



**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

F3

**Fakulta elektrotechnická
Katedra mikroelektroniky**

Bakalářská práce

Meteostanice s předpovědí počasí

Petr Trejbal

Elektronika a komunikace

Srpen 2020

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

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Trejbal** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **466261**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Meteostanice s předpovědí počasí

Název bakalářské práce anglicky:

Meteostation with Weather Forecast

Pokyny pro vypracování:

- 1) Prostudujte problematiku meteostanic, typy měřených veličin, principy použitých senzorů.
- 2) Navrhněte koncept meteostanice (koncept základní a podružné stanice) s měřením typických sledovaných hodnot. Koncept rozšířte o měření UV indexu a případně dalších veličin. Pro předpověď využijte komunitní servery.
- 3) Navrhněte blokové schéma a obvodové zapojení.
- 4) Navržené zařízení realizujte a ověřte jeho funkci.
- 5) Porovnejte dosažené parametry s komerčně dostupnými produkty.

Seznam doporučené literatury:

- 1) The Complete ESP32 Projects Guide, ISBN-13: 978-1907920752.
- 2) Internet of Things Projects with ESP32: Build exciting and powerful IoT projects using the all-new Espressif ESP32, ISBN-13: 978-1789956870.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **11.02.2020** Termín odevzdání bakalářské práce: **14.08.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

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

prof. Ing. Pavel Hazdra, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování / Prohlášení

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Vladimíru Janíčkoví, Ph.D. za odborné rady, podnětné návrhy a konzultace, které mi poskytl při tvorbě této práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině, přátelům a přítelkyni za podporu a trpělivost při celém studiu.

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 14. 8. 2020

.....

Abstrakt / Abstract

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací domácí meteostanice založené na mikrokontrolérové desce ESP-WROOP-32. Meteostanice je rozdělena na dvě samostatné části. Základní stanice je prostřednictvím bezdrátového rozhraní Wi-Fi připojena k internetu, odkud získává informace o předpovědi počasí a aktuální časové údaje. Dále je vybavena senzory pro měření teploty, atmosférického tlaku, vzdušné vlhkosti, prašnosti a plynů. Podružná stanice je zcela energeticky soběstačná a je vybavena senzory pro měření venkovních meteorologických veličin. Naměřená data jsou pomocí protokolu ESP-NOW odeslána základní stanici, kde jsou zpracována a společně s ostatními informacemi jsou zobrazeny na displeji.

Klíčová slova: ESP32, meteostanice, Arduino IDE, ESP-NOW, Wi-Fi, LCD

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

The bachelor thesis deals with the design and implementation of a home weather station based on the ESP-WROOP-32 microcontroller board. The weather station is divided into two separate parts. The base station is connected to the Internet via a Wi-Fi wireless interface, where it obtains weather forecast information and current time data. It is also equipped with sensors for measuring temperature, pressure, humidity, dust and gases. The substation is completely energy self-sufficient and is equipped with sensors for measuring outdoor meteorological variables. The measured data are sent to the base station using the ESP-NOW protocol, where they are processed and displayed together with other information.

Keywords: ESP32, weather station, Arduino IDE, ESP-NOW, Wi-Fi, LCD

Title translation: Meteostation with Weather Forecast

Obsah /

1 Úvod	1	4.6 NTP klient-server	25
2 Meteorologie	2	4.6.1 Implementace	25
2.1 Meteorologická stanice	2	5 Realizace	27
2.2 Domácí meteostanice	2	5.1 Návrh a výroba desek ploš-	
2.3 Měření základních meteoro-		ných spojů	27
logických veličin	2	5.2 Návrh a výroba senzorů	28
2.3.1 Teplota vzduchu	2	5.3 Konstrukce vnitřní stanice	28
2.3.2 Vlhkost vzduchu	3	5.4 Konstrukce venkovní stanice ..	29
2.3.3 Atmosférický tlak	3	5.5 Rozložení grafického uživa-	
2.3.4 UV index	3	telského rozhraní	30
2.3.5 Atmosférické srážky	3	5.6 Cenový rozpočet	31
2.3.6 Rychlost větru	4	5.7 Problémy při realizaci a je-	
3 Hardware	5	jich řešení	32
3.1 Vývojový kit ESP32	5	6 Porovnání s komerčně dostup-	
3.1.1 Specifikace modulu	7	nou stanicí	33
3.2 LCD	7	7 Závěr	34
3.2.1 Dotykový displej Nextion ..	7	Literatura	35
3.2.2 Čtyřvodičové odporové		A Seznam zkratk	39
dotykové ovládání	8	B Data ve formátu JSON	41
3.2.3 Komunikace ESP32 -		C Schéma zapojení vnitřní a ven-	
Nextion	8	kovní stanice	43
3.3 Sensory	9	D Elektronické přílohy	45
3.3.1 Senzor BME280	9		
3.3.2 Modul ML8511	10		
3.3.3 Modul MQ-135	10		
3.3.4 Člunkový srážkoměr	11		
3.3.5 Senzor rychlosti větru ...	11		
3.4 Napájení	11		
3.4.1 Li-Ion akumulátor	11		
3.4.2 Modul s TP4056	12		
3.4.3 Solární panel	13		
3.4.4 Zvyšující DC/DC měnič .	13		
3.5 Přenos dat	14		
3.5.1 I ² C	14		
3.5.2 UART	15		
3.5.3 ESP-NOW	16		
3.5.4 Wi-Fi	19		
4 Software	21		
4.1 Arduino IDE	21		
4.2 Nextion Editor	22		
4.3 EasyEDA	23		
4.4 Onshape	23		
4.5 Komunitní servery pro před-			
pověď počasí	24		
4.5.1 Získávání dat ze serve-			
ru weatherbit.io	24		

Tabulky / Obrázky

5.1. Cenový rozpočet pro realizaci vnitřní meteostanice.....	31
5.2. Cenový rozpočet pro realizaci venkovní meteostanice	32
D.1. Elektronické přílohy	45
2.1. Princip člunkového srážkoměru ..	4
3.1. Blokové schéma meteostanice....	5
3.2. Blokový digram ESP32	6
3.3. Odporový dotykový panel	8
3.4. a) Modul s BME280 b) Senzor BME280 v kovovém pouzdru.....	9
3.5. Schéma zapojení modulu s TP4056	12
3.6. Solární panel	13
3.7. Schéma zapojení DC/DC měniče	14
3.8. Zapojení sběrnice I ² C	14
3.9. Komunikace pomocí sběrnice I ² C	15
3.10. Zapojení sběrnice UART	15
3.11. Přenosový rámec sběrnice UART	16
3.12. Formát rámce protokolu ESP-NOW.....	16
4.1. Okno vývojového prostředí Arduino IDE	21
4.2. Nextion Editor	22
4.3. Pracovní prostředí Onshape ...	24
4.4. Formát URL adresy.....	24
5.1. a) DPS - vnitřní stanice b) DPS - venkovní stanice	28
5.2. Vnitřní stanice.....	29
5.3. Venkovní stanice	30
5.4. Grafické rozložení dipleje	31
6.1. Grafy naměřených hodnot	33
C.1. Schéma vnitřní stanice	43
C.2. Schéma venkovní stanice.....	44

Kapitola 1

Úvod

Počasí je nedílnou součástí našeho každodenního života a je nutné ho brát na zřetel a přizpůsobit se mu. Dříve byl za oknem každé domácnosti rtuťový nebo bimetalový teploměr a odměrný válec zobrazující množství srážek, podle kterých si lidé vybírali oblečení a volili množství závlivky na zahrádce. Dnes jsou díky velkému rozvoji a dostupnosti elektroniky velice populární domácí meteostanice, které měří a zobrazují teplotu, vlhkost, atmosférický tlak, směr a rychlost větru, aktuální datum, čas a další veličiny.

Díky velkému množství dostupných senzorů a elektronických součástek je dnes možné si postavit domácí meteostanici podle svých představ a požadavků. A právě návrhem a realizací domácí meteostanice se zabývá tato bakalářská práce.

K vypracování bakalářské práce je nejprve nutné prostudovat problematiku meteostanic, typy měřených veličin a principy použitých senzorů. Tyto informace zužitkovat při návrhu základní a podružné meteostanice, provést realizaci a ověřit funkčnost systému. Před realizací je nezbytné navrhnout blokové schéma a obvodové zapojení stanice. Koncept meteostanice by měl být uzpůsoben k měření typických veličin (teplota, vlhkost apod.), ale také dalších hodnot (UV index, srážky apod.). Stanice by měla být také schopná získávat údaje o předpovědi počasí z komunitních serverů. Výsledná realizace bude poté porovnána s komerčně dostupnými produkty.

Cílem bakalářské práce je navrhnout a zrealizovat meteostanici obsahující základní (vnitřní) a podružnou (venkovní) jednotku a to tak, aby byla srovnatelná s komerčně dostupnými meteostanicemi.

Kapitola 2

Meteorologie

Meteorologie je věda, zabývající se zemskou atmosférou. Popisuje její vlastnosti, složení a strukturu. Zkoumá fyzikální a chemické jevy, zaměřuje se na povětrnostní procesy a také analyzuje a předpovídá počasí. Aktuální stav atmosféry je popisován pomocí meteorologických prvků, kterými jsou teplota, tlak, vlhkost vzduchu, proudění vzduchu, sluneční svit, oblačnost a srážky. Meteorologie má široké praktické využití například v zemědělství, letectví nebo v námořnictví. Pro sběr meteorologických dat se používají měřicí přístroje, kterými se meteorologie také zabývá. [1]

2.1 Meteorologická stanice

K určení meteorologických prvků jsou využívány měřicí přístroje, které jsou integrovány do meteorologických stanic. Na základě naměřených dat se diagnostikuje a předpovídá počasí. Aby bylo možné předpovídat počasí, je nutné, aby byla data získávána na různých místech a ve stejnou denní dobu. Proto meteorologické stanice tvoří síť, kterou v České republice spravuje Český hydrometeorologický ústav. Ten také dále zpracovává naměřená data. Celosvětovou kontrolu nad meteorologickou sítí má Světová meteorologická organizace.

Meteorologické stanice lze rozdělit podle různých kritérií, podle umístění, odborného zaměření, mírou automatizace a také na profesionální a dobrovolnické.

2.2 Domácí meteostanice

U domácích meteostanic se neklade důraz pouze na přesné měření meteorologických prvků, ale také na uživatelskou přívětivost a estetickou stránku stanice. Elektronické domácí meteostanice obsahují vnitřní a venkovní jednotku, které jsou propojeny. Propojení může být drátové, ale u většiny stanic se setkáme se spojením bezdrátovým.

Základními funkcemi domácích meteostanic je měření a zobrazování vnitřní a venkovní teploty, atmosférického tlaku a vlhkosti. Kvalitnější přístroje nás také mohou informovat o rychlosti a směru větru, srážkách, předpovědi počasí, prašnosti nebo také o koncentraci různých plynů. Samozřejmostí je zobrazení data a času. [4]

2.3 Měření základních meteorologických veličin

2.3.1 Teplota vzduchu

V meteorologii se teplota vzduchu určuje ve výšce dva metry nad zemským povrchem ve stínu. Nejčastěji se měří v meteorologické budce s přesností na desetinu °C. Pro klimatologické účely se také měří přízemní teplota ve výšce pět centimetrů nad zemí. Dále se zaznamenává minimální a maximální teplota za určité časové období (den, měsíc nebo rok).

V meteorologii se můžeme setkat s různými druhy teploměrů. Se skleněnými teploměry využívajícími roztažnost kapalin, deformačními bimetalovými teploměry a s teploměry elektrickými, které pracují stále s větší přesností a malou setrvačností. Elektrické teploměry mohou být založeny na změně odporu kovů v závislosti na teplotě nebo na principu termoelektrickém, kdy se změnou teploty na vodivém spojení dvou různých kovů mění termoelektrické napětí. [2–3]

■ 2.3.2 Vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu vyjadřuje množství vodní páry ve vzduchu. Vznik oblaků a srážek je podmíněn množstvím vodní páry ve vzduchu.

Vlhkost vzduchu se měří vlasovým vlhkoměrem nebo psychometrem. Vlasový vlhkoměr pracuje na principu prodlužování odmaštěného lidského vlasu v závislosti na vlhkosti prostředí. Psychometr obsahuje suchý a vlhký teploměr, na těchto teploměrech dochází k psychometrické diferenci. Pomocí tabulek a změřené diference se určí vlhkost vzduchu.

Elektronické měření vlhkosti může být založeno na různých principech. Mezi často používané vlhkoměry patří odporové, kapacitní, elektrolytické, vlhkoměry s vyhřívanými termistory a další. [5]

■ 2.3.3 Atmosférický tlak

Tlak vzduchu je způsoben tíhou sloupce vzduchu, který sahá od měřené hladiny až k horní hranici atmosféry. Je definován jako síla, která působí kolmo na plochu jednotné velikosti (1 m^2). Atmosférický tlak se měří v pascálech (Pa) nebo v jeho násobcích (hPa). Závisí na teplotě, vlhkosti vzduchu, zeměpisné šířce a nadmořské výšce. Pro možnost porovnání tlaků v různých oblastech je nutné tlak redukovat na $0 \text{ }^\circ\text{C}$ a hladinu moře. Tzv. normální atmosférický tlak, který odpovídá průměrnému redukovanému tlaku je $1013,25 \text{ hPa}$. U atmosférického tlaku se během dne vyskytují dvě maxima, a to před polednem a před půlnocí.

Tlak vzduchu se měří pomocí tlakoměrů, hypsometrů nebo barografů. K měření atmosférického tlaku lze také využít elektronické snímače např. kapacitní, piezoelektrické nebo snímače s odporovými tenzometry. [1]

■ 2.3.4 UV index

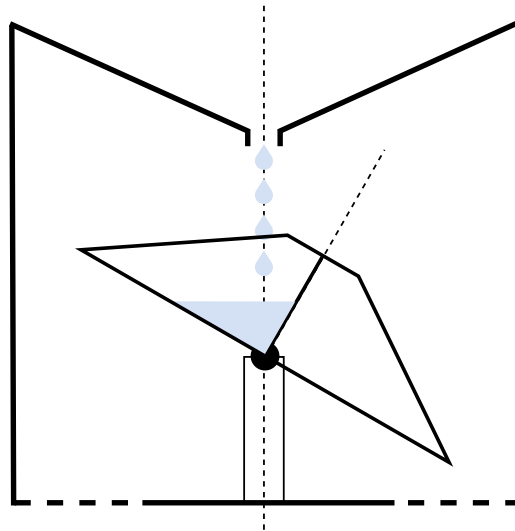
UV index je veličina, která udává intenzitu ultrafialového slunečního záření. Toto záření má vlnovou délku od 100 do 400 nm . Hodnota UV indexu je ovlivňována různými faktory např. atmosférickým ozonem, oblačností, mlhou nebo nadmořskou výškou území. Je to bezrozměrná veličina, která nabývá hodnot od 1 do 11 (do 2 nízký, do 5 střední, do 7 vysoký, do 10 velmi vysoký a 11 a více extrémní). Má negativní dopad na lidskou pokožku. Nejvyšších hodnot dosahuje během letního období, v České republice se maxima pohybují okolo 9 . [6]

■ 2.3.5 Atmosférické srážky

Srážky jsou vodní kapky vzniklé kondenzací (zkapalnění vodní páry) nebo ledové částice vzniklé desublimací (přeměna plynného skupenství na skupenství pevné). Měří se pomocí srážkoměrů.

Základní druhy srážkoměrů jsou ombometr a člunkový srážkoměr. Ombometr je odměrný válec s nálevkou, ve které se hromadí dešťová voda nebo sníh. Člunkový srážkoměr obsahuje překlápěcí člunek, na který jsou svedeny dopadající srážky. Jakmile se člunek naplní, dojde k překlopení, člunek se vyprázdní a začne se plnit znovu. Každé

překlopení je zaznamenáno a jejich počet určuje množství srážek. Princip člunkového srážkoměru je na obrázku 2.1. [4]



Obrázek 2.1. Princip člunkového srážkoměru

■ 2.3.6 Rychlost větru

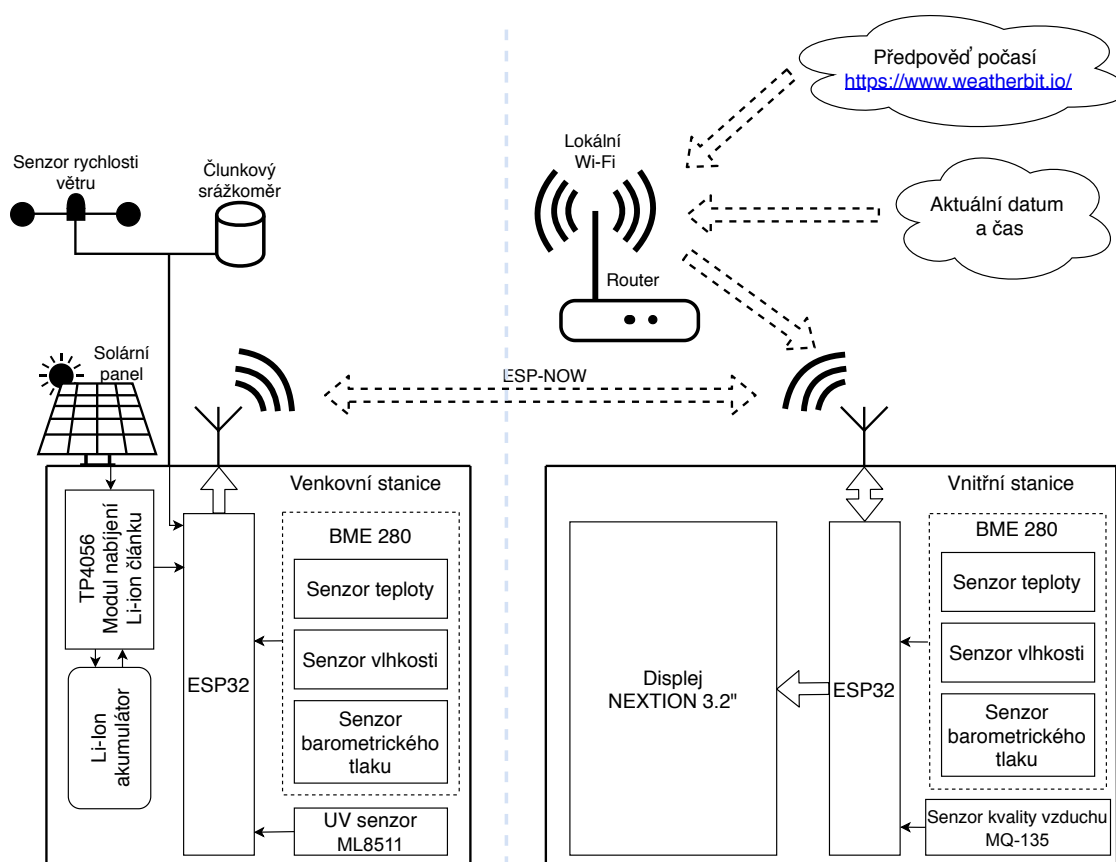
Vítr vzniká díky místům s rozdílným atmosférickým tlakem. Částice vzduchu se uvádí do pohybu vlivem tlakového spádu, a to ve směru od vyššího tlaku k tlaku nižšímu. Čím je vyšší rozdíl tlaků, tím je větší síla větru.

Rychlost větru popisuje proudění (pohyb) vzduchu v daném časovém okamžiku v určité části atmosféry. Měří se vůči zemskému povrchu. Rychlost větru se měří pomocí miskových nebo lopatkových anemometrů v deseti metrech nad zemským povrchem. Jednotkou je ms^{-1} . [1]

Kapitola 3

Hardware

Následující kapitola popisuje hardwarové prvky použité při stavbě meteostanice, všechny komponenty jsou vyobrazeny na blokovém schématu meteostanice 3.1. Před zvolením jednotlivých částí byl v rámci bakalářského projektu proveden průzkum trhu v dané oblasti. Prvky byly voleny s ohledem na kvalitu, přesnost, rozměry, odolnost, rozlišení, cenu a další parametry.



Obrázek 3.1. Blokové schéma meteostanice

3.1 Vývojový kit ESP32

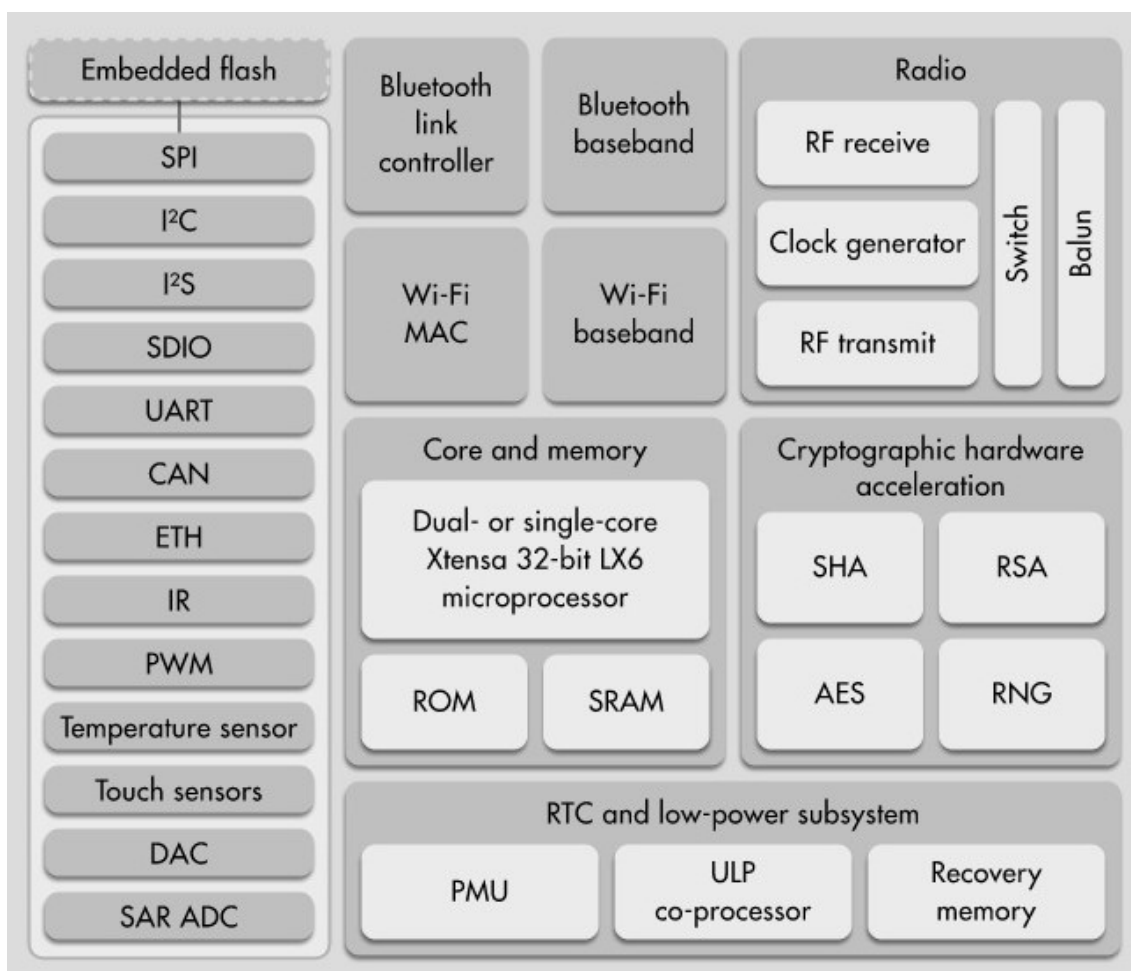
ESP32 je nástupcem integrovaného obvodu ESP8266 od společnosti Espressif Systems, po uvedení na trh v roce 2016 se stal velmi populárním. ESP32 je čip, který obsahuje 2,4 GHz Wi-Fi a také bluetooth ve verzi 4.2 s podporou BLE. Jedná se o nízkonákladový, nízkoenergetický SoC. Disponuje co-procesorem s velmi nízkým výkonem, který umožňuje práci v režimu hlubokého spánku. Jádrem je 32bitový mikroprocesor Tensilica Xtensa LX6 s taktovací frekvencí až 240 MHz. Statická paměť SRAM má velikost 512 kB. Oproti starší verzi ESP8266 byl navýšen počet vstupně-výstupních portů GPIO

na 36 a také byla rozšířena podpora sběrnic SPI, I²C, I²S a UART. Blokový diagram je zobrazen na obrázku 3.2.

Oficiálním vývojovým prostředkem je ESP-DIF (Espressif IoT Development Framework), který je pro většinu aplikací zbytečně komplikovaný. Proto se často využívá prostředí Arduino IDE, které je založené na jazyce C++ a je mnohem uživatelsky přívětivější. Má sice omezenou funkčnost, ale díky početné komunitě a množstvím dostupných knihoven je ve většině případů plně dostačující.

ESP32 byl navržen tak, aby byl univerzální, spolehlivý a použitelný v široké škále aplikací při dosažení co nejvyššího výkonu. Nejčastěji se používá v mobilních zařízeních a aplikacích IoT.[7]

Při výrobě meteostanice byly použity dva moduly ESP-WROOM-32, které se starají o veškeré výpočetní a komunikační potřeby obou jednotek. Zabezpečují komunikaci mezi venkovní a vnitřní stanicí, shromažďování dat ze senzorů, získávání potřebných informací z internetu a jejich zobrazení.



Obrázek 3.2. Blokový digram ESP32 [7]

3.1.1 Specifikace modulu

- **Procesor:** Tensilica Xtensa LX6
- **Co-procesor:** ULP
- **Frekvence:** 240 MHz
- **Bezdrátové připojení:**
 - **Wi-Fi:** 802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 GHz up to 150 Mbit/s)
 - **Bluetooth:** v4.2 BR/EDR a BLE
- **ROM:** 448 kB
- **SRAM:** 520 kB
- **GPIO:** 36 programovatelných pinů
- **Flash:** SPI Flash až 16 MB
- **Sériové sběrnice:** 4 x SPI, 2 x I²C, 2 x I²S, 2 x UART
- Kapacitní dotykový senzor
- Teplotní senzor
- 12-bit ADC
- 8-bit DAC
- **Pracovní teplota:** -40 až 125 °C
- **Napájecí napětí:** 5 až 12 V

3.2 LCD

LCD neboli displej z kapalných krystalů pracuje na principu změny propustnosti světla krystalem vlivem působení elektrického pole. LCD displeje se dělí na aktivní a pasivní. V této práci byl využit aktivní LCD displej značky Nextion.

Aktivní displej založený na technologii tekutých krystalů mívá také označení TFT, což znamená, že obsahuje tenkou vrstvu tranzistorů. Těchto tranzistorů může být na displeji až několik milionů, jejich počet závisí na rozlišení displeje. Tím se dostáváme k tomu, že LCD je složen z obrazových bodů, tzv. pixelů, které jsou rozděleny na tři podčásti. Každá podčást odpovídá jedné ze tří základních barev a to červené, zelené nebo modré a tím tvoří tzv. RGB matici. Každou barevnou složku má na starost jeden tranzistor, který ovládá tekuté krystaly a tím určuje množství procházejícího světla. Toto světlo je zajišťováno podsvěťujícími katodami. Nejčastěji jde o světlo bílé a velice jasné. Složením těchto tří barevných složek vzniká výsledná barva pixelu. [8]

3.2.1 Dotykový displej Nextion

Displeje od firmy Nextion jsou vysoce kvalitní barevné displeje s dotykovým ovládáním, které disponují ARM procesorem a také flash pamětí. Tyto komponenty nám umožňují převést určité výpočetní akce přímo do displeje a nezatěžovat tak hlavní řídicí jednotku, v našem případě ESP32. Displej může provádět akce jako jsou přepínání mezi stránkami, změna barev objektů, využití interních časovačů a proměnných apod. Další velkou výhodou je možnost návrhu a simulací v grafickém prostředí přímo v aplikaci od výrobce viz 4.2. Vyrábějí se v různých variantách, které se liší vlastnostmi (velikost displeje, rozlišení, velikost flash paměti) a výbavou (EEPROM, GPIO, RTC). Komunikace s displejem probíhá pomocí sériové sběrnice UART, která je popsána v kapitole 3.5.2. Pracovní napětí displeje je 5 V. [9]

Pro tuto práci byl vybrán displej Nextion NX4024T032 s úhlopříčkou 3,2 palce, rozlišením 400x240 pixelů, zobrazením až 65 536 barev, odporovým čtyřvodičovým dotykovým ovládáním, 4 MB flash paměti a napájecím proudem 85 mA.

3.2.2 Čtyřvodičové odporové dotykové ovládání

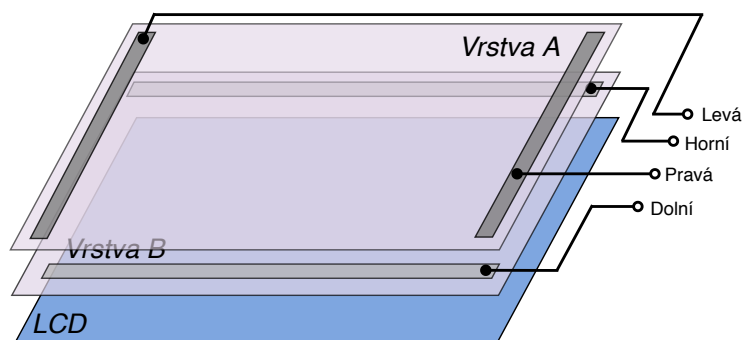
Odporové neboli rezistivní dotykové panely mohou mít různé druhy vyhodnocení místa dotyku. Používají se panely 8vodičové, 5vodičové a v našem případě se jedná o panel 4vodičový.

4vodičový panel je složen z několika vrstev, z nichž dvě jsou potaženy rezistivní fólií. Tyto odporové vrstvy obsahují dvě elektrody ležící na protilehlých stranách. Jak je patrné z obrázku 3.3, jedna vrstva má elektrody vlevo a vpravo a druhá v horní a dolní části. Aby nedocházelo k dotyku obou vrstev za klidového stavu, jsou mezi nimi průhledné izolační body.

Pokud nastane dotyk, dojde ke styku odporových vrstev a k vyhodnocení, v jakém místě na displeji k dotyku došlo. Toto vyhodnocení probíhá ve dvou krocích:

1. Napájecí napětí je přivedeno mezi pravou a levou elektrodu vrstvy A. Spodní elektroda vrstvy B je připojena na vstup ADC, čímž je zjištěna hodnota napětí, potažmo poloha stisku na ose x.
2. Tentokrát je napětí přivedeno na elektrody ve vrstvě B (horní a dolní) a levá elektroda vrstvy A je připojena na ADC. Naměřené napětí odpovídá poloze na ose y.

Kombinací těchto dvou kroků dostáváme přesné místo dotyku.



Obrázek 3.3. Odporový dotykový panel

3.2.3 Komunikace ESP32 - Nextion

Vytváříme-li grafické rozhraní displeje pomocí programu Nextion editor (viz 4.2), každý objekt umístěný na ploše displeje má přiřazený identifikátor. Toto ID je klíčové při odesílání dat z ESP32.

Jak již bylo řečeno, odesílání dat z ESP32 do displeje, probíhá po sériové sběrnici UART. Ve vývojovém prostředí Arduina IDE (viz 4.1) dochází k odeslání dat po této sběrnici pomocí funkce `Serial.write()`. Aby se informace zobrazila na displeji správně, musí být odeslána v přesném formátu, který je pro displej čitelný. Příkladem je odeslání časového údaje, který má být zobrazen prvkem s identifikátorem `t1`.

```
t1.txt="17:54"
```

Je vidět, že zpráva musí být složena z ID prvku, názvu atributu a informace, která má být do daného atributu zapsána. Každá odeslaná položka musí být ukončena třemi znaky `0xff`. Výsledný kód implementovaný v Arduina IDE vypadá takto:

```
Serial.print("t1.txt=\"17:54\"");
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
```


Na tomto principu probíhá zobrazování veškerých meteorologických dat, času, data a dalších informací. Také jsou takto řešeny změny obrázků a barva textu.

3.3 Senzory

Senzor je zařízení, které detekuje a reaguje na různé typy vstupů z fyzického prostředí. Zde se zaměříme pouze na senzory podstatné pro tuto práci a to na senzory snímající meteorologické prvky.

3.3.1 Senzor BME280

Digitální senzor BME280 od firmy Bosch Sensortec integruje do jednoho pouzdra senzor atmosférického tlaku, teploty a vlhkosti ovzduší. Má velmi malé rozměry a spotřebu, proto je vhodný do systémů s bateriovým napájením. Pouzdro je standardní LGA s kovovým krytem a otvorem. Komunikace s řídicí jednotkou probíhá pomocí sériových sběrnic SPI nebo I²C. Napájecí napětí je v rozsahu 1,7 - 3,6 V. Verze modulu osazená čipem BME280 použitá v této práci (na obrázku 3.4 a)) je uzpůsobena pouze ke komunikaci pomocí sběrnice I²C. Vlastnosti tohoto modulu uváděné výrobcem [10] jsou:

■ Teplota

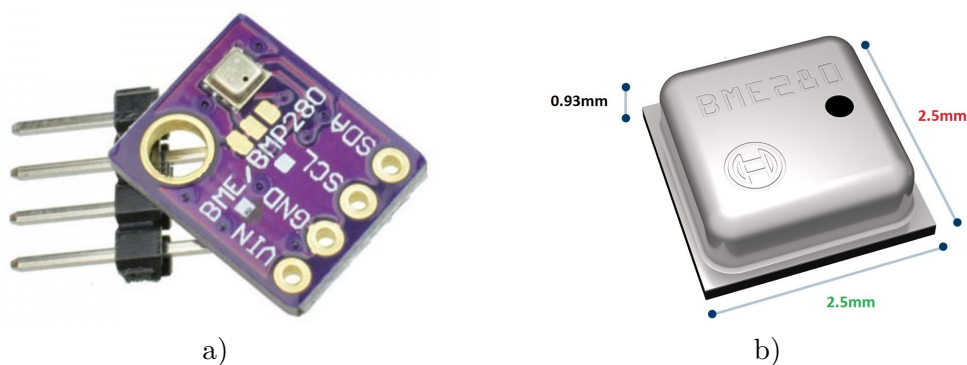
- Rozsah: -40 až 85 °C
- Přesnost: 1 °C

■ Tlak

- Rozsah: 300 až 1100 hPa
- Přesnost: 1 Pa

■ Vlhkost

- Rozsah: 0 až 100 %
- Přesnost: 3 %



Obrázek 3.4. a) Modul s BME280 [11] b) Samotný senzor v kovovém pouzdrú [10]

Technologie a princip funkce

Tlakový senzor je vyráběn technologií MEMS. K detekci změny tlaku se využívají piezorezistory, na které se přenáší deformace čtvercové membrány. Tato deformace je způsobena atmosférickým tlakem. Membrána má rozměry přibližně 800x800 μm. [12]

Měření teploty a vlhkosti probíhá odporovým způsobem. Detekuje se změna odporu porézního filmu. [13]

Implementace v prostředí Arduino IDE

Společnost Adafruit distribuuje knihovny kompatibilní s prostředím Arduino IDE (viz 4.1), které jsou přímo určeny pro senzor BME280. Prvním krokem při implementaci je nainportování knihoven od Adafruit. Jak bylo uvedeno výše, u použitého modulu probíhá komunikace mezi senzorem a ESP32 pomocí sběrnice I²C, pro její inicializaci stačí vytvořit objekt `Adafruit_BME280`. Následuje zahájení komunikace se senzorem funkcí `begin()`. Argumentem funkce je port, ke kterému je senzor připojen. Pomocí podmínky `if()` proběhne kontrola, zda navázání komunikace proběhlo v pořádku. Ve funkci `loop()` jsou odečítány a zobrazovány hodnoty vzdušné vlhkosti naměřené senzorem. Obdobným způsobem se zjišťují naměřená data o teplotě a tlaku.

```
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>

Adafruit_BME280 bme;

void setup(){
  Serial.begin(115200);

  if(!bme.begin(0x76)){
    Serial.println("Senzor nenalezen");
    while(1);
  }
}

void loop(){
  Serial.print("Humidity: ");
  Serial.print(bme.readHumidity());
  Serial.println("%");
  delay(1000);
}
```

3.3.2 Modul ML8511

Modul ML8511 obsahuje snímač dopadajícího ultrafialového záření. Dokáže detekovat záření v rozsahu vlnových délek 280 až 390 nm, což zahrnuje spektrum UVB a téměř celé spektrum UVA. Výstupem senzoru je analogové napětí, které je přímo úměrné měřenému UV záření. Zpracování signálu tedy probíhá pomocí analogově-digitálního převodníku. Senzor disponuje malými rozměry a nízkým napájecím proudem (typicky 300 μ A) a proto je vhodný do systémů s bateriovým napájením jako jsou telefony, hodinky nebo právě meteostanice.

Technologie a princip funkce

Základem senzoru je fotodioda citlivá na UVA a UVB záření a vestavěný operační zesilovač. Fotodioda je zapojena v proudovém režimu, ve kterém je proud protékající diodou lineárně závislý na intenzitě světla, v tomto případě na intenzitě UV záření. Signál z fotodiody je pomocí operačního zesilovače zesílen pro analogový výstup. Ten je přiveden na vstup ADC modulu ESP32, kde jsou data zpracována. [14]

3.3.3 Modul MQ-135

Modul osazený senzorem MQ-135 slouží ke kontrole kvality vzduchu v místnosti. Je vhodný pro detekci amoniaku (NH₃), oxidů dusíku (NO_x), alkoholu, benzenu, oxidu

uhličitého (CO_2) a kouře. Jednotkou je ppm (počet částic na jeden milion). Vlastnosti senzoru jsou rychlá odezva, vysoká citlivost, dlouhá životnost, stabilita a také široký rozsah detekce. Nevýhodou je vyšší proudový odběr (okolo 120 mA) a také delší doba zahřátí na pracovní teplotu (5 až 10 minut). MQ-135 disponuje šesti piny, z nichž dva jsou vyhrazeny pro topný proud a čtyři ostatní slouží k získávání signálů. Před použitím je nutné sensor zkalibrovat pomocí potenciometru umístěném na modulu. [15]

Technologie a princip funkce

Princip funkce spočívá ve změně vodivosti prvku citlivého na výše uvedené plyny. U tohoto senzoru je použita trubička z oxidu cínitého (SnO_2). Změna odporu se převede na vhodnou změnu napětí a poté je pomocí ADC zpracována. Ohřev celého obvodu je nutný pro správnou funkci citlivých komponent. [16]

■ 3.3.4 Člunkový srážkoměr

Člunkový srážkoměr byl již popsán v kapitole 2.3.5, a proto se zde zaměříme pouze na elektronické zpracování dat ze senzoru. Pro tuto práci byl použit člunkový srážkoměr navržený v programu Onshape (viz kapitola 4.4) a vytištěn na 3D tiskárně. Pro snímání překlopení člunku byl zvolen princip spínání jazýčkového kontaktu pomocí magnetu. Magnet je připevněn na osu člunku a při každém překlopení magnetické pole sepne jazýčkový kontakt. Tento pulz je poté vyhodnocen pomocí ADC, obdobně jako by byl vyhodnocen stisk tlačítka.

■ 3.3.5 Senzor rychlosti větru

Senzor rychlosti a směru větru (viz 2.3.6) byl také navržen v programu Onshape (viz kapitola 4.4) a vytištěn na 3D tiskárně. Používá podobný způsob snímání jako člunkový srážkoměr. Do osy miskového anemometru je vsazen magnet, který spíná jazýčkový kontakt umístěný ve statické části anemometru. A opět jsou elektronicky zpracovávány pulzy vzniklé spínáním.

■ 3.4 Napájení

U tohoto projektu bylo napájení vnitřní a venkovní stanice řešeno zvlášť. Zatímco vnitřní jednotka mohla být jednoduše napájena adaptérem z elektrické sítě. U venkovní stanice bylo nutné navrhnout systém, který bude energeticky soběstačný. V této části budou popsány jednotlivé prvky napájecího obvodu použité ve venkovní stanici.

■ 3.4.1 Li-Ion akumulátor

Lithium-iontové akumulátory jsou dnes jedny z nejpoužívanějších, a to hlavně díky své hustotě energie vzhledem k objemu, dlouhé životnosti a nízké rychlosti samovybití. Jsou využívány v široké škále oborů od mobilních telefonů, notebooků až po automobily a letadla. Jmenovité napětí jednoho Li-Ion článku se udává 3,7 V. Napětí plně nabitého akumulátoru se pohybuje okolo 4,2 V a u vybitého okolo 3 V.

Samotná baterie se skládá z anody, katody a elektrolytu. Anoda je vyrobena z uhlíku, katoda z oxidu kovu a elektrolyt je tvořen lithiovou solí v organickém rozpouštědle. [17–18]

Výhody Li-Ion akumulátorů

- Vysoké napětí na článek 4,2 V
- Vysoká kapacita a nízký vnitřní odpor
- Mohou být vyrobeny v různých tvarech
- Vysoká hustota energie
- Velmi nízké samovybití

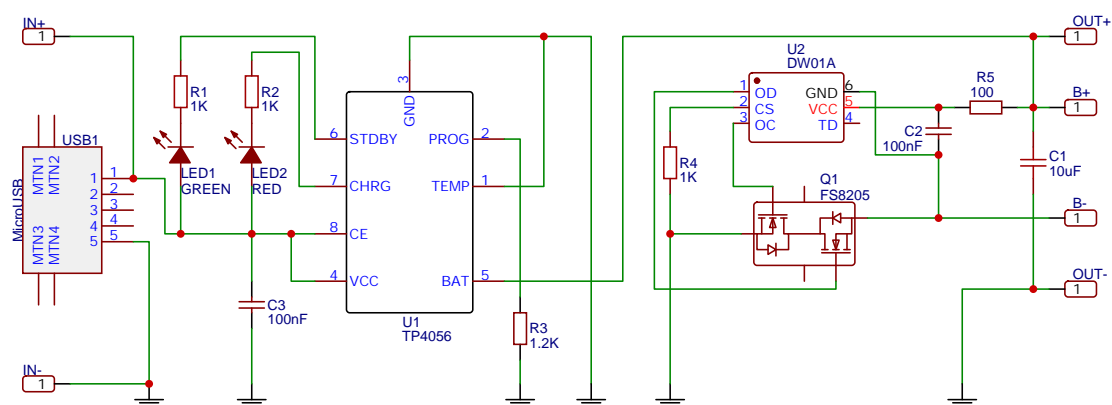
Nevýhody Li-Ion akumulátorů

- Stárnutí baterie (snižování kapacity)
- Při nesprávném použití nebezpečí exploze
- Baterie je citlivá na podvybití, riziko nevratného poškození článku
- Obtížná a nákladná recyklace

3.4.2 Modul s TP4056

Modul osazený čipem TP4056 je určen k nabíjení Li-Ion akumulátoru. Jeho výhodou je, že nabíjení probíhá konstantním napětím a proudem, a také je zajištěna ochrana, o kterou se stará integrovaný obvod DW01A. Akumulátor je chráněn proti přepětí (napětí na akumulátoru nepřekročí 4,2 V) a proti vybití pod kritickou úroveň. Dále je zajištěna ochrana proti zkratu, přesněji nadproudu, pokud stoupne vybíjecí proud nad 3 A, je baterii odpojena. Modul dále disponuje dvěma indikačními LED. Červená indikuje nabíjení a modrá kompletní nabití. Obvod je energeticky nenáročný, odebírá řádově μA proudu. Vstupní napětí se může pohybovat v rozsahu 4,5 až 6 V. Nabíjecí proud lze regulovat velikostí odporu R_3 (viz schéma na obrázku 3.5) a to dle rovnice (1). Od výrobce je nabíjecí proud stanoven na 1 A, tedy $R_3 = 1200 \Omega$. [19]

$$I_{NAB} = \frac{V_{PROG}}{R_3} * 1200 \quad (V_{PROG} = 1V) \quad (1)$$



Obrázek 3.5. Schéma zapojení modulu s TP4056 [20]

■ 3.4.3 Solární panel

Aby bylo zajištěno energetické soběstačnosti venkovní stanice, je nutné Li-Ion akumulátor dobíjet. To je zajištěno pomocí solárního panelu, konkrétně panelem s výstupním napětím 6 V a s výstupním výkonem až 1 W. Jedná se o polykrystalický panel v plastovém obalu, který je vysoce odolný vůči dešti (na obrázku 3.6). Rozměry panelu jsou 110 mm × 60 mm × 3 mm a váha 24 g.

Polykrystalické panely mají tu výhodu, že dokáží absorbovat světlo z více úhlů. Díky tomu mají rovnoměrnější výkon a hodí se na pevné instalace jako jsou domy, chalupy nebo v našem případě venkovní jednotka meteostanice.



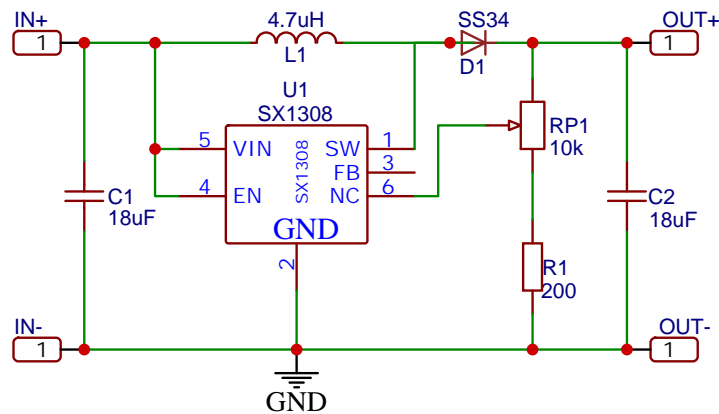
Obrázek 3.6. Solární panel [21]

■ 3.4.4 Zvyšující DC/DC měnič

Jelikož vývojový modul ESP32 lze napájet napětím v rozsahu 5 až 12 V je nutné, aby bylo napětí z Li-Ion akumulátoru, jehož jmenovité napětí je 3,7 V, zvýšeno. Proto byl do obvodu přidán zvyšující DC/DC měnič osazený integrovaným obvodem SX1308, který je velice flexibilní z ohledu vstupního a výstupního napětí. Měnič je schopný dodat do obvodu dostatečný proud s vysokou účinností. Pomocí trimru RP1 (viz schéma na obrázku 3.7) bylo nastaveno napětí na výstupu zvyšujícího obvodu na 7 V a tím bylo zajištěno bezproblémového chodu ESP32. [22]

Vlastnosti

- Vstupní napětí: 2-24 V
- Výstupní napětí: 3-28 V
- Maximální výstupní proud: 2 A
- Účinnost: až 95%
- Spínací frekvence: 1,2 MHz
- Rozměry: 16 mm × 23 mm × 14 mm



Obrázek 3.7. Schéma zapojení DC/DC měniče

3.5 Přenos dat

Modul ESP32 poskytuje mnoho možností pro přenos dat. V této kapitole budou popsány druhy komunikace použité při návrhu meteostanice.

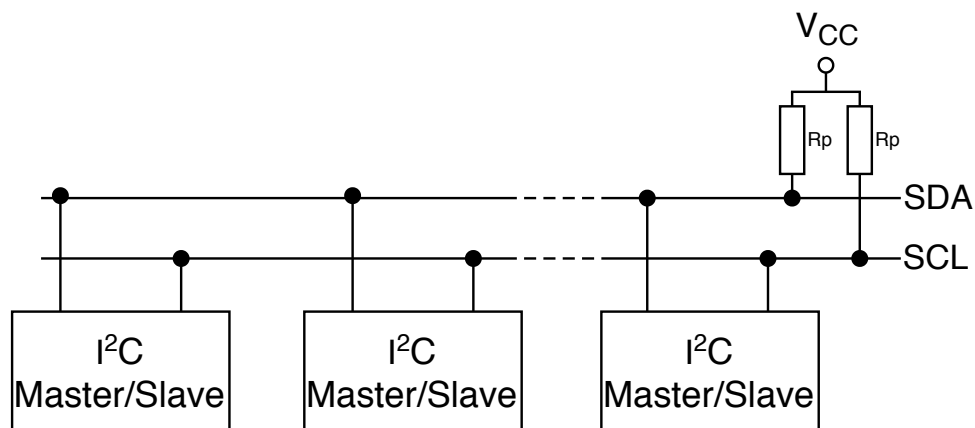
3.5.1 I²C

I²C je sériová komunikační sběrnice, která byla vynalezena firmou Philips. Slouží k propojování IO a jiných periférií, v našem případě propojení senzorů s ESP32. Je to jednoduchá a velice využívaná multi-masterová sběrnice, která může propojovat velké množství zařízení. Vzhledem k této možnosti je nutné, aby u sběrnice I²C byla řešena arbitrace. Proto má zabudovaný systém adresování, kdy každé zařízení disponuje unikátní adresou o délce 7 nebo 10 bitů. Maximální počet propojených zařízení je omezen délkou vodičů a také nejvyšší přípustnou kapacitou.

Pro komunikaci jsou vyžadovány pouze dva vodiče:

- **SDA** - **S**erial **D**Ata - přenos dat
- **SCL** - **S**erial **C**lock - hodinový signál

Tato vedení musí být připojena k referenčnímu napětí (V_{CC}) pomocí pull-up rezistorů (R_p). Fyzická realizace je na obrázku 3.8.



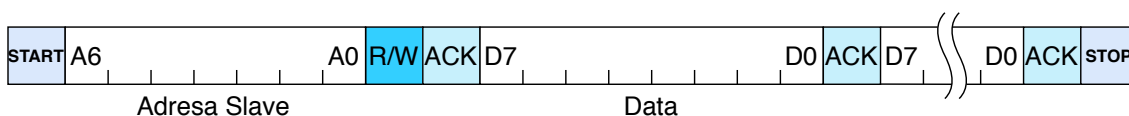
Obrázek 3.8. Zapojení sběrnice I²C

Průběh komunikace

V klidovém stavu jsou oba vodiče v úrovni HIGH (logická 1). Pokud probíhá komunikace, odesílají se datové bity a to tak, že logická úroveň se na SDA může měnit pouze v okamžiku, kdy je SCL v úrovni LOW (logická 0). Toto je porušeno pouze při vysílání podmínek START a STOP, které slouží k zahájení arbitrace a k ukončení komunikace.

Průběh komunikace je znázorněn na obrázku 3.9. Zahájení přenosu je uvozeno podmínkou START. Následuje adresa příjemce doplněná o bit R/W, který specifikuje požadovanou operaci (čtení/zápis dat). Další bit je potvrzení přijímací stanicí ACK. Poté již nastává přenos dat směrem určeným R/W bitem, každý odeslaný bajt je potvrzen ACK bitem. Komunikace je ukončena podmínkou STOP. [23]

Pomocí komunikačního protokolu I²C probíhá v meteostanici získávání údajů ze senzoru BME280.

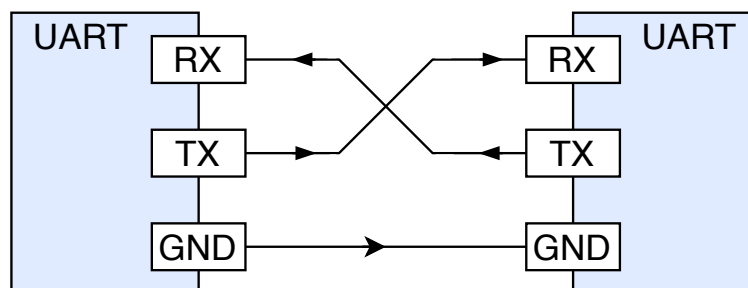


Obrázek 3.9. Komunikace pomocí sběrnice I²C

3.5.2 UART

UART je asynchronní sériové rozhraní, které slouží ke komunikaci mezi dvěma zařízeními (point-to-point). Každé zařízení podporující rozhraní UART má pro komunikaci vyhrazené dva piny RX a TX. RX pro příjem a TX pro vysílání dat. Jelikož není přenos nijak synchronizován, musí být u obou zařízení nastavena stejná přenosová rychlost. Tato rychlost udává, kolik změn signálových prvků nebo změn symbolů je vysláno za sekundu, jednotkou je Baud (Bd). Nejčastěji používané hodnoty jsou 9600 Bd, 57600 Bd a 115200 Bd.

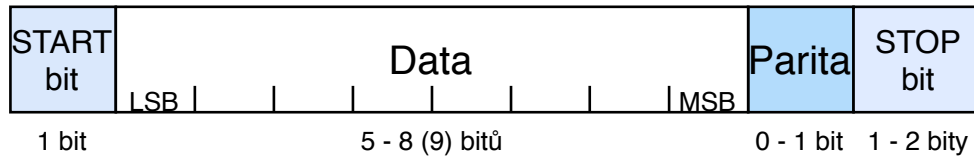
Tento typ komunikace je použit pro přenos dat z ESP32 na displej.



Obrázek 3.10. Zapojení sběrnice UART

Přenosový rámec

V klidovém stavu jsou piny v úrovni HIGH, která odpovídá napájecímu napětí. Přenos dat je zahájen nastavením logické nuly na pinu TX po dobu jednoho hodinového taktu. Délka taktu je odvozena z přenosové rychlosti. Tento bit je nazýván START bit. Poté následuje přenos dat, parity a celá komunikace je ukončena STOP bitem. Velikost přenášených dat je nastavitelná a může se pohybovat od 5 do 9 bitů. Pokud je použita kontrola paritou, lze přenést maximálně 8 bitů. Přenosový rámec je na obrázku 3.11. Data jsou přenášena od bitu s nejmenším významem (LSB) po bit s nejvyšším významem (MSB).



Obrázek 3.11. Přenosový rámec sběrnice UART

Parita

Parita je jednoduchá kontrola o bezchybném přenosu dat pomocí kontrolního součtu. Parita může být sudá nebo lichá. Je-li kontrola paritou povolena, je za přenášená data přidán tzv. paritní bit. Pokud se jedná, o paritu sudou je výsledek součtu paritního a datových bitů vždy sudý. Je-li součet pouze datových bitů lichý, bude paritní bit nastaven na logickou jedničku. Obdobně u parity liché, součet je lichý. Zařízení, které data přijímá, provede kontrolní součet a ověří výsledek s typem parity. Pokud se výsledky liší, jsou data označena jako chybná. Nevýhodou této metody je neschopnost detekce více jak jedné chyby. [24]

3.5.3 ESP-NOW

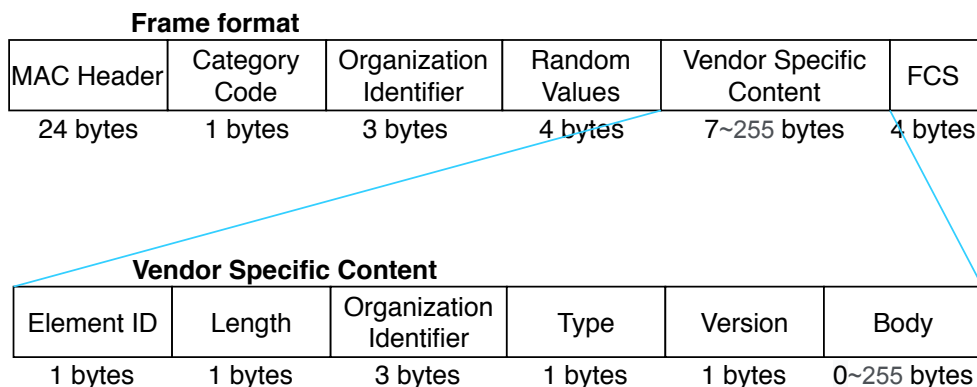
ESP-NOW je rychlý bezdrátový protokol určený pro přenos malých objemů dat. Je ideální pro použití v IoT zařízeních jako jsou inteligentní světla, zařízení ovládaná na dálku nebo aplikace využívající senzory. Byl vyvinut firmou Espressif pro bezpečnou komunikaci více zařízení bez nutnosti připojení. Tato technologie pracuje nad standardem IEEE 802.11 a používá frekvenci v pásmu 2,4 GHz.

Základní vlastnosti

- Šifrovaná i nešifrovaná unicastová komunikace
- Přenos až 250 bytů
- Umožňuje komunikaci až 20 zařízení
- Potvrzení příjemcem o doručení zprávy
- Výchozí bitová rychlost je 1 Mbps

Formát rámce protokolu ESP-NOW

ESP-NOW využívá pro odesílání dat specifický akční rámec vytvořený přímo pro tento typ komunikace. Konkrétní struktura je zobrazena do obrázku 3.12. Dále budou popsány nejpodstatnější části rámce.



Obrázek 3.12. Formát rámce protokolu ESP-NOW

- *MAC Header* - je rozdělena do částí, které obsahují MAC adresu příjemce, odesílatele a broadcastovou adresu (0xff:0xff:0xff:0xff:0xff:0xff)
- *Category Code* - je nastaven na hodnotu 127, která značí, že se jedná o Vendor Specific Content
- *Random Values* - zamezují útokům na přenos
- *Vendor Specific Content*
 - *Element ID* - pole ID prvku je nastaveno na hodnotu, která je specifická pro výrobce (Espressif - 221)
 - *Length* - vyjadřuje délku následujících čtyř částí (Organization Identifier + Type + Version + Body)
 - *Organization Identifier* - je identifikátor, který obsahuje první tři bajty MAC adresy
 - *Type* - toto pole má trvale hodnotu 4, což je označení pro ESP-NOW
 - *Version* - udává verzi protokolu ESP-NOW
 - *Body* - zde jsou uložena odesílaná data

Implementace protokolu ESP-NOW

Přidáme-li do programovacího prostředí Arduino IDE (viz kapitola 4.1) desku ESP32, automaticky se stáhnou podporované knihovny. Mezi nimi i knihovna `esp_now`, která je přímo distribuovaná firmou Espressif Systems. Tato knihovna obsahuje všechny potřebné funkce pro komunikaci pomocí ESP-NOW.

Dále bude popsán základní princip inicializace protokolu ESP-NOW pro jednosměrnou komunikaci. Zmíněné části kódu jsou určeny pro vývojové prostředí Arduino IDE a nejsou samostatně funkční (je nutné je doplnit o nezbytné části).

- *MAC adresa příjemce* - pokud chcete komunikovat pomocí protokolu ESP-NOW, je nutné znát MAC adresu příjemce. MAC adresa udává, pro jaké zařízení jsou určena odesílaná data. Adresu lze získat funkcí z knihovny `WiFi.h` a výpisem na sériový monitor:

```
Serial.println(WiFi.macAddress());
```

- *Inicializace ESP-NOW* - dalším krokem je inicializace ESP-NOW, která musí být provedena u odesílatele i u příjemce. Aby mohla být odeslána nebo přijata data, je také nutná inicializace Wi-Fi, proto je výrobcem doporučeno inicializovat Wi-Fi dříve než ESP-NOW. Inicializace je provedena funkcí `esp_now_init()`, která vrací `ESP_OK`, pokud inicializace proběhne úspěšně a `ESP_ERR_ESPNOW_INTERNAL`, když nastane interní chyba. Kód může vypadat například takto:

```
//Initializing Wi-Fi
WiFi.mode(WIFI_STA);

//Initializing ESP-NOW
if (esp_now_init() != ESP_OK) {
    Serial.println("Error initializing ESP-NOW");
    return;
}
```

- *Spárování zařízení* - spárování odesílatele a příjemce se provádí voláním funkce `esp_now_add_peer()` na straně odesílatele. Argumenty funkce jsou MAC adresa příjemce a kanál, na kterém budou zařízení komunikovat. Pokud je kanál nastaven na 0, budou data odeslána po aktuálním kanálu. Funkce opět vrací informace o spárování, lze tedy provést kontrolu jako v minulém případě:

```
uint8_t MACaddress[] = {0x24, 0x62, 0xAB, 0xD7, 0x07, 0xE8};

if (esp_now_add_peer(MACaddress, 6) != ESP_OK){
    Serial.println("Failed to add peer");
    return;
}
```

- *Odesílání dat* - data, která mají být odeslána, se nejčastěji ukládají formou struktury. V tomto případě jsou ve struktuře uložena data o venkovní teplotě, tlaku, vlhkosti, stavu baterie a další. Data se odesílají pomocí funkce `esp_now_send()` se třemi argumenty - MAC adresa příjemce, data a velikost dat. Pokud by byla adresa příjemce rovna NULL, budou data odeslána na všechna zařízení, která jsou spárována s odesílatelem. Tentokrát funkce nevrací pouze informaci o úspěchu a neúspěchu, ale pokud dojde k selhání, blíže specifikuje jeho příčinu. Příklady chybových hlášení:

- `ESP_ERR_ESPNOW_NOT_INIT` - ESP-NOW není inicializováno
- `ESP_ERR_ESPNOW_ARG` - neplatný argument
- `ESP_ERR_ESPNOW_NO_MEM` - nedostatek paměti
- `ESP_ERR_ESPNOW_NOT_FOUND` - zařízení nebylo nalezeno

Ukázka možného řešení:

```
typedef struct struct_DATA{
    float temp;
    int hum;
    ...
}struct_DATA;

struct_DATA myData;

myData.temp = 23.5;
myData.hum = 60;

esp_err_t res = esp_now_send(MAC, (uint8_t *) &myData, sizeof(myData));

if(res == ESP_OK){Serial.println("Sent with success");
}else if(res == ESP_ERR_ESPNOW_ARG){
    Serial.println("Invalid argument");
    ...
}else(res == ESP_ERR_ESPNOW_NO_MEM){
    Serial.println("Lack of memory");
}
```

- *Příjem dat* - příjem dat má na starost funkce `esp_now_register_recv_cb()`, která po přijetí dat zavolá funkci v argumentu. Aby bylo možné data jednoduše používat, je dobré vytvořit si stejný formát struktury, do které data ukládal odesílatel. Pro názornost je zde proveden pouze výpis přijatých dat na sériový monitor.

```
typedef struct struct_DATA{
    float temp;
    int hum;
}struct_DATA;

struct_DATA myData;

void OnDataRecv( uint8_t * MAC, uint8_t *incomingData, int len) {
    memcpy(&myData, incomingData, sizeof(myData));
    Serial.print("Temperature:  %f: ", myData.temp);
    Serial.print("Humidity:  %f: ", myData.hum);
}
...
esp_now_register_recv_cb(OnDataRecv);
```

V projektu meteostanice byla použita komunikace pomocí ESP-NOW k odesílání aktuálních dat z venkovní stanice do vnitřní. Toto spojení je pouze rozšířenou verzí zde zmíněné komunikace. [25]

■ 3.5.4 Wi-Fi

Wi-Fi je bezdrátová síťová technologie umožňující různým zařízením vytvářet síť a vzájemně si vyměňovat informace. Těmito zařízeními mohou být notebooky, stolní počítače, mobilní telefony, tiskárny, kamery, IoT prvky a další. Běžně se také používá pro lokální připojení k internetu. Wi-Fi má dosah okolo 30 m a může pracovat na frekvenci 2,4 GHz nebo 5 GHz.

Z technického hlediska Wi-Fi popisuje síťové komponenty založené na standardech IEEE 802.11. Odlišnosti jednotlivých standardů spočívají v různé šířce pásma, frekvencích, rychlosti přenosu nebo také v podpoře počtu kanálů. Pro tuto práci jsou důležité standardy 802.11 b/g/n/e/i, které jsou podporovány modulem ESP32. Dále budou krátce popsány některé podporované standardy. [26]

- **802.11b** - Pracuje na frekvenci 2,4 GHz s rychlostí 11 Mbps. Je kompatibilní se standardem 802.11g.
- **802.11g** - Frekvence 2,4 GHz a rychlost přenosu 54 Mbps. Kvůli zpětné kompatibilitě s 802.11b a vysoké rychlosti se jedná o jeden nejpoužívanějších standardů.
- **802.11n** - Nejrychlejší typ sítě. Za ideálních podmínek může dosahovat rychlosti až 600 Mbps (běžně 100 Mbps). Frekvence 2,4 GHz. [27]

Využití Wi-Fi pro meteostanici

Jak plyne ze zadání této práce, popisovaná meteostanice má být uzpůsobena ke stahování dat o předpovědi počasí z komunitních serverů (viz kapitola 4.5). Aby bylo možné předpověď získat, musí mít jedna ze stanic (venkovní nebo vnitřní) přístup k internetu. Pro tuto funkci byla zvolena vnitřní stanice, která je umístěna blíže routeru a má kvalitnější Wi-Fi signál. Poté bylo využití připojení k internetu rozšířeno o určování přesného data a času (viz kapitola 4.6).

Implementace připojení k Wi-Fi

Aby mohl modul ESP32 navázat připojení k internetu je nutné provést konfiguraci Wi-Fi. Program pro připojení a práci s Wi-Fi byl implementován v prostředí Arduino IDE, kterým se zabývá kapitola 4.1. Celý proces je založen na knihovně `WiFi.h`, která obsahuje všechny potřebné funkce. Po importu knihovny, jsou do proměnných uloženy údaje specifikující Wi-Fi síť, ke které se bude ESP připojovat. Ve funkci `setup()` je modul připojen k Wi-Fi. Cyklus `while()` zajistí pozastavení běhu programu, dokud nedojde k připojení. O průběhu připojování nás informuje výpis na sériovém monitoru.

```
#include <WiFi.h>

const char* ssid = "SSID";
const char* pass = "PASSWORD";

void setup(){
    Serial.begin(115200);

    WiFi.begin(ssid, pass);

    Serial.printf("Connecting to %s ", ssid);
    while(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
        delay(1000);
        Serial.print(".");
    }

    Serial.println("CONNECTED");
}
...

```

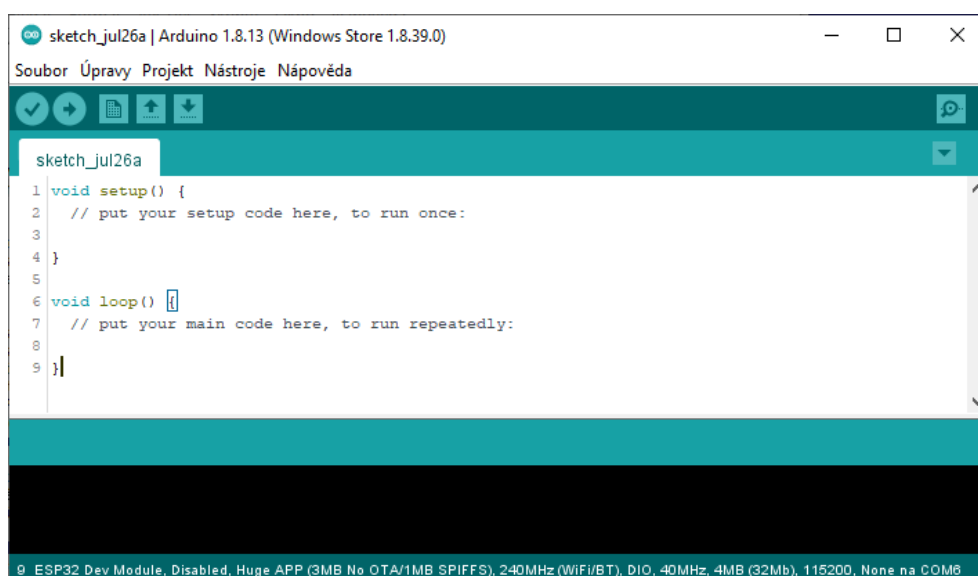
Kapitola 4

Software

4.1 Arduino IDE

Arduino IDE je open source software, který se využívá pro zápis, kompilaci a nahrávání kódu. Jak vyplývá z názvu, jde o software určený primárně pro Arduino vývojové desky, ale lze ho také využít pro další platformy, například ESP8266, ESP32, Intel boards nebo EMORO 2560. Vychází z programovacích jazyků C a C++, který je rozšířen o specifické metody a funkce. Pro tuto bakalářskou práci byla použita verze 1.8.13, kterou lze volně získat z oficiálních stránek arduino.cc. [28]

Základní okno vývojového prostředí Arduino IDE je zobrazeno na obrázku 4.1. Uživatelské rozhraní je rozděleno do čtyř hlavních částí, mezi které patří menu, lišta rychlého přístupu, textový editor a výstupní část. Menu nabídka slouží k obvyklým funkcím jako jsou otevírání a ukládání souborů, úpravy textového editoru, správa knihoven a vývojových desek apod. Velice využívaná je lišta rychlého přístupu, na které se nachází tlačítka pro kompilaci projektu, nahrání kódu, vytvoření nového souboru, otevření již existujícího souboru, uložení souboru a poslední tlačítko slouží k otevření sériového monitoru. Pod lištou rychlého přístupu se nachází textový editor, ve kterém se píše samotný kód. Pokud otevřeme nový soubor, textový editor obsahuje pouze dvě funkce `setup()` a `loop()`. Ty budou popsány dále. Ve spodním černém okně jsou vypisovány informace o kompilaci a nahrávání programu, případně chybová hlášení.



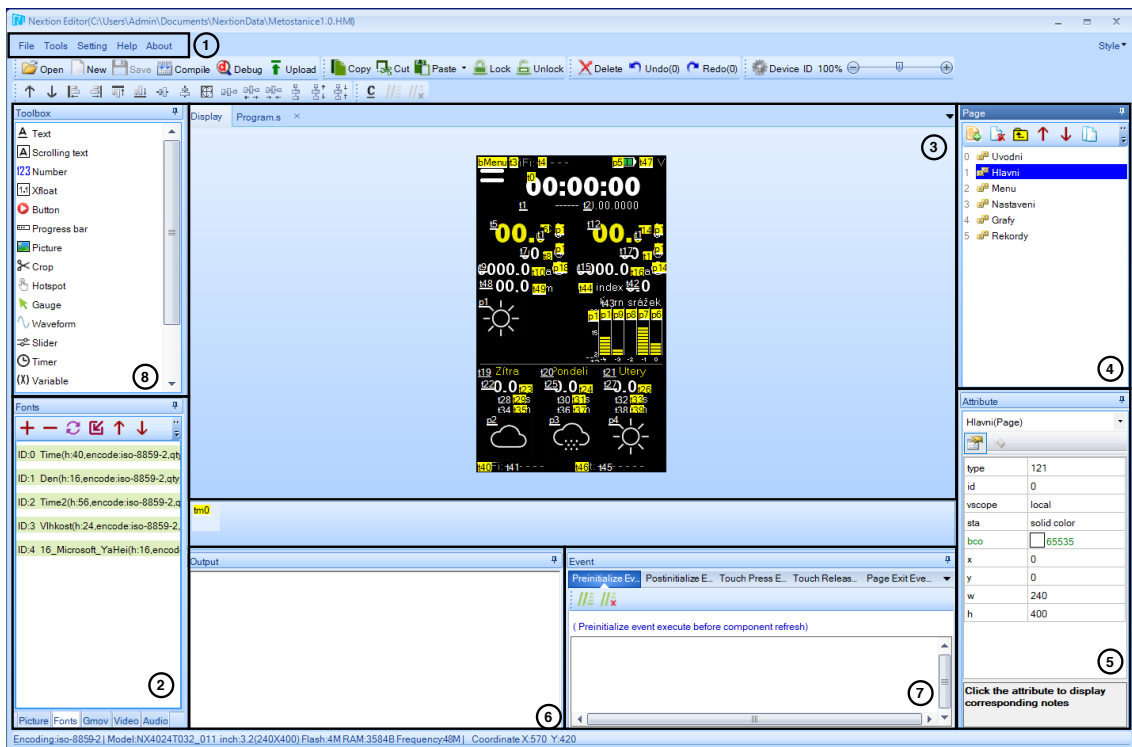
Obrázek 4.1. Okno vývojového prostředí Arduino IDE

Každý program napsaný v arduino IDE musí obsahovat funkci `setup()`. Ta slouží k definici funkcí, inicializaci tříd, deklaraci proměnných a také k nastavení počátečního stavu pinů. Tato funkce tedy definuje počáteční stav a je provedena pouze jednou.

Funkce `loop()` představuje hlavní smyčku programu. Začíná se provádět ihned po provedení funkce `setup()` a bývá v ní umístěna hlavní logika celého programu. Opět musí být funkce `loop()` obsažena v každém projektu.

4.2 Nextion Editor

Nextion Editor je bezplatný software sloužící k návrhu a tvorbě grafického uživatelského rozhraní (GUI) pro displeje od firmy Nextion. V editoru je možné definovat dotykové prvky a funkce, o které se stará mikroprocesor umístěný na displeji. Výhodou také je, že při práci není nutná znalost rozlišení displeje ani grafických ovladačů, ale stačí pouze založit nový projekt a zvolit typ displeje, pro který chceme GUI vytvářet. Na následujícím obrázku 4.2 je náhled editoru, který bude v krátkosti popsán níže.



Obrázek 4.2. Nextion Editor

1. **Hlavní nabídka** obsahuje prvky pro otevření, uložení, úpravu nebo založení nového projektu. V položce nástroje lze nadefinovat nové fonty písma, v nastavení je možné nakonfigurovat, případně obnovit rozvržení prvků na obrazovce a mnohé další.
2. V **podokně zdrojů** jsou zobrazeny vložené obrázky, fonty, videa a zvuky. Pomocí tlačítek v horní části lze prvky také přidávat, odebírat nebo přesouvat.
3. **Oblast displeje** slouží k návrhu vzhledu a rozložení komponent na displeji.
4. **Oblast stránek** je možné využít pro přechody mezi jednotlivými stránkami, pro jejich přidávání a odebírání.

5. **Editor atributů** se používá pro úpravu a definici vlastností jednotlivých prvků použitých v projektu. V atributech lze nastavit velikost, umístění, barvu, název a další.
6. **Výstup kompilátoru** nás informuje o průběhu kompilace, zobrazuje varovná či chybová hlášení.
7. **Oblast událostí** - Jak již bylo řečeno výše, u displejů Nextion lze část funkce přenechat přímo na displeji. Toto podokno slouží k přidávání funkčnosti jednotlivým komponentám, a to formou kódu.
8. V **panelu nástrojů** jsou umístěny všechny komponenty, které mohou být na displeji použity. Všechny prvky je možné umístit jednoduše pomocí „drag and drop“. Nejpoužívanějšími prvky jsou: textová okna, obrázky, tlačítka a slidery. [9]

4.3 EasyEDA

EasyEDA je komplexní software umožňující návrh a simulaci elektrických schémat a desek plošných spojů. Jde o program, ve kterém je možné pracovat přes okno webového prohlížeče nebo lze stáhnout desktopovou aplikaci. EasyEDA obsahuje rozsáhlé knihovny součástek, které podporují přímé odkazy na katalogy výrobců. Samozřejmostí je možnost si prvek od základu navrhnu a z jednotlivých komponent si vytvořit vlastní knihovnu. Výhodou je také možnost sdílení projektů mezi rozsáhlou komunitou nebo importovat schémata a prvky z programu LTspice.

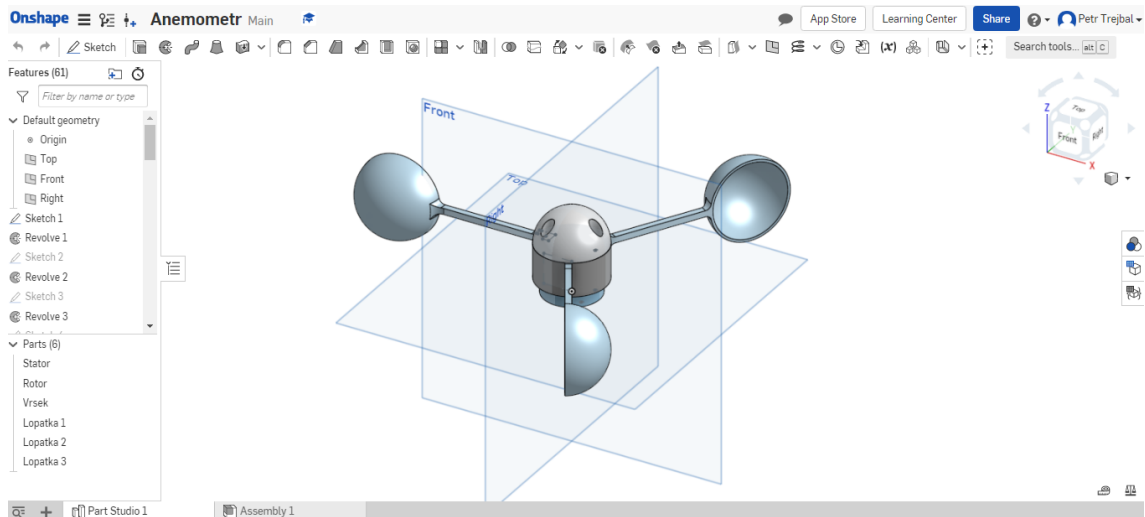
Software EasyEDA spolupracuje s firmou JLCPCB, která se zabývá profesionální výrobou desek plošných spojů. A díky tomu je možné, přímo přejít z návrhu desky plošného spoje k objednání výrobku. [29]

V této bakalářské práci byl program EasyEDA využit k návrhu schémat a desek plošných spojů pro obě stanice.

4.4 Onshape

Onshape je moderní CAD software, který se používá ke konstrukčním návrhům 2D a 3D součástí. Jeho velkou výhodou je rozsáhlé využití cloudu. Pro práci s tímto softwarem není nutné stahovat a instalovat objemově a výpočetně náročnou aplikaci, stačí si otevřít webový prohlížeč a pracovat přímo v něm. Projekty se ukládají na cloudové úložiště, a tak je možné, pomocí přihlašovacích údajů, přistupovat ke všem datům odkudkoliv. Všechny výpočty, které program vykonává, se provádí na externím serveru, a proto nám k práci stačí obyčejný notebook nebo dokonce mobilní telefon. Pouze je nutné zajistit stabilní internetové připojení. [30]

V tomto projektu byl Onshape využit pro návrh modelů pro 3D tisk. Konkrétně části senzorů pro měření rychlosti a směru větru, člunkový srážkoměr a kryty obou stanic. Následující obrázek ukazuje pracovní prostředí softwaru s návrhem senzoru pro měření rychlosti větru.



Obrázek 4.3. Pracovní prostředí Onshape

4.5 Komunitní servery pro předpověď počasí

Každá domácí meteostanice by měla disponovat předpovědí počasí. Jelikož je velice obtížné, ne-li nemožné předpovídat počasí z dat naměřených lokální meteostanicí, bylo nutné získávat předpověď počasí jiným způsobem. Optimální možností se stalo získávání dat z komunitních serverů, které používají pro předpověď počasí informace z celého světa. Tyto servery se liší formátem a množstvím dostupných dat. Existuje přes dvacet různých možností - OpenWeatherMap, Weatherbit, AccuWeather, Dark Sky a další.

S ohledem na formát a velikost dat byl vybrán server `weatherbit.io`, který pro přesnou předpověď počasí využívá predikční modely a strojové učení. Disponuje jednou z nejpřesnějších sbírek historických údajů o předpovědi, která je také využívána pro přesnou predikci. [31]

4.5.1 Získávání dat ze serveru `weatherbit.io`

Prvním krokem pro získání dat o předpovědi počasí je registrace na oficiálních stránkách. Po registraci obdržíme API klíč, který slouží k přístupu k požadovaným údajům. Pro získání dat, je nutné podat požadavek ve formě URL adresy. Ta je složena z několika částí, které jsou odděleny znakem `&` a může vypadat například takto:

Základní URL	Město, stát	Délka předpovědi	API klíč
<code>http://api.weatherbit.io/v2.0/forecast/daily?city=Prague,CZ</code>	<code>&days=4</code>	<code>&key=6e27a01eb9d547aba49e5563fb1481pt</code>	

Obrázek 4.4. Formát URL adresy

Kód v prostředí Arduino IDE, který se stará o odeslání požadavku obsahuje podmínku, která zjišťuje, zda je ESP32 připojeno k Wi-Fi síti, následuje deklarace třídy `HTTPClient` z knihovny `HTTPClient.h`, přiřazení již zmíněné URL adresy a samotné odeslání požadavku. Po odeslání požadavku dostaneme odpověď ve formě dat ve formátu JSON (viz příloha B). Data jsou uložena ve formě jednoho řetězce, proto je provedeno parsování, pomocí knihovny `ArduinoJson.h`, kdy jsou data rozdělena do jednotlivých

proměnných. Zde je uvedena ukázka kódu v Arduino IDE, kde je znázorněn postup, jak celý proces probíhá.

```

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    HTTPClient http;

    http.begin(URL_address);
    int httpCode = http.GET();

    if (httpCode > 0) {
        String payload = http.getString();
        DynamicJsonBuffer jsonBuffer(capacity);

        JsonObject& root = jsonBuffer.parseObject(payload);
        JsonArray& data = root["data"];
        JsonObject& data_0 = data[0];
        JsonObject& data_0_weather = data_0["weather"];
        ...
    }
}

```

4.6 NTP klient-server

Standardem pro domácí meteostanice je také zobrazování času a data. Existuje několik možností, jak získávat přesné informace, jednou z nich je využití NTP serveru. Jeho výhodou je, že není zapotřebí další hardware připojený k ESP32 (jako například RTC modul), ale stačí pouze připojení k internetu.

Data o aktuální čase a datu byla získána ze serveru `pool.ntp.org`, který komukoliv umožňuje vyžádat si informace jako klient. V našem případě je klientem ESP32, který odesílá požadavek NTP serveru `pool.ntp.org`.

4.6.1 Implementace

Nejprve musí být provedeno připojení k Wi-Fi, které je vysvětleno v kapitole 3.5.4. Poté je nutné importovat knihovnu `time.h` a nadefinovat proměnné s údaji pro NTP server. Jeho adresu (`ntpServer`), informace o časovém posuvu oproti GMT (`gmtOffset_sec`) a časový posuv v letním období (`daylightOffset_sec`). Ve funkci `setup()` je provedena konfigurace (`configTime()`). A poté je deklarována časová struktura `struct tm`, ve které jsou uložena data. Struktura obsahuje proměnné typu `int`, které udávají sekundy, minuty, hodiny, den v měsíci, den v týdnu, měsíc, rok a informaci zda se jedná o letní či zimní čas. K informacím ve struktuře se lze dostat pomocí procentové notace (viz [32]). Následuje program znázorňující zobrazování aktuálního času na sériový monitor. [33].

```
include "time.h"

const char* ntpServer = "pool.ntp.org";
const long  gmtOffset_sec = 0;
const int   daylightOffset_sec = 3600;

void setup(){
    configTime(gmtOffset_sec, daylightOffset_sec, ntpServer);
    ...
}

void loop(){
    delay(1000);

    struct tm timeinfo;
    Serial.println(&timeinfo, "%H:%M:%S");
}
```

Kapitola 5

Realizace

5.1 Návrh a výroba desek plošných spojů

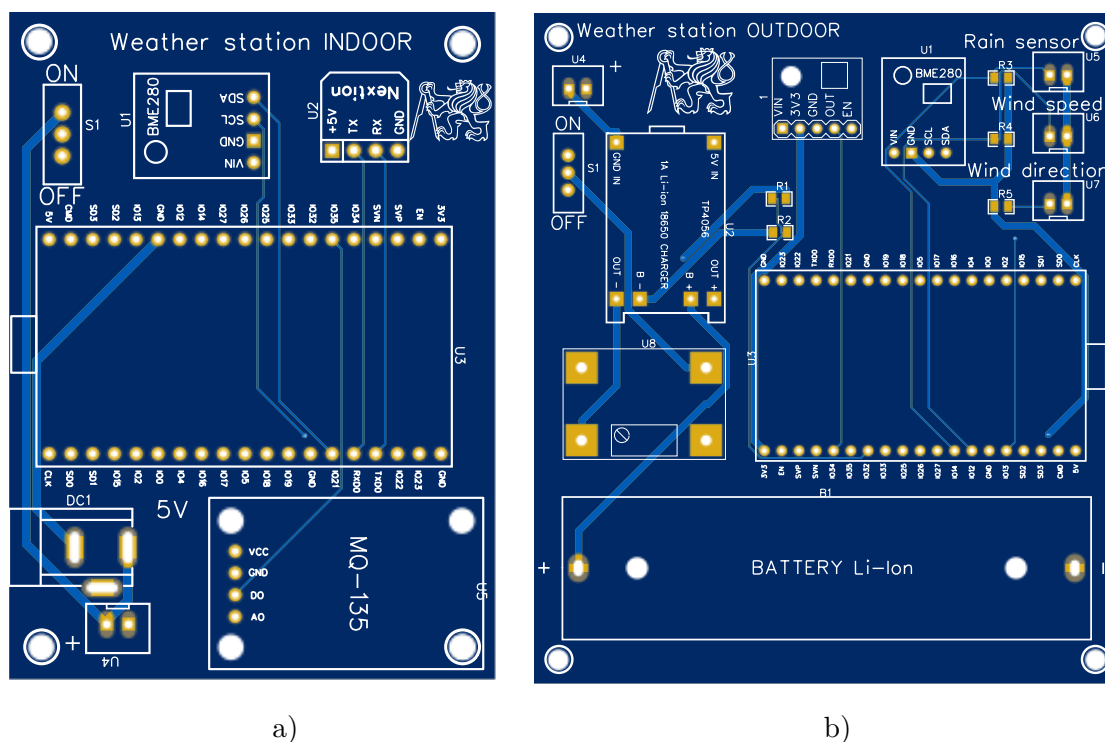
Z důvodu počtu součástek využitých při výrobě a pro lepší kompaktnost systému byly navrženy dle schémat (viz příloha C) desky plošných spojů pro vnitřní i venkovní stanici. DPS byly navrženy v programu EasyEDA (viz kapitola 4.3) a byly vyrobeny firmou JLCPCB. Výsledné návrhy jsou zobrazeny na obrázku 5.1.

Deska plošných spojů určená pro vnitřní stanici je osazena prvky:

- Modul ESP-WROOM-32
- Senzor BME280
- Senzor MQ-135
- Konektor pro připojení displeje
- Napájecí konektor
- Zapínací/vypínací tlačítko

Deska plošných spojů pro venkovní stanici obsahuje tyto komponenty:

- Modul ESP-WROOM-32
- Senzor BME280
- Konektor pro připojení senzoru ML8511
- Konektor pro připojení senzoru rychlosti větru
- Konektor pro připojení člunkového srážkoměru
- Držák Li-Ion baterie
- Konektor pro připojení solárního panelu
- Modul TP4056
- DC/DC měnič
- Dělič napětí pro měření stavu baterie
- Zapínací/vypínací tlačítko



Obrázek 5.1. a) DPS - vnitřní stanice b) DPS - venkovní stanice

5.2 Návrh a výroba senzorů

Senzory pro měření rychlosti větru a množství srážek jsou velice špatně dostupné a cenově nákladné. S ohledem na tyto skutečnosti bylo hledáno méně nákladné řešení. Tímto řešením se stala metoda 3D tisku, která umožňuje velice ekonomicky navrhovat a realizovat funkční prototypy. Návrhy těchto senzorů byly vytvořeny v programu Onshape (viz kapitola 4.4) a jejich konstrukce vychází z komerčních řešení.

Senzor pro měření rychlosti větru se skládá z několika částí: statoru, rotoru, lopatek a vrchního krytu, který slouží k zajištění lopatek. Stator je přímo spojen s budkou meteorostanice, je v něm umístěn jazýčkový kontakt, který slouží k měření otáček. Ve statoru je uloženo kuličkové ložisko, které umožňuje otáčení rotoru. V rotoru je umístěn magnet, který v závislosti na rychlosti větru obíhá nad jazýčkovým kontaktem a způsobuje jeho spínání. V horní části rotoru jsou po 120° drážky ve tvaru písmene „L“, které slouží k uchycení lopatek.

Senzor měřící množství srážek, je založen na principu člunkového srážkoměru (viz kapitola 3.3.4). Základem je podstavec, na kterém je umístěn systém pro uchycení člunku a drážka pro vložení jazýčkového kontaktu. Člunek je k podstavci uchycen pomocí šroubu, který zároveň tvoří osu překlápění. Celý senzor je doplněn krytem ve tvaru válce, kde tvar jeho vrchní části napomáhá svodu srážek na člunek.

5.3 Konstrukce vnitřní stanice

Při návrhu vnitřní stanice byla snaha docílit rozměrů srovnatelných s velikostí displeje a zároveň byl kladen důraz na vzhled. Elegantního vzhledu bylo docíleno zasazením displeje do dřevěného rámečku. Zbytek konstrukce byl navrhnout v programu Onshape (viz kapitola 4.4) a vytištěn na 3D tiskárně. Postranní části stanice byly navrhnuty

tak, aby umožnily cirkulaci vzduchu. Na jedné straně jsou také otvory pro vložení paměťové karty do displeje, připojení konektoru napájecího zdroje a možnost přístupu k přeprogramování ESP32. DPS je připevněna k výklopné zadní části, ke které je pomocí konektoru připojen displej. V zadní části je též otvor pro spínač, který je určen k zapínání/vypínání stanice.



Obrázek 5.2. Vnitřní stanice

5.4 Konstrukce venkovní stanice

Konstrukce venkovní stanice je zmenšeninou profesionální Stevensonovi meteorologické budky, která splňuje všechny požadavky stanovené Světovou meteorologickou organizací. Je vyrobena ze smrkového dřeva, natřena na bílo a ošetřena proti povětrnostním vlivům. Bílá barva je zvolena kvůli dobré odrazivosti slunečních paprsků. Ze tří stran je vybavena systémem žaluzií, které zajišťují ochranu před slunečními paprsky za stálého přísunu vzduchu. Střecha je odnímatelná a je na ní umístěn solární panel, který je pod úhlem přibližně 35°, což je ideální náklon pro statický solární panel, při dosažení maximálního výkonu (při orientaci na jih). V blízkosti solárního panelu je umístěn senzor UV indexu, který je chráněn plastovým krytem propouštějícím UV záření. Po stranách jsou připevněny senzory pro měření srážek a rychlosti větru. Deska plošných spojů pro venkovní stanici je v budce připevněna za pomoci 3D tištěných úchyťů.

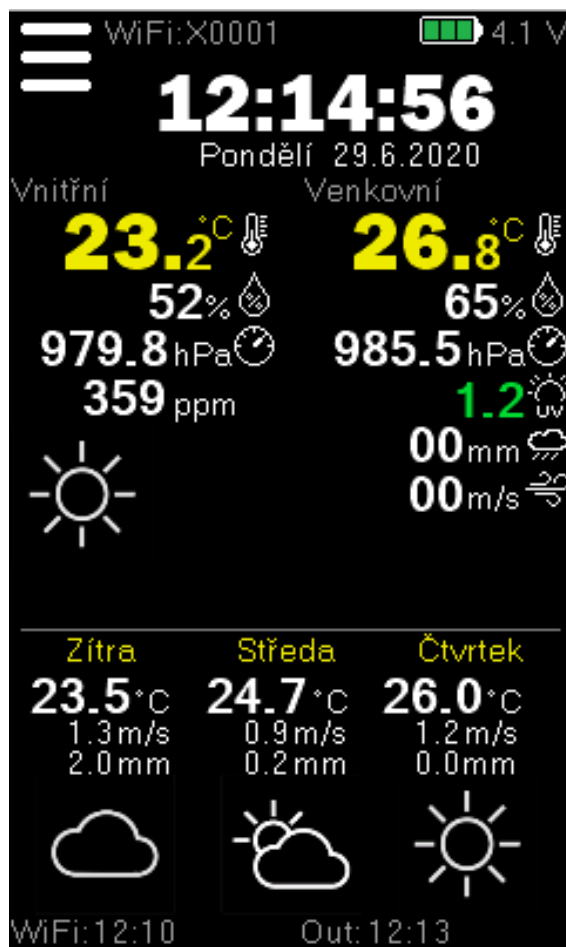


Obrázek 5.3. Venkovní stanice

5.5 Rozložení grafického uživatelského rozhraní

Na displeji jsou zobrazována veškerá naměřená data, aktuální datum, čas, předpověď počasí, stav baterie venkovní stanice, název Wi-Fi sítě, ke které je stanice připojena, poslední aktualizace dat stažených z internetu a také čas naposledy přijatých dat z venkovní stanice. V levém horním rohu je ikona Menu, kde je možné nastavit jas displeje a změnit jazyk, na výběr je mezi češtinou a angličtinou.

Při návrhu rozložení informací na displeji byla brána v potaz přehlednost a dobrá viditelnost důležitých informací. Vzhledem k velikosti displeje a počtu zobrazovaných dat nebylo jednoduché najít optimální řešení. Velkou úsporou místa a také zlepšení názornosti nám poskytlo hojné využití ikon, které jsou použity jak pro demonstraci počasí, tak vysvětlení měřených veličin. Výsledné rozložení je vidět na obrázku 5.4.



Obrázek 5.4. Grafické rozložení displeje

5.6 Cenový rozpočet

Při průzkumu trhu v oblasti prvků vhodných pro výrobu meteostanice nebyly brány v potaz pouze technické parametry komponentů, ale samozřejmě také jejich cena. Zvolené moduly byly zakoupeny z internetových obchodů <https://www.aliexpress.com/> a <https://www.laskarduino.cz/>. Cenový rozpočet pro stavbu vnitřní stanice je v tabulce 5.1 a rozpočet pro venkovní stanici v tabulce 5.2. Do celkového rozpočtu nejsou zahrnuty náklady na 3D tisk, výrobu krabiček a desek plošných spojů. Výsledná cena meteostanice je v porovnání s obdobně vybavenými komerčními meteostanicemi velice příznivá.

Název komponentu	Cena
ESP-WROOM-32	298 Kč
Senzor BME280	46 Kč
Senzor MQ-135	25 Kč
Displej Nextion	420 Kč
Součet	789 Kč

Tabulka 5.1. Cenový rozpočet realizace vnitřní stanice.

Název komponentu	Cena
ESP-WROOM-32	298 Kč
Senzor BME280	46 Kč
Senzor ML8511	53 Kč
Nabíjecí modul TP4056	10 Kč
Solární panel	45 Kč
Li-Ion baterie 18650	27 Kč
Součet	479 Kč

Tabulka 5.2. Cenový rozpočet realizace venkovní stanice.

5.7 Problémy při realizaci a jejich řešení

Při realizaci bylo nutné vyřešit několik problémů. Jedním z nich bylo současné připojení vnitřní stanice k internetu a komunikace s venkovní stanicí. Problém byl vyřešen pomocí časování, kdy se vnitřní stanice připojuje k lokální Wi-Fi síti každých 15 minut, poté se odpojí a čeká na přijetí dat z venkovní meteorostanice pomocí protokolu ESP-NOW.

Druhým problémem se stalo zachytávání kapek vody ve srážkoměru z důvodu nedokonalosti 3D tisku. Na jednotlivých vrstvách docházelo k zadržování vody a k následným chybám při měření. Toto bylo vyřešeno povrchovou úpravou dílů, kdy za pomoci brusných papírů a vyplňovacího spreje bylo dosaženo téměř hladkého povrchu.

Dalším problémem, který bylo nutné vyřešit, bylo umístění senzoru UV indexu. Senzor musel být umístěn na místo, kde bude schopný snímat UV záření, tedy na přímém slunci. Senzor byl tedy umístěn do střechy stanice a byl opatřen ochranným krytem, který propouští UV záření.

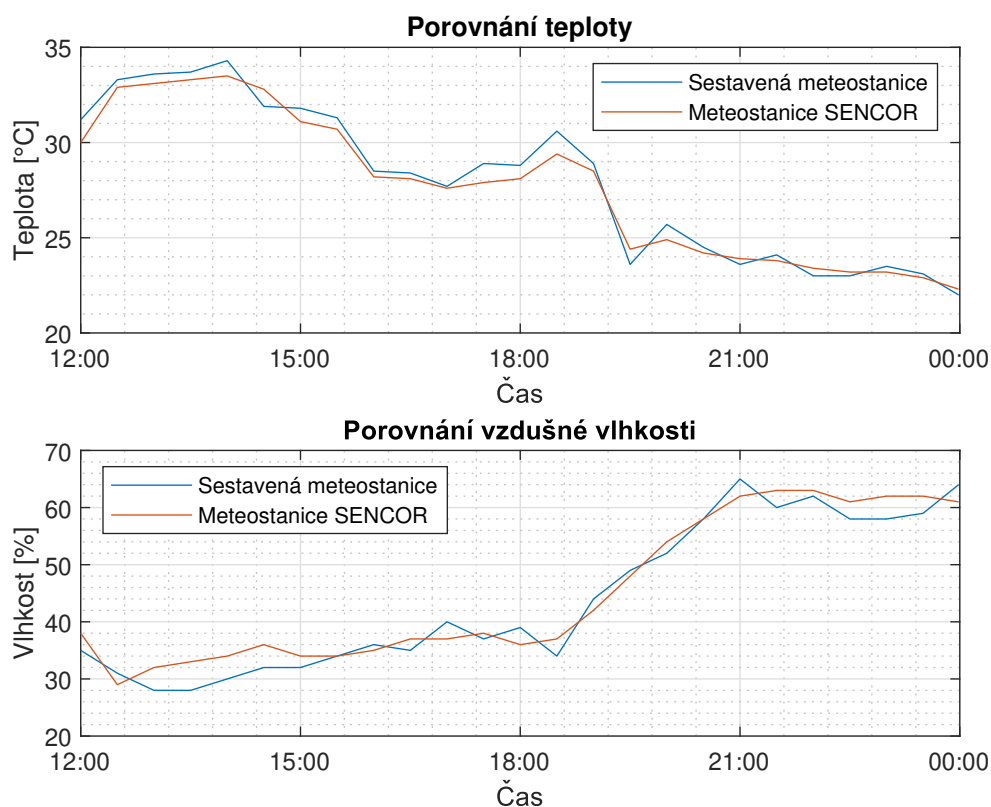
Posledním a dosud zcela nevyřešeným problémem se stalo ovlivňování teplotního senzoru ve vnitřní stanici teplem, které produkuje modul ESP32 a senzor MQ-135. Při testech, kdy stanice neměla finální vzhled se žádný ovlivnění neprojevovalo, ale po umístění DPS do krabičky, je patrné teplotní ovlivnění senzoru BME280. Částečným, ale ne dostačujícím řešením se stalo umístění teplotního senzoru z druhé strany desky plošných spojů, přidání rámečku a otvoru v zadní části krabičky. Bohužel je senzor stále ovlivňován, a to nejspíše teplem přenášeným přímo deskou plošných spojů.

Kapitola 6

Porovnání s komerčně dostupnou stanicí

Po dokončení realizace bylo provedeno porovnání parametrů s domácí meteostanicí SENCOR, která se svými vlastnostmi velice podobá zde popsané stanici. Obě meteostanice měří teplotu, vlhkost, tlak, rychlost větru a množství srážek. Stanice SENCOR je navíc vybavena senzorem pro měření směru větru a také předpovědí založené na změně tlaku. Oproti tomu zde popsaná meteostanice je vybavena možností snímat UV index.

Porovnání naměřených parametrů proběhlo formou záznamu hodnot venkovní teploty a vlhkosti po dobu 12 hodin. Přičemž naměřená data byla zaznamenávána každých 30 minut. Pro vytvoření obdobných podmínek pro měření byly stanice umístěny v těsné blízkosti. Grafy naměřených hodnot jsou na obrázku 6.1. Přesnost senzorů u stanice SENCOR je 0,5 °C pro teplotu a 3 % pro vlhkost. Přesnost senzoru BME280 použitého u zrealizované stanice je 1 °C a 3 %. Jak je z grafů patrné, naměřené hodnoty se liší v rámci tolerancí senzorů, data tedy lze považovat za relevantní.



Obrázek 6.1. Grafy naměřených hodnot

Kapitola 7

Závěr

Zadáním této práce bylo seznámit se s problematikou meteostanic, s možnostmi a principy senzorů pro měření meteorologických veličin a také navrhnout, zrealizovat a ověřit funkčnost meteorologické stanice založené na modulu s integrovaným obvodem ESP32.

První část práce se zabývá meteorologií obecně a také seznámením s meteorologickými prvky a principy jejich měření.

Druhým krokem byl návrh blokového schématu meteostanice a provedení průzkumu trhu v oblasti komponent vhodných pro její stavbu, na jehož základě byly zvoleny hardwarové prvky (vývojový kit s ESP32, displej, senzory, akumulátor, solární panel a další). Většina komponentů byla pořízena jako hotové moduly, pouze senzory na měření množství srážek a rychlosti větru byly vymodelovány v programu Onshape a vytištěny na 3D tiskárně.

Následoval návrh a testování obvodového zapojení, kdy byl také ve vývojovém prostředí Arduino IDE napsán kód pro ESP32. Současně vzniklo grafické uživatelské rozhraní pro displej Nextion. Po otestování funkčnosti, byly navrženy a vyrobeny desky plošných spojů. Ty byly poté osazeny a umístěny do krabiček, které plní jak funkční, tak designovou úlohu.

Po dokončení realizace, bylo provedeno ověření funkčnosti, kdy byla stanice v provozu několik dní bez vnějšího zásahu. Byla tak ověřena stabilita systému a také soběstačnost venkovní stanice. Zvolený akumulátor v kombinaci se solárním panelem je dostačující, nelze ale říct, zda je plně dostačující vzhledem k provedení testů v letních měsících, kdy je nejvyšší sluneční aktivita. Meteostanice byla také porovnávána s komerčně dostupnou meteostanicí. Naměřené hodnoty meteorologických veličin byly srovnatelné, až na zmíněný problém s vnitřní teplotou.

Literatura

- [1] KRÁLOVÁ, Magda. *Meteorologie - Eduportál Techmania* [online]. [cit. 2020-07-16]. Dostupné z:
<https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/meteorologie>
- [2] RUDA, Aleš. *Úvod do studia meteorologie a klimatologie* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z:
https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/01-uvod.html
- [3] *Teplota vzduchu - Meteocentrum.cz* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z:
<https://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/teplota-vzduchu>
- [4] *Meteostanice - meteorologické vybavení - Slunečno.cz* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z:
<https://www.slunecno.cz/meteostanice/>
- [5] *Základní pojmy* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z:
http://maruska.ordoz.com/meteorologie/meteorologicke_nazvoslovi
- [6] *UV index v ČR a jeho nebezpečné hodnoty — Meteo Aktuality* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z:
<https://pocasimeteoaktuality.wordpress.com/2018/08/09/uv-index-v-cr-a-jeho-nebezpecne-hodnoty/>
- [7] *The Internet of Things with ESP32* [online]. [cit. 2020-06-12]. Dostupné z:
<http://esp32.net/>
- [8] *Technologie: TFT LCD displeje — Svět hardware* [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z:
<https://www.svethardware.cz/technologie-tft-lcd-displeje/7555>
- [9] *Home - Nextion* [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z:
<https://nextion.tech/>
- [10] *BME280 Bosch Sensortec Datasheet* [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z:
https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BME280-DS002.pdf
- [11] *Senzor tlaku, teploty a vlhkosti BME280 - laskarduino.cz* [online]. In: . [cit. 2020-06-13]. Dostupné z:
<https://www.laskarduino.cz/arduino-senzor-tlaku--teploty-a-vlhkosti-bme280>
- [12] *How does a Pressure Sensor Work - Physics of Probeware — PocketLab* [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z:
<https://www.thepocketlab.com/educators/lesson/how-does-pressure-sensor-work-physics-probeware>
- [13] *Compare DHT22, AM2302, AM2320, AM2321, SHT71, HTU21D, Si7021, BME280* [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z:
http://www.kandrsmith.org/RJS/Misc/Hygrometers/calib_many.html

- [14] *ML8511* [online]. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z:
https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/ML8511_3-8-13.pdf
- [15] *Use introduction of HS-129 type gas sensitive components* [online]. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z:
<http://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/Gas/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>
- [16] *MQ135 Alcohol Sensor Circuit and Its Working* [online]. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z:
<https://www.elprocus.com/mq-135-alcohol-sensor-circuit-and-working/>
- [17] *Lithium-based Batteries Information — Battery University* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z:
https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries
- [18] RAHN, Christopher D. a Chao-Yang WANG. *Battery Systems Engineering*. The Pennsylvania State University, USA: John Wiley, 2013. ISBN 978-1119979500.
- [19] *TP4056 datasheet* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z:
<http://www.tp4056.com/d/tp4056.html>
- [20] *Nabíječka Li-ion článku TP4056 s ochranou microUSB - laskarduino.c* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z:
<https://www.laskarduino.cz/nabijecka-li-ion-clanku-tp4056-s-ochranou-microusb/>
- [21] *6V solární panel s kablíky DIY pro nabíjení baterií mobilního telefonu robota 0,6W 1W 1,1W 2W 3W 3,5W 4,5W - Battery, Baterie, Záložní zdroje, UPS* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z:
http://battery.nabizi.cz/6v-solarni-panel-s-kabliky-diy-pro-nabijeni-baterii-mobilniho-telefonu-robota-0-6w-1w-1-1w-2w-3w-3-5w-4-5w_p88029/
- [22] *SX1308.pdf* [online]. [cit. 2020-06-16]. Dostupné z:
<https://www.matts-electronics.com/wp-content/uploads/2018/06/SX1308.pdf>
- [23] *I2C Info — I2C Bus, Interface and Protocol* [online]. [cit. 2020-06-16]. Dostupné z:
<https://i2c.info/>
- [24] *Basics of UART Communication* [online]. [cit. 2020-06-16]. Dostupné z:
<https://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/>
- [25] *ESP-NOW - ESP32 - - ESP-IDF Programming Guide* [online]. [cit. 2020-06-18]. Dostupné z:
https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/network/esp_now.html
- [26] *What Is Wi-Fi? - Definition and Types - Cisco* [online]. [cit. 2020-06-18]. Dostupné z:
<https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/what-is-wifi.html>
- [27] *Learn about WiFi standards and the latest WiFi 6 (802.11 ax)* [online]. [cit. 2020-06-18]. Dostupné z:
<https://www.netspotapp.com/explaining-wifi-standards.html>
- [28] *Introduction to Arduino IDE - The Engineering Projects* [online]. [cit. 2020-06-19]. Dostupné z:
<https://www.theengineeringprojects.com/2018/10/introduction-to-arduino-ide.html>

-
- [29] *EasyEDA - Online PCB design & circuit simulator* [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z:
<https://easyeda.com/>
- [30] *Onshape — Product Development Platform* [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z:
<https://www.onshape.com/>
- [31] *Weatherbit — Weather API - Historical Weather API* [online]. [cit. 2020-06-20].
Dostupné z:
<https://www.weatherbit.io/>
- [32] *Strftime - C++ Reference* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z:
<http://www.cplusplus.com/reference/ctime/strftime/>
- [33] *Random Nerd Tutorials — Learn ESP32, ESP8266, Arduino, and Raspberry Pi*
[online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z:
<https://randomnerdtutorials.com/>

Příloha A

Seznam zkratek

ACK	■ Acknowledgment
ADC	■ Analog to Digital Converter
ARM	■ Advanced RISC Machine
BLE	■ Bluetooth Low Energy
BR/EDR	■ Bluetooth Basic Rate/ Enhanced Data Rate
CAD	■ Computer-Aided Design
DAC	■ Digital to Analog Converter
DC	■ Direct Current
DPS	■ Deska plošných spojů
EEPROM	■ Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
ESP	■ Espressif
GMT	■ Greenwich Mean Time
GPIO	■ General-Purpose Input/Output
GUI	■ Graphical User Interface
I ² C	■ Inter-Integrated Circuit
I ² S	■ Inter-IC Sound
ID	■ IDentification
IDE	■ Integrated Development Environment
IEEE	■ Institute of Electrical and Electronics Engineers
IO	■ Integrovaný Obvod
IoT	■ Internet of Things
JSON	■ JavaScript Object Notation
JZ	■ Jiho-Západ
LCD	■ Liquid Crystal Display
LED	■ Light-Emitting Diode
LGA	■ Land Grid Array
LSB	■ Least Significant Bit
Mbps	■ Megabit per second
MEMS	■ Micro Electro Mechanical System
MSB	■ Most Significant Bit
NTP	■ Network Time Protocol
ppm	■ parts per million
R/W	■ Read/Write
RGB	■ Red, Green, Blue
ROM	■ Read Only Memory
RTC	■ Real-Time Clock
RX	■ Recieve
SoC	■ System on Chip
SPI	■ Serial Peripheral Interface
SRAM	■ Static Random-Access Memory
SV	■ Severo-Východ

TFT	■	Thin-Film Transistor
TX	■	Transmit
UART	■	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
ULP	■	Ultra Low Power
URL	■	Uniform Resource Locator
UV	■	Ultraviolet

Příloha B

Data ve formátu JSON

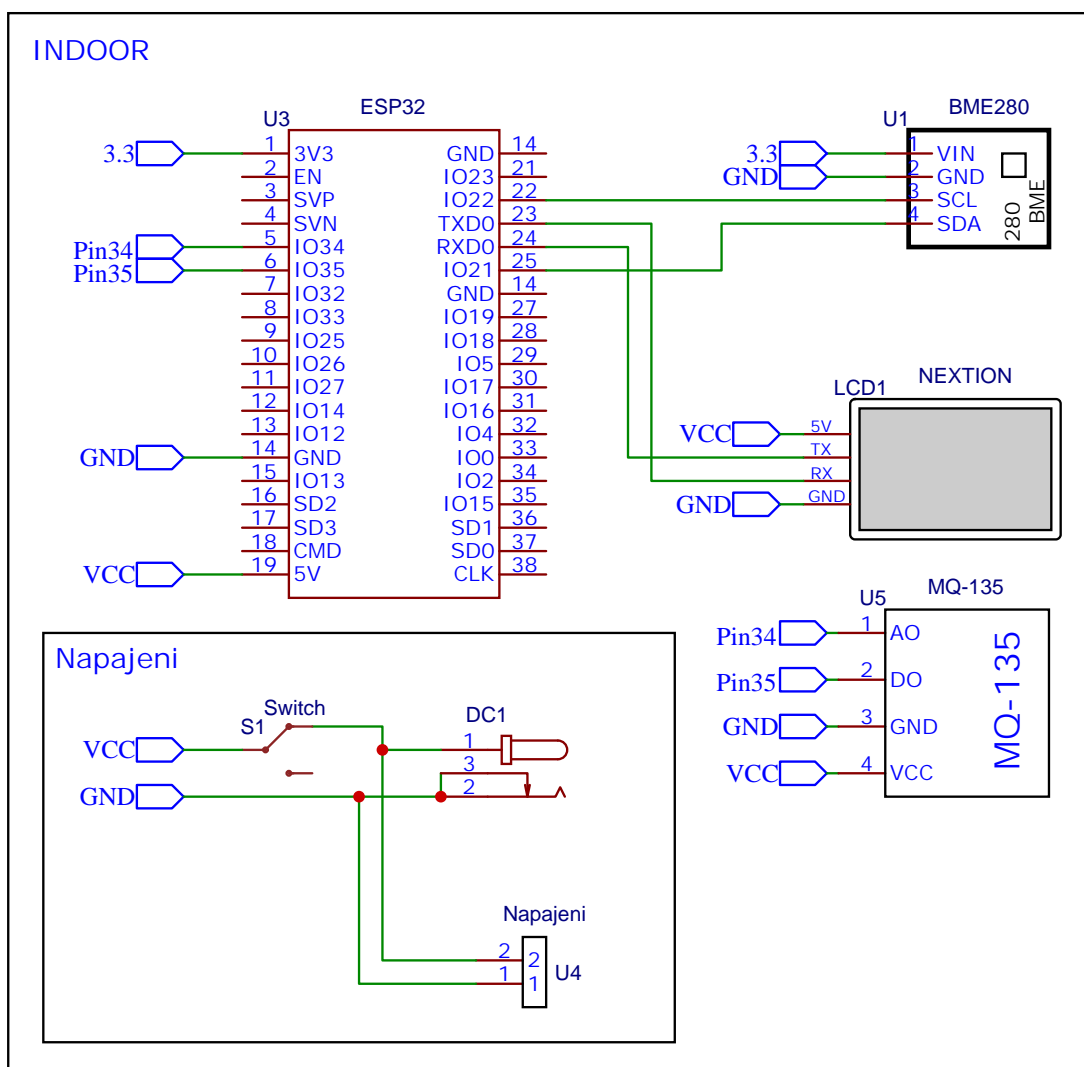
```
{
  "data": [
    {
      "moonrise_ts":1595849756,
      "wind_cdir":"S","rh":43,
      "pres":988.629,
      "high_temp":23.2,
      "sunset_ts":1595875779,
      "ozone":312.854,
      "moon_phase":0.548759,
      "wind_gust_spd":4.47097,
      "snow_depth":0,
      "clouds":76,
      "ts":1595800860,
      "sunrise_ts":1595820152,
      "app_min_temp":19.4,
      "wind_spd":1.34573,
      "pop":0,
      "wind_cdir_full":"south",
      "slp":1014.84,
      "moon_phase_lunation":0.24,
      "valid_date":"2020-07-27",
      "app_max_temp":26.6,
      "vis":0,
      "dewpt":11.4,
      "snow":0,
      "uv":1.45408,
      "weather":{
        "icon":"c04d",
        "code":804,
        "description":"Overcast clouds"
      },
      "wind_dir":170,
      "max_dhi":null,
      "clouds_hi":44,
      "precip":0,
      "low_temp":15.7,
      "max_temp":27,
      "moonset_ts":1595801864,
      "datetime":"2020-07-27",
      "temp":24.9,
      "min_temp":19.7,
      "clouds_mid":32,
      "clouds_low":8
    }
  ]
}
```

```
    },  
  ],  
  "city_name": "Prague",  
  "lon": "14.42076",  
  "timezone": "Europe\Prague",  
  "lat": "50.08804",  
  "country_code": "CZ",  
  "state_code": "52"  
}
```

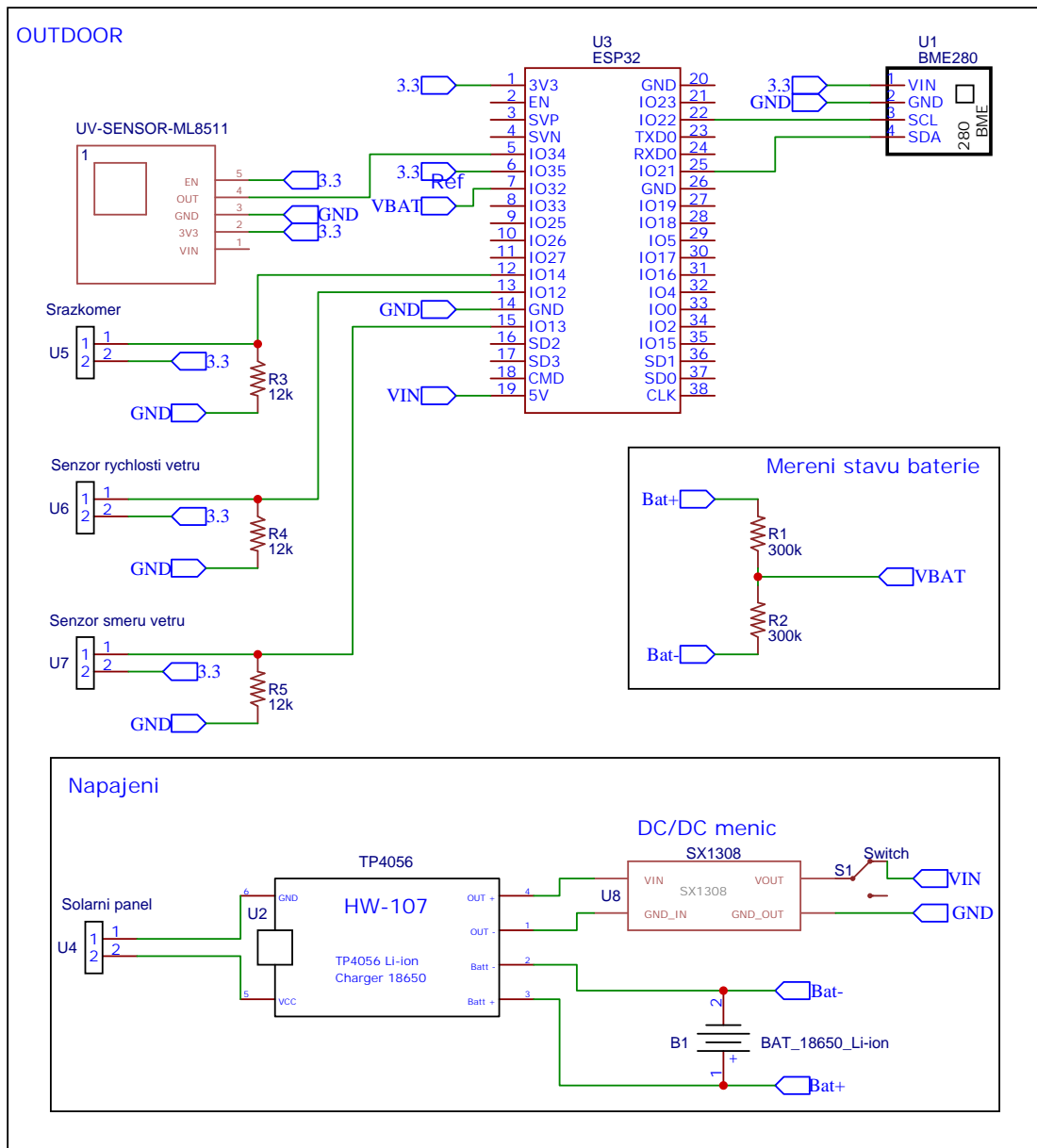
Vysvětlení zkratk lze dohledat v [31].

Příloha C

Schéma zapojení vnitřní a venkovní stanice



Obrázek C.1. Schéma vnitřní stanice



Obrázek C.2. Schéma venkovní stanice

Příloha D

Elektronické přílohy

Program pro vnitřní stanici	Indoor.ino (+ predpoved_pocasi.h)
Program pro vnitřní stanici	Outdoor.ino
Program pro displej	Meteostanice.HMI
Návrh DPS vnitřní stanice	PCB_indoor.dxf
Návrh DPS venkovní stanice	PCB_outdoor.dxf
3D model podstavy srážkoměru	Srazkomer_podstavec.stl
3D model krytu srážkoměru	Srazkomer_kryt.stl
3D model člunku srážkoměru	Clunek.stl
3D model statoru senzoru větru	Stator.stl
3D model rotoru senzoru větru	Rotor.stl
3D model lopatky senzoru větru	Lopatka.stl
3D model horní části senzoru větru	Vitr_horni.stl
3D model uchycení senzoru UV indexu	UV.stl
3D model vnitřní stanice	Indoor.stl

Tabulka D.1. Elektronické přílohy