.stl	Model krytu vnitřní stanice.
indoor_case_back.stl	Model zadního krytu vnitřní stanice
indoor_case_butt.stl	Model tlačítek vnitřní stanice.
outdoor_case.stl	Model krytu venkovní stanice
outdoor_case_front.stl	Model předního krytu venkovní stanice
outdoor_solar.stl	Model uchycení solárního panelu
outdoor_solar_joint.stl	Model spoje uchycení solárního panelu a kryt
outdoor_back_joint.stl	Model uchycení krytu stanice k tyči
outdoor_back_joint2.stl	Model spojky uchycení krytu stanice k tyči
outdoor_stator_a.stl	Model statoru pro anemometr a směru větru část A
outdoor_stator_b.stl	Model statoru pro anemometr a směru větru část B
outdoor_stator_c.stl	Model statoru pro anemometr a směru větru část C
outdoor_anemometr.stl	Model rotoru anemometru
outdoor_anemometr_cup.stl	Model lopatky anemometru
outdoor_wind_dir.stl	Model rotoru směru větru
outdoor_wind_dir_arrow1.stl	Model přední směrovky
outdoor_wind_dir_arrow2.stl	Model zadní směrovky
outdoor_rain_top.stl	Model trychtýře srážkoměru
outdoor_rain_bot.stl	Model vnitřní konstrukce srážkoměru
outdoor_rain_cup.stl	Model vaničky srážkoměru
Gerber_indoor.zip	Gerber data pro vnitřní desku.
Gerber_outdoor.sql	Gerber data pro venkovní desku.

Příloha C

Elektrické schéma

C.1 Vnitřní stanice



C.2 Venkovní stanice

