

Návrh a realizace meteostanice řízené pomocí mikrokontroleru s webovým rozhraním

Jakub Fiala

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Jakub Fiala
Osobní číslo:	A22184
Studijní program:	B0714A150006 Aplikovaná informatika v průmyslové automatizaci
Specializace:	Inteligentní systémy s roboty
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh a realizace meteostanice řízené pomocí mikrokontroléru s webovým rozhraním
Téma práce anglicky:	Design and Implementation of a Microcontroller-Based Weather Station with a Web Interface

Zásady pro vypracování

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací meteostanice řízené pomocí mikrokontroléru. Systém využívá senzory pro měření teploty, vlhkosti, atmosférického tlaku, kvality vzduchu, intenzity světla a případně srážek. Naměřená data budou zobrazována na webové stránce, přičemž systém bude řízen pomocí platformy Arduino s využitím ESP32. Cílem této práce je vytvořit plně funkční meteostanici, která umožní monitorování a sběr meteorologických dat v reálném čase.

Body zadání:

- Zpracujte literární rešerši na dané téma
- Provedte hardwarový návrh modelu meteostanice
- Prakticky realizujte model meteostanice
- Vytvořte jednoduché uživatelské rozhraní pro zobrazení naměřených dat
- Ověřte správnou funkci meteostanice

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Monk, Simon. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. 2nd edition. New York: McGraw-Hill Education, 2016. ISBN 978-1-25-964163-3.
2. Voda, Zbyšek. Průvodce světem Arduina. 1. vydání. Brno: Computer Press, 2015. ISBN 978-80-251-4056-0.
3. Ahrens, C. D. Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere. 7th edition. Boston: Cengage Learning, 2014. ISBN 978-1-285-73876-7.
4. Malý, Martin. ESP32: Prakticky – od základních obvodů k pokročilým aplikacím. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2022. ISBN 978-80-271-0556-4
5. Bednář, Jan. *Meteorologie: Úvod do studia dějů v zemské atmosféře*. 1. vydání. Praha: Karolinum, 2016. ISBN 978-80-246-3257-3.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Mach, Ph.D.**
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **13. prosince 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2025**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 13. prosince 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.
- Při tvorbě této práce jsem použil nástroj generativního modelu AI ChatGPT, dostupné z: <https://chatgpt.com/> za účelem pomoci při úpravě textu. Po použití tohoto nástroje jsem provedl kontrolu obsahu a přebírám za něj plnou zodpovědnost.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací meteostanice řízené pomocí mikrokontroléru. Systém využívá senzory pro měření teploty, vlhkosti, atmosférického tlaku, kvality vzduchu a intenzity světla. Naměřená data budou zobrazována na webové stránce, přičemž systém bude řízen pomocí vývojové desky s mikrokontrolérem ESP8266. Cílem této práce je vytvořit plně funkční meteostanici, která umožní monitorování a sběr meteorologických dat v reálném čase.

Klíčová slova: meteostanice, teplota, vlhkost, mikrokontrolér, senzor

ABSTRACT

The work deals with the design and implementation of a weather station controlled by a microcontroller. The system uses sensors to measure temperature, humidity, atmospheric pressure, air quality and light intensity. The measured data will be displayed on a web page and the system will be controlled by a development board with an ESP8266 microcontroller. The aim of this work is to develop a fully functional weather station that will allow real-time monitoring and collection of meteorological data.

Keywords: weather station, temperature, humidity, microcontroller, sensor

Tímto chci poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Machovi, Ph.D. za užitečné rady, trpělivost, čas a spolehlivou komunikaci během zpracování této práce. Dále chci také poděkovat Ing. Pavlu Stokláškoví, Ph.D. za cenné rady při návrhu modelu a zajištění 3D tisku.

OBSAH

ÚVOD.....	13
I TEORETICKÁ ČÁST	14
1 POČASÍ A METEOROLOGIE.....	15
1.1 MĚŘENÍ METEOROLOGICKÝCH VELIČIN	16
1.1.1 Měření teploty	16
1.1.2 Měření vlhkosti vzduchu	16
1.1.3 Měření tlaku vzduchu.....	17
1.1.4 Měření intenzity světla	17
1.1.5 Měření prachových částic	17
1.2 PŘEHLED METEOROLOGICKÝCH STANIC	19
1.2.1 Domácí meteostanice	19
1.2.2 Profesionální meteostanice.....	19
1.2.3 Zemědělské meteostanice.....	20
1.2.4 Letištní meteostanice.....	21
1.2.5 Námořní meteostanice.....	22
2 SENZORY V METEOROLOGII.....	23
2.1 SENZORY TEPLoty	23
2.1.1 Odporové senzory	23
2.1.2 Termistory	24
2.1.3 Termočlánky	24
2.2 SENZORY VLHKOSTI	25
2.2.1 Kapacitní senzory	25
2.2.2 Odporové senzory	25
2.2.3 Psychrometrické senzory	25
2.3 SENZORY TLAKU	26
2.3.1 Piezorezistivní senzory.....	26
2.3.2 Kapacitní senzory	26
2.3.3 Rezonanční senzory	27
2.4 SENZORY PRACHOVÝCH ČÁSTIC	27
2.4.1 Optické senzory.....	27
2.4.2 Elektrochemické senzory	27
2.5 SENZORY INTENZITY SVĚTLA	28
2.5.1 Pyranometr	28
2.5.2 Fotorezistor	28
3 VÝVOJOVÉ DESKY	29
3.1 ARDUINO.....	29
3.1.1 Arduino Nano.....	29
3.1.2 Arduino Uno.....	30
3.1.3 Arduino Mega	31

3.2	ESPRESSIF (ESP)	31
3.2.1	Vývojová deska ESP8266	32
3.2.2	Vývojová deska ESP32	32
4	SOFTWARE	33
4.1	FRITZING	33
4.2	SOLIDWORKS	33
4.3	ARDUINO IDE	34
4.4	THINGSPEAK	35
II	PRAKTICKÁ ČÁST	36
5	NÁVRH A KONSTRUKCE METEOSTANICE	37
5.1	VÝBĚR KOMPONENTŮ	37
5.1.1	WeMos D1 Mini ESP8266 WiFi modul	37
5.1.2	BME688	37
5.1.3	VEML7700	38
5.1.4	Ostatní komponenty	38
5.2	SCHÉMA ZAPOJENÍ	38
5.3	NÁVRH A VÝROBA KRYTU	39
5.3.1	Návrh dílů	40
5.3.2	Vytištěné díly	44
5.4	SESTAVENÍ METEOSTANICE	45
5.4.1	Montáž mechanických dílů	45
5.4.2	Elektronické zapojení	45
5.4.3	Hotová meteostanice	46
6	SOFTWAREOVÁ ČÁST	48
6.1	POUŽITÉ KNIHOVNY	48
6.2	INICIALIZACE	49
6.3	KÓD PRO SENZORY	50
6.4	WEBOVÁ STRÁNKA	50
6.5	ODESÍLÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ DAT	52
7	ANALÝZA VÝSLEDKŮ	54
7.1	TEPLOTA	55
7.2	ATMOSFÉRICKÝ TLAK	56
7.3	VLHKOST VZDUCHU	57
7.4	INTENZITA SVĚTLA	58
7.5	KVALITA VZDUCHU	59
8	KONTROLNÍ MĚŘENÍ	60
8.1	TEPLOTA	60

8.2	VLHKOST	61
8.3	ATMOSFÉRICKÝ TLAK	62
8.4	INTENZITA SVĚTLA	63
ZÁVĚR		64
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		65
SEZNAM OBRÁZKŮ		70
SEZNAM TABULEK.....		71
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		72

ÚVOD

Sledování meteorologických veličin, jako jsou teplota, vlhkost nebo atmosférický tlak se stalo běžnou součástí každodenní rutiny. V dnešní době v téměř každé domácnosti najdeme nějakou meteostanici, ať už jednoduchou s displejem, nebo propojený systém s mobilní aplikací. Tyto informace jsou důležité jak pro předpověď počasí, tak i v zemědělství nebo v letectví. S rozvojem mikroelektroniky, senzorů a dostupnosti vývojových platforem se stále častěji objevují tzv. DIY projekty. Jedním z takových zařízení je i meteostanice.

Cílem této práce je navrhnout a vytvořit prototyp meteostanice, která bude schopna měřit meteorologická data jako teplotu, tlak, atmosférický tlak nebo intenzitu světla. A tyto hodnoty zobrazovat na webové stránce.

Aby bylo možné vybrat vhodné senzory a navrhnout konstrukci meteostanice, je nejprve nutné seznámit se s principy měření jednotlivých meteorologických veličin a s typy senzorů. Teoretická část se proto zaměřuje na přehled principů měření, využití meteostanic v různých oblastech. Dále přehled vývojových desek, které se používají a popis softwarového prostředí.

Praktická část se bude zabývat návrhem a konstrukcí meteostanice. Obsahuje výběr vhodných komponent, popis konstrukce meteostanice a návrh softwarového řešení. Závěrem bude kontrola funkčnosti meteostanice.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 POČASÍ A METEOROLOGIE

Meteorologie, někdy nazývána fyzikou atmosféry, se zabývá popisem aktuálního stavu atmosféry za využití fyzikálních poznatků a metod. Název vědní disciplíny pochází z řeckých slov „meteoros“ (vznášející se ve výšce) a „logos“ (věda, slovo). Hlavním cílem meteorologie je analýza a předpověď počasí. Stav atmosféry je charakterizován prostřednictvím souhrnu aktuálních hodnot všech aktivních meteorologických prvků a atmosférickými jevy, které se v daném místě a čase vyskytují. [1]

První zmínky o meteorologii pochází z antického období, např. v dílech řeckých filozofů. Meteorologie jako vědní obor začal vznikat až koncem středověku a počátkem novověku. Velký význam na tom měl rozvoj fyziky v 17. století. První základy meteorologie položili známí fyzikové (Torricelli, Pascal, Boyle atd.). V tomto období také došlo k objevu základních zákonů chování plynů a zkonstruování prvních měřících přístrojů, k měření teploty a tlaku vzduchu.

Kromě předpovědi počasí se také meteorologie využívá v oblasti zajištění energetických zdrojů, zejména při využívání obnovitelných zdrojů, jako je sluneční a větrná energie. Dále přispívá ke zlepšení zemědělské produkce pomocí specializovaných předpovědí počasí, které pomáhají s řízením zemědělských prací a plánováním závlah. [2]

Počasí také ovlivňuje zdraví člověka. Při chladném a větrném počasí může nedostatečné oblečení vést k omrzlinám nebo k podchlazení [3]. Naopak v horkém a vlhkém dni hrozí vyčerpání z horka nebo úpal.

Pro získávání meteorologických dat se vytváří meteorologické stanice. Ze získaných hodnot lze sestavit předpověď počasí. Hlavním úkolem meteostanice je neustálé sledování počasí a jeho změn. Aby bylo možné data srovnávat, měří se pokaždé ve stejný čas. Meteorologické stanice lze rozdělit na synoptické, klimatologické a srážkoměrné. O synoptické stanice se starají zaměstnanci Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Na těchto meteostanicích se každou hodinu zaznamenávají a pozorují všechny veličiny, které souvisí s průběhem počasí jako např. teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, teplota rosného bodu nebo množství oblačnosti [4]. Klimatologické stanice spravují dobrovolní spolupracovníci ČHMÚ. Na těchto stanicích se měří a sledují meteorologické jevy a jejich druh. Pozorování a zápis dat se provádí třikrát denně v klimatologických termínech, a to v 7, 14, a 21 hodin.

O srážkoměrné stanice se také starají dobrovolní spolupracovníci ČHMÚ, měření a pozorování probíhá stejně jako u klimatologických stanic, jediným rozdílem je zaznamenání dat, které probíhá v klimatologickém termínu v 7 hodin.

1.1 Měření meteorologických veličin

Měření meteorologických veličin je zásadní pro porozumění atmosférických jevů a pro přesnou předpověď počasí. Základními měřenými prvky jsou teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, atmosférický tlak, směr a rychlost vzduchu, množství srážek, intenzita slunečního záření a množství prachových částic [5]. Přesným měřením těchto veličin lze analyzovat aktuální stav atmosféry a předpovídat budoucí stav počasí.

1.1.1 Měření teploty

Jedním z hlavních meteorologických prvků je teplota vzduchu, obvykle se měří ve výšce 2 m nad zemským povrchem a označuje se jako přízemní teplota. Dále se také zaznamenává přízemní minimální teplota, která se měří ve výšce 0,05 m nad zemí. K měření teploty se používají čidla umístěná v meteorologické budce. Konstrukce budky je tvořena lamelami, které slouží k průchodu vzduchu kolem přístrojů. Budka se také natírá na bílo, aby se sluneční paprsky odrážely a nedocházelo k ohřívání přístrojů. [6]

1.1.2 Měření vlhkosti vzduchu

Dalším z hlavních meteorologických prvků je vlhkost vzduchu, která vyjadřuje množství vodní páry ve vzduchu. Množství vodní páry při určité teplotě, lze zvětšovat jen do určité hodnoty, po překročení této hodnoty dojde ke stavu nasycení. Pokud obsah vodní páry překročí bod nasycení, tak se nadbytečná pára přemění na vodu kondenzací nebo na led desublimací. [7]

Pro měření obsahu vodní páry se používá relativní vlhkost vzduchu, kdy se jedná o poměr skutečného tlaku vodních par k maximálnímu tlaku nasycení při dané teplotě. A absolutní vlhkost vzduchu, která určuje poměr mezi množstvím vodních par a objemem vzduchu, při dané teplotě [1]. Relativní tlak se vyjadřuje v procentech a absolutní tlak v gramech na metr krychlový.

1.1.3 Měření tlaku vzduchu

Atmosférický tlak popisuje, jakou silou působí sloupec vzduchu kolmo na povrch Země. Základní jednotkou je pascal (Pa) a měří se pomocí barometru. V meteorologii je pascal malá jednotka, a proto se udává v hektopascalech (hPa). Jako normální atmosférický tlak se označuje tlak měřený u hladiny moře, jehož hodnota je stanovena na 1013,25 hPa. Pro předpověď počasí je důležitější změna tlaku a rychlost změny než samotná hodnota tlaku.

Tlak je závislý na nadmořské výšce, kdy s rostoucí výškou klesá sloupec vzduchu a tím klesá i tlak. Tlak vzduchu závisí také na teplotě. Chladnější vzduch při rostoucí výšce způsobuje rychlejší pokles tlaku, naopak teplejší vzduch způsobuje pomalejší pokles tlaku se zvyšující se výškou. [8; 9]

1.1.4 Měření intenzity světla

V meteorologii se šíření elektromagnetického slunečního záření atmosférou Země označuje jako záření (radiace). Sluneční záření je v podstatě jediný zdroj energie pro celkový klimatický systém, protože jiné zdroje jako geotermální energie, gravitační energie, energie kosmického záření atd. jsou zanedbatelné.

Pomocí elektrických a magnetických vln se šíří elektromagnetické záření (EM) od Slunce na Zemi [10]. Doba, za kterou EM záření dosáhne Zemi je přibližně 8,3 min. a dosahuje rychlost blízko rychlosti světla. Většina záření se na povrchu Země změní na tepelnou energii.

Ultrafialové záření (UV) lze rozdělit na dlouhovlnné UVA záření s vlnovou délkou 315–400 nm, které nezpůsobuje zčervenání kůže ani pálení. Středněvlnné UVB záření (280–315 nm), jež se projevuje akutním a chronickým poškozením kůže. A krátkovlnné UVC záření (280–100 nm), které na zemský povrch nedopadá, protože je pohlceno ozonovou vrstvou. [8]

1.1.5 Měření prachových částic

V oblasti meteorologie a ekologie se používá termín emise, což znamená uvolňování škodlivých látek do ovzduší. Emise se dělí na primární a sekundární.

Primární emise jsou látky, které se uvolňují přímo do ovzduší a měření probíhalo přímo u zdroje např. výfuk u automobilu. Podle původu se dělí na přirozené emise, které vznikají z přírodních zdrojů, např. sopečné výbuchy, kdy do ovzduší uniká velké množství oxidu uhličitého (CO_2), oxidu siřičitého (SO_2), chlorovodíku (HCl), fluorovodíku (HF) a dalších organických látek. Mezi další přírodní zdroj emisí patří písečné bouře, kdy vítr může přenést prach ze Sahary až do Evropy [1]. Dále se dělí na emise způsobené zásahem člověka do přírody, kdy se jedná o emise vzniklé pěstováním rýže na bažinatých polích nebo chovem zvířat, při kterém se dostává do ovzduší methan. Poslední skupinou jsou antropogenní emise, do kterých se řadí spalování fosilních paliv.

Sekundární emise jsou látky vzniklé v atmosféře v důsledku reakcí mezi různými škodlivými látkami. Tyto reakce probíhají vlivem UV záření nebo chemickými procesy probíhajícími mezi jednotlivými primárními složkami. Tyto látky jsou často škodlivější než původní látky. V důsledku těchto reakcí vzniká tzv. fotochemický smog. Dalším příkladem je vázání aerosolů kyseliny sírové s oxidy kovů.

Další termín, který se používá jsou imise. Jedná se o škodlivé látky, kde se hodnota znečištění nezjišťuje přímo u zdroje, ale v místě jejich dopadu. Imise se dělí na tuhé, plynné a radioaktivní. Mezi tuhé imise se řadí prach a aerosoly. Do prachu patří také anorganické částice, jako kovové částice, křemičitany nebo chloridy. Dále prachy organického původu, které jsou složeny z dehtu, bakterií a pylů. Plynné emise zahrnují sloučeniny síry, sloučeniny dusíku, halogenové sloučeniny a další organické sloučeniny [1]. Při spalování fosilních paliv vznikají oxidy síry, oxid siřičitý a spalováním uhlíkatých paliv se vytvářejí oxidy uhlíku. K radioaktivním škodlivým látkám patří stroncium, izotopy jodu, cesium atd. Největší hrozbu tyto imise představovaly při jaderných haváriích.

Prachové částice se označují zkratkou PM s indexem za zkratkou, index označuje velikost částice. Částice s indexem PM_{10} označuje suspendované částice s maximálním aerodynamickým průměrem $10\text{ }\mu\text{m}$ [11]. Nejčastěji se měří částice PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ a PM_1 . Částice větší, než PM_{10} jsou zachytávány na sliznicích, takže nenesou vysoké zdravotní riziko. Pro lidské zdraví platí, že čím menší jsou částice, tím větší potenciální riziko nesou, protože pronikají hlouběji do dýchacího systému.

1.2 Přehled meteorologických stanic

Meteorologické stanice se používají pro konkrétní pozorování a prognózu počasí. Jsou velmi důležité např. pro zemědělství a letectví. Meteostanice se vyrábějí v několika provedeních v závislosti na jejich použití. Zaznamenávají se hodnoty jako je teplota, vlhkost, tlak vzduchu, rychlost větru a srážky. [12]

1.2.1 Domácí meteostanice

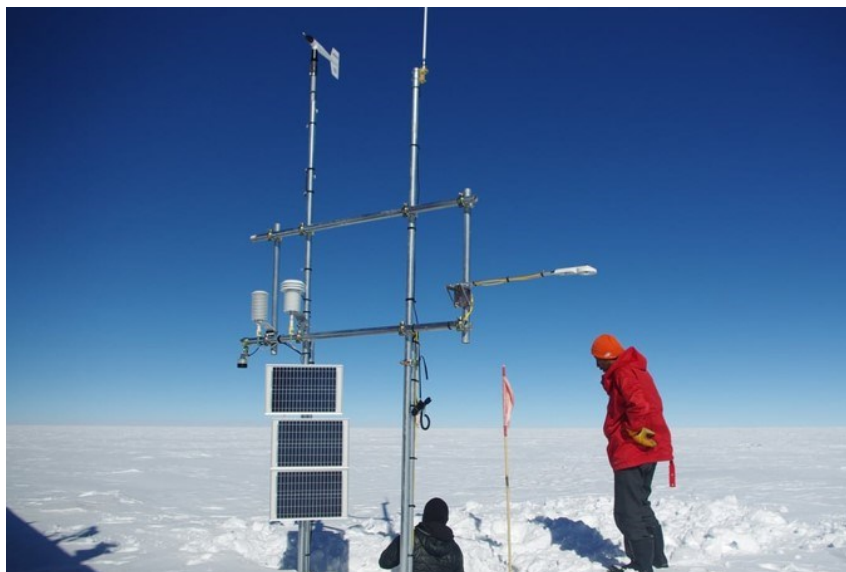
Tento typ meteostanic je určen pro domácí využití a uživatelům zajišťují informace o počasí v aktuálním čase. Zpravidla se skládají z ovládacího displeje a jednoho nebo více venkovních čidel [12]. Čidla měřící teplotu, vlhkost, směr a rychlost vzduchu jsou umístěna venku. U některých meteostanic se také měří UV index nebo srážky. Propojení venkovních čidel a ovládacího displeje se provádí buď drátově nebo běžněji bezdrátově.



Obrázek 1: Domácí meteostanice [13]

1.2.2 Profesionální meteostanice

Tyto meteostanice jsou využívány pro vědecké výzkumy, meteorologické prognózy atd. Meteostanice obsahují moderní čidla a přístroje, které zaznamenávají mnoho meteorologických veličin s maximální správností. Aby nedocházelo k nepřesným měřením je třeba provádět pravidelné seřízení čidel. [12; 13]



Obrázek 2: Profesionální meteostanice [13]

1.2.3 Zemědělské meteostanice

Zemědělské meteostanice jsou vyvinuty, aby přispívaly ke zlepšení zavlažování, hnojení, ochraně plodin proti chorobám a škůdcům. Kromě sledování dat, také pomáhají zemědělcům zvyšovat produktivitu sklizně a výnosy. Meteostanice měří kromě základních veličin, také koncentraci CO_2 , teplotu, vlhkost, dusík, fosfor, draslík a pH půdy. [14; 15]



Obrázek 3: Zemědělská meteostanice [14]

1.2.4 Letištní meteostanice

Letištní meteostanice se používají na letištích, pro sledování počasí v reálném čase pro letecký provoz. Hlavní činností meteostanice je neustálé monitorování změn počasí a získávání dat jako teplota, rychlost a směr větru, viditelnost a oblačnost, pro výběr co nejlepší letové trasy. Stanice jsou obvykle instalovány v okolí vzletových a přistávacích drah, aby získávaly přesné informace během vzletu a přistání. Přesná data o počasí zmenšují šanci na zpoždění nebo zrušení letů dále také předchází vzniku nehod vlivem nepříznivého počasí, např. mlha, bouřky nebo nečekané změny směru a rychlosti větru. [12; 16]



Obrázek 4: Letištní meteostanice [16]

1.2.5 Námořní meteostanice

Námořní meteostanice jsou navrženy tak aby odolávaly extrémním podmínkám na vodě. Na rozdíl od ostatních druhů meteostanic jsou velmi odolné, protože pro měření rychlosti a směru větru se používají ultrazvukové snímače, takže neobsahují pohyblivé části [18]. Dále také měří tlak, teplotu, vlhkost a UV index.



Obrázek 5: Námořní meteostanice [14]

2 SENZORY V METEOROLOGII

Senzory jsou v meteorologii nezbytné, protože měří a zaznamenávají meteorologické prvky jako je teplota, vlhkost, atmosférický tlak, rychlost, směr větru atd. Tato data jsou důležitá pro analýzu atmosférických podmínek a předpověď počasí. Pro minimalizaci chyb měření by čidla měla být umístěna tak, aby byla co nejméně ovlivněna stromy a budovami. Pro přesné měření je vhodné zajistit dostatečné proudění vzduchu kolem čidla. [5; 19]

2.1 Senzory teploty

K určení teploty se používá teplotní stupnice. Základní stupnicí podle soustavy SI je termodynamická teplotní stupnice, jednotkou je kelvin. Počáteční hodnota je nejnižší možná teplota, tedy absolutní nula (0 K). Absolutní nula je určena podle referenčního bodu, kterým je trojný bod. To je teplota, při které voda existuje ve třech skupenstvích, tj. jako kapalina, pevná látka (led) a plyn (pára). Přesná hodnota tohoto bodu je 273,16 K (0,01 °C). Běžně se používá Celsiova stupnice, jejíž základní jednotkou je °C. Celsiova stupnice má posunutý začátek, tedy hodnota 0 °C odpovídá 273,15 K. Obvykle se termodynamická teplota označuje T a Celsiova stupnice t. [20]

2.1.1 Odporové senzory

Tyto senzory fungují na principu změny odporu kovu při změně teploty. Při zvyšující se teplotě dochází k růstu počtu srážek volných elektronů s kladnými ionty v krystalické mřížce. Výhodou těchto senzorů je široký rozsah měřitelných hodnot, dobrá linearita, stabilita v čase, konstantnost v čase a možnost využít vyšších hodnot proudů pro měření odporu [21]. Mezi nevýhody patří nízký teplotní součinitel, tzn. že při malé citlivosti bude malý výstupní signál. Další nevýhodou je pomalá odezva na změnu teploty. Pro výrobu senzorů se nejběžněji používá platina (Pt100, kdy hodnota odporu při teplotě 0 °C je 100 Ω), nikl a měď.

2.1.2 Termistory

Odporové polovodičové senzory neboli termistory fungují tak, že odpor se mění v závislosti na teplotě, což je způsobeno změnou koncentrace volných nosičů náboje. Jako výhodu lze řadit velkou citlivost, což má za následek poměrně velký výstupní signál. Nevýhodami jsou nízká stabilita, větší šum, omezený teplotní rozsah a nelinearita. Mezi dva nejpoužívanější typy termistorů patří NTC (negastor) a PTC (pozistor) termistor. NTC termistor má záporný teplotní koeficient, tzn. že při zvýšení teploty klesá odpor termistoru a naopak. PTC termistor má kladný teplotní koeficient, tzn. že při zvýšení teploty jeho odpor roste. [21]

2.1.3 Termočlánky

Termoelektrické senzory fungují na principu Seebeckova jevu, tedy na přeměně tepelné energie na elektrickou. Tento jev nastává spojením dvou vodičů z rozdílných materiálů v jednom bodě, čímž na volných koncích vodičů vzniká měřitelné elektrické napětí. Termočlánky mají široký rozsah měření, a proto se podle typu kovů dělí do kategorií T, J, E, K, N, S, R a B, jak lze vidět v tabulce [21]. Mezi výhody patří lineární charakteristiky, široký teplotní rozsah a malé rozměry sond. Nevýhodou je malá citlivost, což má za následek malé hodnoty výstupního napětí a složitější připojení k měřicí jednotce pro minimalizaci rušení.

Tabulka 1: Přehled vyráběných provedení zakončení a typů termočlánku [21]

Označení termočlánku	Původní označení	Měřicí rozsah [°C]
T	Cu-CuNi, Cu-ko	-200 až 350
J	Fe-CuNi	-200 až 750
E	NiCr-CuNi, ch-ko	-100 až 900
K	Ni-Cr-Ni, ch-a	-200 až 1200
N	NiCrSi-NiSi	-200 až 1200
S	PtRh 10-Pt	0 až 1600
R	PtRh 13-Pt	0 až 1600
B	PtRh30-PtRh6	300 až 1700

2.2 Senzory vlhkosti

Senzory obvykle měří relativní vlhkost, což je poměr množství vodní páry obsažené ve vzduchu k maximálnímu možnému množství při dané teplotě [22]. Jednotkou je procento. Při relativní vlhkosti 100 % je vzduch plně nasycený a dochází ke vzniku mlhy, rosy atd. Naopak nízká relativní vlhkost, např. 30 %, znamená suchý vzduch.

Snímače obvykle fungují tak, že sledují změny fyzikálních vlastností jako je teplota, elektrický odpor nebo kapacita, které se mění v závislosti na vlhkosti vzduchu [23]. Tato naměřená fyzikální změna je převedena na digitální hodnotu, která umožňuje určit relativní vlhkost při dané teplotě vzduchu.

2.2.1 Kapacitní senzory

Využívají dielektrikum kondenzátoru, kdy se při změně vlhkosti mění kapacita. Snímač obsahuje aktivní polymerní film, který pohlcuje vodní páru a mění dielektrické vlastnosti, což má za následek změnu kapacity. Výhodou kapacitních senzorů je stabilita a rychlá reakce na změny vlhkosti. Nevýhodou je citlivost na znečištění ovzduší. [22; 24]

2.2.2 Odporové senzory

Odporové senzory jsou tvořeny přívodními elektrodami z platiny, které jsou realizovány jako dvojité spirály z drátu na válci izolantu. Odporové senzory vlhkosti pracují na principu změny elektrického materiálu v závislosti na vlhkosti. Výhodou těchto senzorů je velká přesnost, nízká cena a jsou vhodné pro dálkové ovládání, protože snímač může být umístěn ve větší vzdálenosti od signálového obvodu. Nevýhodou je citlivost na kondenzaci, chemické výpary a různé nečistoty. [23; 25]

2.2.3 Psychrometrické senzory

Jeden způsob měření spočívá ve vyhodnocování rozdílu teplot a následného určení vlhkosti. Jde o dvě nezávislá teplotní čidla, jedno pro měření suché teploty a druhé, které je obaleno absorpční tkaninou namočené ve vodě, pro měření vlhké teploty. Odpařováním vody z vlhkého senzoru dochází k jeho ochlazení. Míra ochlazení závisí na okolní teplotě a vlhkosti vzduchu. Zároveň druhým teplotním čidlem se zaznamenává teplota vzduchu v okolí. Rozdíl těchto teplot se označuje jako psychrometrický rozdíl a slouží pro určení relativní vlhkosti vzduchu.

Druhý způsob využívá tzv. senzory chlazených zrcadel. Senzor zaznamenává teplotu, při které dochází ke kondenzaci vodní páry na povrchu. Tyto senzory obsahují chlazené zrcadlo, na jehož povrchu se začne vytvářet rosa nebo námraza. Teplota, při které kondenzace nastává, je přímo závislá na relativní vlhkosti vzduchu kolem zrcadla. [22; 24]

2.3 Senzory tlaku

Atmosférický tlak se udává v pascálech nebo častěji v hektopascálech. Standartní tlak na hladině moře je přibližně 1013,25 hPa. Tlak vzduchu se mění v závislosti na nadmořské výšce, teplotě vzduchu a dalších atmosférických podmínkách. Pro měření se používají senzory tlaku, které fungují na různých fyzikálních principech, jako je deformace pružné membrány, změny kapacity nebo rezonanční metody. [25; 26]

2.3.1 Piezorezistivní senzory

Tyto senzory využívají vlastnosti monokrystalického křemíku, jehož měrný odpor se výrazně mění v závislosti na mechanickém namáhání. Vodivost křemíku je ovlivněna příměsí stopových prvků (akceptorů), podle použití akceptoru lze dosáhnout vodivosti typu P nebo N, které se liší součinitelem závislosti odporu na mechanickém namáhání. Základním měřicím prvkem je mechanicky namáhaná křemíková destička s vysokým odporem, na které jsou difuzně vytvořeny vodivé cestičky [26]. Výhodou je dlouhodobá stabilita, nízká hystereze a přesná opakovatelnost měření. Nevýhodou je citlivost křemíkové destičky na agresivní látky nebo vlhkost v měřeném prostředí.

2.3.2 Kapacitní senzory

Kapacitní senzory měří tlak změnou vzdálenosti mezi deskami kondenzátoru. Elektrodu tvoří deformační membrána z tenkého vodivého materiálu, která se pohybuje mezi dvěma dalšími elektrodami umístěnými na stěnách dutiny v tělese snímače. Mezi membránou a stěnou dutiny je prostor vyplněný dielektrikem, kterým je vzduch, silikonový olej nebo jiný vhodný plyn či kapalina. [26]. Toto rozložení vytváří dvojici kondenzátorů, kde kapacita je závislá na tloušťce dielektrika, tedy výchylce membrány. Oba kondenzátory tvoří dvě větve polovičního můstku

2.3.3 Rezonanční senzory

U rezonančních senzorů se mění frekvence kmitání materiálu v závislosti na jeho napětí, které se mění podle působícího tlaku na snímač. První snímače byly realizovány elektromagneticky buzenou kmitající strunou. Změna tlaku ovlivňuje mechanické napětí síly, což způsobuje změnu rezonančního kmitočtu. Jako kmitající prvek lze místo struny použít membránu nebo válec, ale v moderních snímačích se využívá malý mikromechanický prvek se specifickým tvarem [26]. Výhodou je vysoká přesnost a snadné převedení výstupního signálu ve formě frekvence na digitální signál.

2.4 Senzory prachových částic

Senzory prachových částic slouží k měření koncentrace pevných částic ve vzduchu. Měřené částice mohou být prachové částice PM, škodlivé plyny nebo tekavé organické látky (VOC). Využívají se různé principy měření, například optické měření nebo elektrochemické měření. [27; 28]

2.4.1 Optické senzory

Optické senzory pracují na principu rozptylu paprsku světla. Při průchodu optického paprsku detekčním prostorem dojde k nárazu paprsku světla do částic prachu, a tím dojde k jeho rozptylu, což má za následek snížení energie a intenzity. Porovnáním intenzity vyslaného a vráceného paprsku lze matematicky určit koncentraci prachu. Nejčastěji se využívají tři principy. První je reflexní princip, kde na jednom konci je umístěn vysílač a přijímač a na druhém konci je odrazka (reflektor), čímž dochází ke dvojitému průchodu detekčním prostorem. Dalším je rozptylový princip, který nevyužívá reflektor, ale paprsek se odráží přímo od prachových částic [27]. Posledním je jednocestný princip, kde paprsek světla prochází detekčním prostorem jedním směrem od vysílače k přijímači bez odrazů.

2.4.2 Elektrochemické senzory

Tyto senzory se skládají z elektrochemického článku a pevného, gelového, kapalného nebo plynného elektrolytu. Článek se přidavným žhavením zahřeje na pracovní teplotu a následně na elektrodách dochází k chemickým reakcím, kdy se spotřebovává kyslík a na elektrodách vzniká elektromotorická síla. Měřením této síly se pomocí elektroniky zjišťuje koncentrace plynů ve vzduchu [28]. Výhodou těchto snímačů je vysoká citlivost a vynikající schopnost rozlišit oxid uhličitý od ostatních plynů. Nevýhodou je nízká životnost.

2.5 Senzory intenzity světla

Senzory intenzity světla měří množství světla ze Slunce dopadající na konkrétní plochu v určitém čase. Intenzita se mění v závislosti na poloze Slunce na obloze, kvalitě ovzduší nebo oblačnosti [29]. Jednotkou intenzity je lux (lx) a měří se pyranometrem nebo fotorezistorem.

2.5.1 Pyranometr

Pyranometr je nejčastěji založen na principu měření rozdílu teplot mezi světlým povrchem a tmavým povrchem pomocí termočlánku. Dále se pro určení teplotního rozdílu používá diferenční bimetal, některé typy používají fotodiody, které vytvářejí fotoelektrické napětí úměrné dopadajícímu záření. Pyranometry většinou obsahují dvě skleněné polokoule, které chrání čidlo před větrem, srážkami, usazováním prachu a nečistot [30]. Pyranometr měří pouze krátkovlnné záření, zbylé vlnové délky jsou pohlceny polokoulí.

2.5.2 Fotorezistor

Fotorezistor je polovodičová součástka, která využívá vlastnosti PN přechodu k detekci světla. Při dopadu světla na povrch fotorezistoru, dodá energii elektronům uvnitř materiálu a umožní jejich pohyb. Elektrony se nejprve ustálí ve valenčním pásmu atomu a pohlcují fotony dopadajícího světla. Energie z fotonů musí být dostatečně velká, aby se elektrony dostali přes zakázané pásmo do vodivostního pásma. Tyto pohybující se elektrony vytváří tzv. díry ve valenčním pásmu. Důsledkem těchto volných elektronů a děr v materiálu se značně zvyšuje vodivost. Čím déle dopadá světlo na fotorezistor, tím vzniká více elektronů a děr, což zvyšuje počet nosičů v materiálu. V důsledku toho klesá odpor materiálu. Proto s rostoucí intenzitou dopadajícího světla klesá odpor fotorezistoru. [31]

3 VÝVOJOVÉ DESKY

Vývojové desky obsahují mikrokontroler a součásti pro usnadnění používání, jako jsou regulátor napětí, USB-TTL převodníky, které zajišťují výstup dat a nahrávání programu. Zároveň umožňuje snadné připojení vstupů a výstupů řídicí jednotky pomocí pinů, na které lze dále připojit další periférie. Vstupní zařízení, jako teplotní čidlo nebo tlačítko, a výstupní zařízení v podobě reproduktoru, displeje nebo svítivé LED diody. Obvykle se deska připojí k osobnímu počítači a do její paměti se nahraje program.

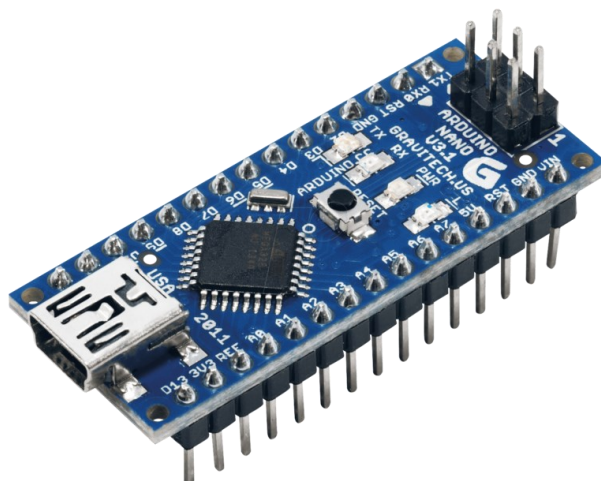
Mikrokontroler, někdy také nazývaný jako jednočipový počítač, je hlavní řídicí jednotka vývojové desky. Skládá se z procesoru (CPU), který se stará o výpočty, operační paměti RAM, kde se ukládají mezivýsledky a funkce každého programu. A paměti ROM, která se obvykle skládá ze dvou částí [32]. První část obsahuje tzv. firmware, který se stará o chod procesoru a nahrává uživatelský program do druhé části.

3.1 Arduino

Italská společnost Interaction Design Institute v roce 2005 začala vyvíjet první Arduino, které mělo být primárně pro studenty. Díky open-source přístupu a snadnému programování v jazyce podobnému C++ se Arduino rychle rozšířilo po celém světě. Arduino se skládá z procesoru, většinou od firmy Atmel, paměti RAM, paměti EPROM nebo flash, vstupních a výstupních pinů. Vstupy detekují digitální signál, tzn. buď jedničku nebo nulu, nebo analogový signál, jehož hodnota se měří v určitém rozsahu. Výstupy mohou být také analogové nebo digitální. Piny lze nastavit buď na zapnuto, vypnuto nebo regulovat intenzitu výstupního signálu a tím ovládat např. otáčky motoru nebo jas světla. Kromě hardwaru je součástí i vývojové prostředí Arduino IDE. Díky open-source přístupu vznikly nejen klony Arduina, ale také alternativy s rozšířenými funkcemi, jako jsou vývojové desky s čipy ESP8266 nebo ESP32 od společnosti Espressif. [33; 34]

3.1.1 Arduino Nano

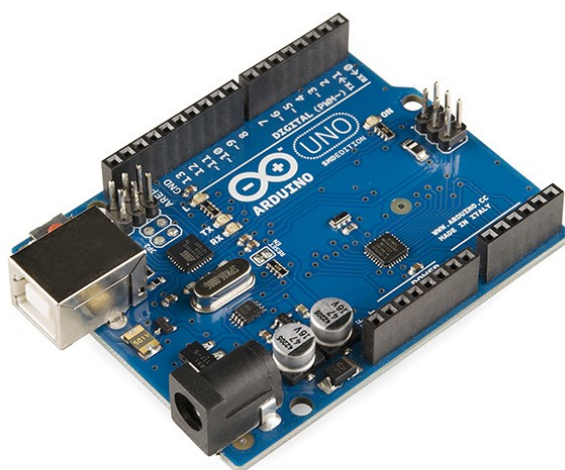
Jedná se o jedno z nejmenších Arduin. Tato deska je vhodná pro aplikace s omezeným prostorem. Na rozdíl od Arduina Mini obsahuje USB port a převodník, takže je mírně větší, ale také pohodlnější, protože k programování Arduina Mini bylo třeba externího převodníku. Deska obsahuje procesor ATmega328 s frekvencí 16 MHz. Napájí se 5 V přes USB nebo externím zdrojem s napětím mezi 6 až 12 V přes pin VIN. [35]



Obrázek 6: Arduino Nano [35]

3.1.2 Arduino Uno

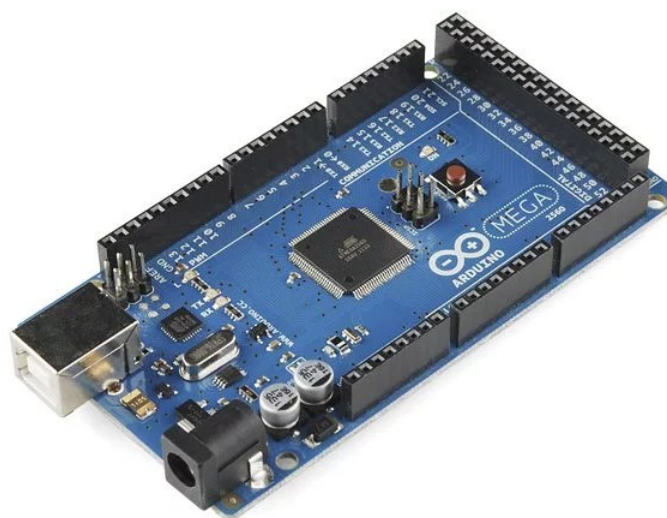
Deska Arduino Uno je jednou z nejpoužívanějších desek od Arduina. Výhodou této verze je, že obsahuje napájecí konektor a je kompatibilní s většinou rozšiřovacích desek, tzv. shieldů. Deska je osazena procesorem ATmega328. Obsahuje 14 vstupně-výstupních a 6 analogových vstupních pinů. [35; 36]



Obrázek 7 Arduino Uno [35]

3.1.3 Arduino Mega

Tato verze Arduina má na delší straně 10 cm. Je vybavena výkonnějším procesorem ATmega2560, který oproti ATmega328 nabízí až osmkrát větší paměť, dále také 54 digitálních pinů a 16 analogových vstupů [36]. Díky velkému počtu pinů je ideální pro 3D tiskárny, robotické systémy a další rozsáhlejší projekty.



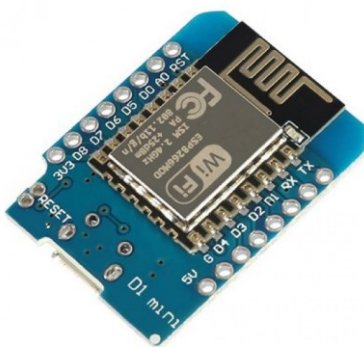
Obrázek 8 Arduino Mega [36]

3.2 Espressif (ESP)

V roce 2008 byla založena čínská společnost Espressif Systems. Její sídlo je v Šanghaji, dále má také vývojová centra v České republice, Indii, Singapuru a Brazílii. ESP8089 byl prvním vydaným produktem, který byl určený pro tablety a set-top boxy. Průlom nastal v roce 2014 vydáním ESP8266, cenově dostupného Wi-Fi mikrokontroleru [37]. Nejúspěšnější mikrokontroler ESP32 vydala společnost v roce 2016. V průběhu let společnost vydala modernější varianty těchto mikrokontrolerů, např. ESP32-C3. Výhodou těchto mikrokontrolerů je, že podporují různé režimy provozu pro úsporu energie, kromě běžného provozu lze ESP přepnout do Deep-sleep režimu s minimálním odběrem, ze kterého ho lze probudit časovačem nebo externím signálem.

3.2.1 Vývojová deska ESP8266

Tato vývojová deska je osazena čipem ESP8266 s mikroprocesorem Tensilica Xtensa 32-bit LX106 RISC s nastavitelnou frekvencí 80 až 160 MHz. Deska má zabudovaný Wi-Fi transceiver, který umožňuje přenos a příjem dat prostřednictvím Wi-Fi sítě [38]. Modul může fungovat jako přístupový bod (vytvoření hotspotu) nebo jako stanice (připojení k Wi-Fi).



Obrázek 9: Vývojová deska ESP8266 [39]

3.2.2 Vývojová deska ESP32

Deska je vybavena ESP-WROOM-32 s 32bitovým mikroprocesorem Tensilica Xtensa Dual-Core LX6. Procesor je podobný tomu, který obsahuje ESP8266, ale obsahuje dvě jádra s frekvencí 80 až 240 MHz. Kromě zabudovaného Wi-Fi transceiveru, také podporuje funkci Bluetooth. Deska má 48 vstupně-výstupních pinů. Napájí se přes MicroB USB port, 3,3 nebo 5 V. [38; 40]



Obrázek 10: Vývojová deska ESP32 [41]

4 SOFTWARE

Pro návrh a realizaci meteostanice bylo využito několik softwarových nástrojů. K návrhu elektronického zapojení byl použit software Fritzing, pro tvorbu jednotlivých dílů meteostanice byl použit SolidWorks a pro samotné programování vývojové desky Arduino IDE. Pro odesílání a vizualizaci naměřených dat byl zvolen ThingSpeak. Všechny tyto programy jsou popsány v této kapitole.

4.1 Fritzing

Fritzing je open-source software, ve kterém lze vytvářet schémata i desky plošných spojů. Software je dostupný pro Windows, macOS i Linux, jeho stažení je zpoplatněno 8 eury.

Na výběr je záložka Montážní deska, která umožňuje fyzické poskládání součástek. Další záložkou je Schéma pro tvorbu elektronického schématu. Záložka DPS umožňuje vytvářet desku s plošnými elektronickými spoji. Součástky vytvořené v jednom okně se automaticky vytvoří i v ostatních. Poslední záložkou je Kód, kde lze psát program a následně jej nahrát do vývojové desky. Fritzing umožňuje vytvořené schéma exportovat jako obrázek nebo jako soubor určený pro výrobu desky plošných spojů. Tím, že se jedná o open-source, tak výhodou je, že lze nainportovat knihovny s různými součástkami, které vytvořili ostatní uživatelé. [42; 43]

4.2 SolidWorks

Jedná se o parametrický CAD software, který slouží k tvorbě 3D modelů, sestav a výkresů. Parametrický přístup znamená, že modely jsou definovány pomocí rozměrů a vazeb, které lze upravovat. Při změně parametru se model automaticky aktualizuje bez nutnosti ruční úpravy. [44; 45]

Po spuštění aplikace lze vybrat ze tří režimů vytváření prvků:

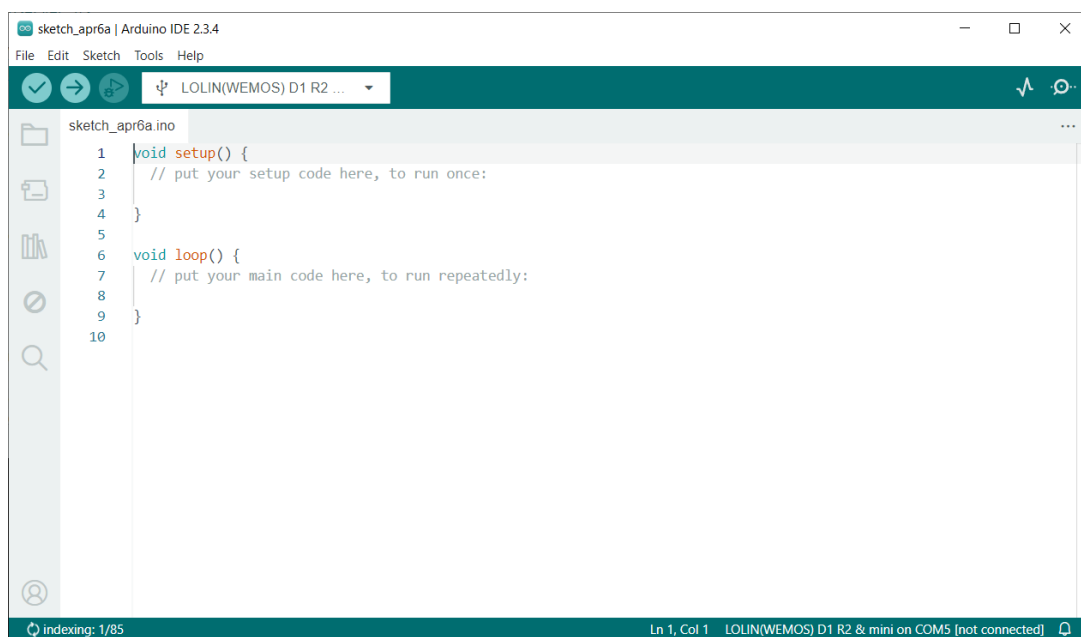
- Díl – základní konstrukční prvek, kde se vytváří jednotlivé modely
- Sestava – umožňuje spojit více dílů do jednoho celku pomocí vazeb a zároveň umožňuje simulace pohybu sestavy
- Výkres – umožňuje převést vytvořený díl do 2D pohledů, včetně kót, řezů a dalších popisných prvků

Návrh 3D modelu začíná vytvořením 2D skici, které lze vytvořit pomocí kreslicích funkcí jako čára, obdélník, oblouk, kružnice atd. Pro následné převedení do 3D modelu slouží různé funkce jako je vysunutí nebo rotace. [44; 45]

4.3 Arduino IDE

Arduino IDE je vývojové prostředí určené pro psaní, úpravu a nahrávání kódu do vývojové desky. Software lze stáhnout z originálních stránek Arduina. Po instalaci a spuštění programu se zobrazí vývojové prostředí, které lze vidět na obrázku 11. Nejdříve je třeba v záložce tools vybrat správný komunikační port a správný typ desky. V horní části okna se nachází lišta s ikonami. První ikona se nazývá Verify, která kontroluje a kompiluje program, při nálezů chyby ji zvýrazní. Další ikonou je Upload, ta zkontroluje program, když neobsahuje chyby nahraje ho do připojené vývojové desky. Ikona Seriál Monitor slouží pro čtení informací.

Pro programování vývojové desky se nejčastěji využívá knihovna jazyku C++, která se nazývá Wiring. Na obrázku 11 lze vidět, že po otevření vývojového prostředí se automaticky vytvoří dvě funkce. První funkce void setup, do kterého se píše kód, který se provede jen jednou na začátku programu, tedy po nahrání kódu do vývojové desky, připojení napájení nebo po stisku tlačítka reset na desce [34]. Druhá funkce se nazývá void loop, kde napsaný kód se bude opakovat do doby, než se odpojí napájení, stisku tlačítka reset nebo nahrání nového programu.



Obrázek 11: Vývojové prostředí Arduino IDE

4.4 ThingSpeak

Platforma Thingspeak je služba, která umožňuje shromažďovat, zobrazovat a analyzovat data zaslaná zařízeními do vytvořených projektů, kde v každém kanálu může být ukládáno až osm různých veličin. Zařízení posílá data pomocí HTTP protokolu přes REST API. Jedná se o způsob výměny dat přes internet, kde zařízení může data odesílat (POST) nebo získávat (GET).

Zá vývojem této platformy stojí společnost MathWorks, která mimo jiné vytvořila službu Matlab. Díky tomu lze Matlab spustit přímo na ThingSpeak a pokročile zpracovávat a analyzovat data přímo na serveru.

Bezplatná verze umožňuje vytvořit 4 projekty a uložit až tři miliony záznamů za rok. Data lze odesílat s minimálním intervalem patnáct sekund [46]. Platforma umožňuje vytvářet veřejné nebo soukromé kanály, sdílet data s ostatními a zobrazovat je pomocí grafů.

II PRAKTICKÁ ČÁST

5 NÁVRH A KONSTRUKCE METEOSTANICE

V této kapitole je popsán výběr vývojové desky a vhodných senzorů pro měření meteorologických veličin. Dále je zde popsáno celkové propojení vývojové desky se senzory, tvorba konstrukce meteostanice a její následný tisk.

5.1 Výběr komponentů

Základním prvkem je vývojová deska WeMos D1 Mini ESP8266 WiFi modul. K této desce byly připojeny dva senzory, kde senzor BME688 měří teplotu, tlak, vlhkost a kvalitu vzduchu. Druhý senzor VEML7700 měří intenzitu světla. Výběr těchto komponent byl proveden s ohledem na jejich dostupnost, přesnost měření a nízkou spotřebu.

5.1.1 WeMos D1 Mini ESP8266 WiFi modul

Pro řízení meteostanice byla vybrána vývojová deska WeMos D1 Mini ESP8266 WiFi modul, která obsahuje mikrokontroler ESP8266 od společnosti Espressif. Tato deska disponuje 9 digitálními vstupně-výstupními piny, jedním analogovým vstupem a napájecími piny 3,3 V, 5 V a GND (uzemnění).

Pro komunikaci s připojenými senzory podporuje deska I2C sběrnici, kde pin SDA slouží k přenášení dat a pin SCL přenáší hodinový signál [47]. Pro napájení lze využít i Micro USB konektor, který také slouží pro programování desky.

5.1.2 BME688

Senzor BME688 měří teplotu, tlak, vlhkost a kvalitu vzduchu, z tohoto důvodu byl vybrán právě tento senzor. Dokáže detekovat těkavé organické sloučeniny, těkavé sloučeniny síry nebo oxid uhelnatý. Oproti předchozí verzi obsahuje umělou inteligenci, která podporuje strojové učení, takže lze trénovat do různých prostředí. Senzor lze napájet v rozsahu 1,8 V až 3,6 V, obvykle se napájí 3,3 V. Pro připojení senzoru k desce slouží čtyři piny. Jeden pro napájení (VCC), druhý pro uzemnění (GND) a zbývající dva pro I2C komunikaci, jeden pro data (SDA) a druhý pro hodinový signál (SCL). Kromě I2C senzor také podporuje SPI komunikaci.

Teplotu lze měřit v rozsahu $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, tlak v rozsahu 300 hPa až 1100 hPa s přesností $\pm 0,6\text{ hPa}$, vlhkost v rozsahu 0 % až 100 % s přesností $\pm 3\text{ }%$ a kvalita vzduchu se měří v rozsahu 0 až 500, kde nižší číslo značí lepší kvalitu vzduchu, s přesností 2 % až 5 %. Spotřeba při aktivním měření je 3,7 mA.[48]

5.1.3 VEML7700

Senzor VEML7700 je digitální snímač intenzity okolního světla. Komunikace probíhá přes I2C sběrnici, takže se připojuje podobně jako BME688. Lze napájet 3,3 V nebo 5 V. Rozsah měření je 0 lx až 120000 lx s přesností ± 10 %. Senzor dokáže automaticky přizpůsobovat citlivost podle intenzity světla, čímž zajišťuje přesnější měření v různých podmínkách, a zároveň má velmi nízkou spotřebou, průměrně kolem 100 μ A. [49]

5.1.4 Ostatní komponenty

Pro testování meteostanice byl pro napájení použit bateriový zdroj s kapacitou 10000 mAh, který poskytuje stabilní napětí 5 V. K propojení senzorů s vývojovou deskou byla použita oboustranná prototypová deska a kabely s konektory na obou koncích.

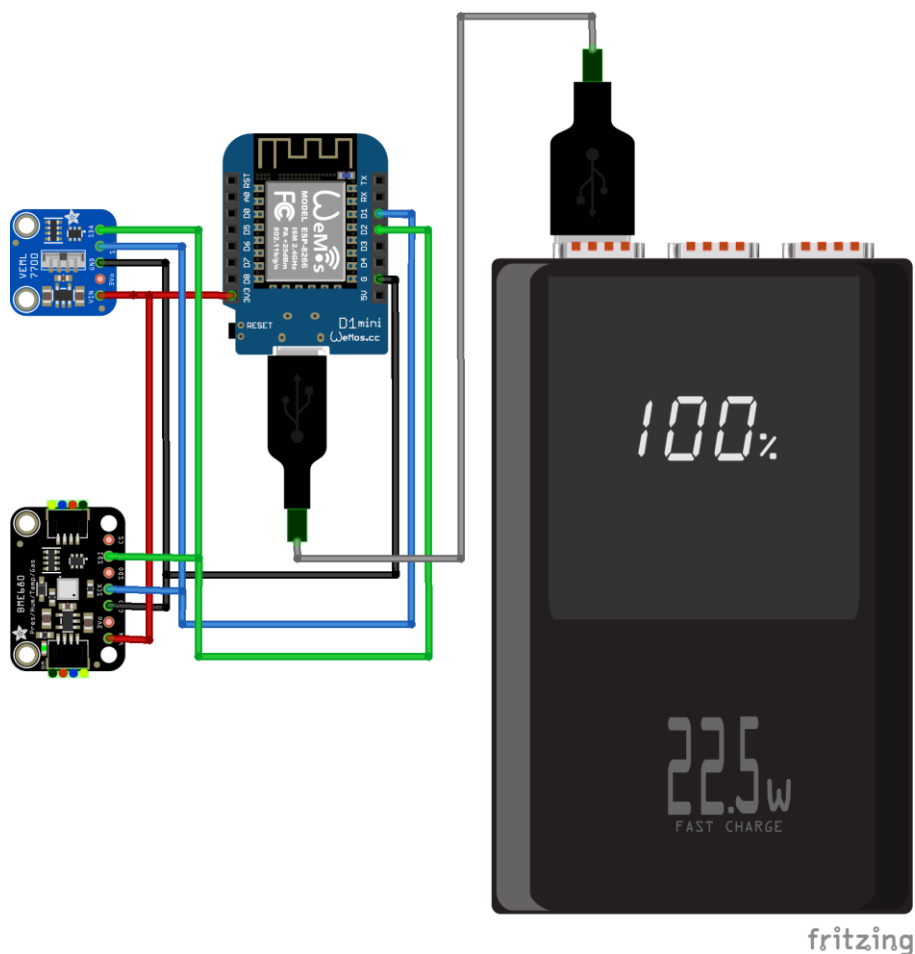
5.2 Schéma zapojení

K návrhu zapojení byl využit software Fritzing, který umožňuje snadné vytvoření schémat elektronických obvodů a jejich vizualizaci, další podrobnosti jsou popsány v kapitole 4.1. V této kapitole je popsán software a konkrétní zapojení meteostanice.

Schéma obsahuje všechny součástky, které jsou skutečně použity, ale senzor BME688 je nahrazen BME680, který se zapojuje úplně totožně jako reálný senzor jen není vizuálně stejný. Pro propojení napájecího napětí 3,3 V, zemnění a komunikační sběrnice I2C byla použita oboustranná prototypová deska. Pro propojení senzorů s prototypovou deskou a vývojovou deskou byly použity propojovací kabely.

Popis vodičů:

- Červená – napájení 3,3 V
- Šedá – napájení 5 V
- Černá – zemnění (GND)
- Modrá – hodinový signál I2C sběrnice (SCL)
- Zelená – přenos dat I2C sběrnice (SDA)



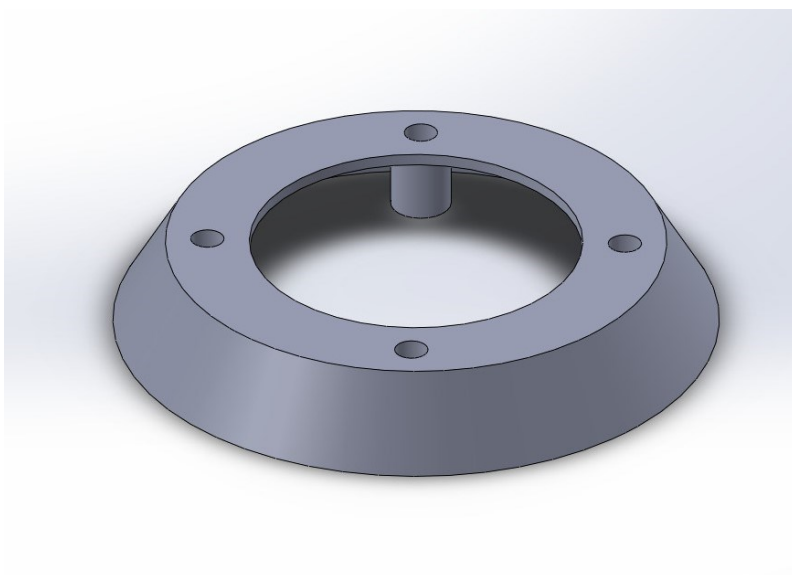
5.3 Návrh a výroba krytu

Pro návrh modelu meteostanice byl použit software SolidWorks, který je popsán v kapitole 4.2. Meteostanice se skládá z několika samostatných dílů, které byly navrženy jako 3D modely a následně vytištěny na 3D tiskárně. Jednotlivé části jsou spojeny závitovou tyčí, některé díly však bylo třeba spojit lepeným spojem. U vybraných dílů byl použit bajonetový zámek, který umožňuje snadné rozpojení a složení. V této části kapitoly je popsán návrh jednotlivých komponent a jejich výroba pomocí 3D tisku.

5.3.1 Návrh dílů

Kvůli jednoduchosti, snadné montáži a dobrému přístupu k částem zařízení bylo zvoleno řešení, kdy je sestava tvořena z jednotlivých dílů, které se následně poskládají do sebe. Proto i 3D tisk bude jednodušší. Výhodou je i možnost jednoduché výměny nebo úpravy jednotlivých komponent.

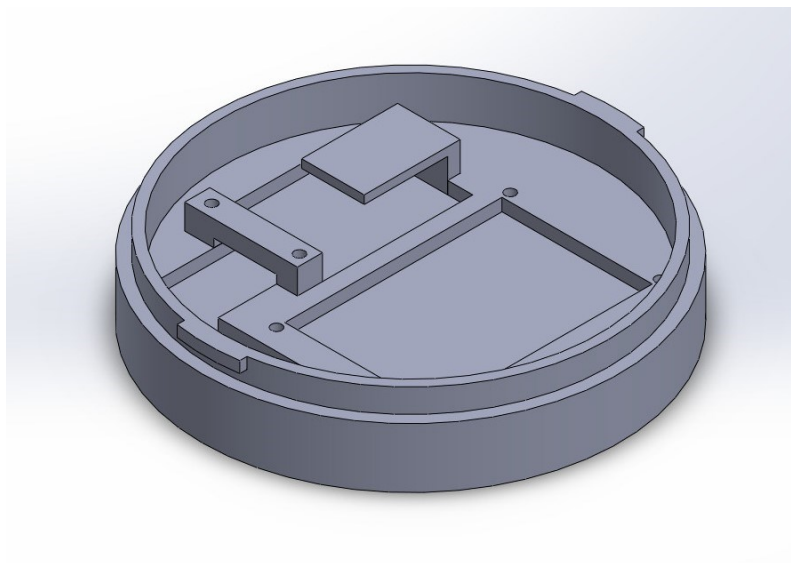
Základní tvar každého disku, jak lze vidět na obrázku 13, byl vytvořen pomocí 2D skici, kde byl nakreslen profil jedné poloviny průřezu. Profil byl následně převeden na 3D těleso pomocí funkce rotace kolem osy. Takto vznikl symetrický díl s průměrem disku 100 mm, výškou 15 mm a tloušťkou stěny 3 mm. Když se tyto disky naskládají na sebe vytvoří tzv. radiační štít, který ochrání senzory a elektroniku před deštěm, ale umožní průchod vzduchu k senzoru, tím by mělo být zajištěno správné měření teploty, vlhkosti a prachové částic.



Obrázek 13: Detail tvaru disku

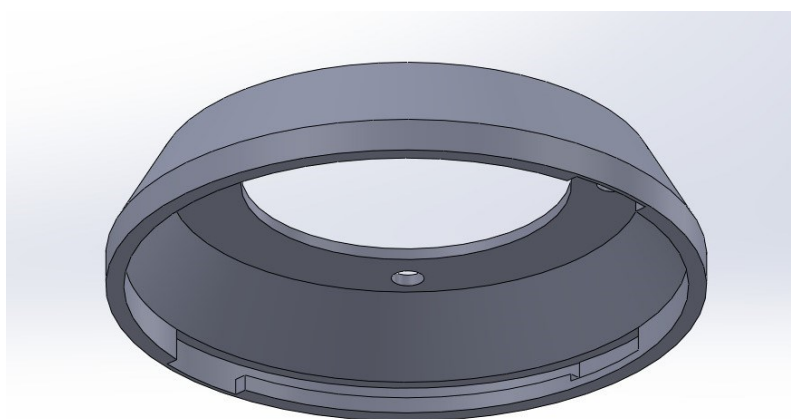
Tyto disky byly spojeny pomocí čtyř závitových tyčí, kde jednotlivé konce jsou přilepeny k hornímu disku a prochází konstrukcí až k čtvrtému disku, kde jsou upevněny pomocí matek.

Pro uchycení vývojové desky a desky plošných spojů byl vytvořen speciální disk s držáky, jak lze vidět na obrázku 14, kde jeden je přilepený a druhý lze přichytit pomocí šroubků. Tento disk je uchycen bajonetovým zámkem, jak je znázorněno na obrázku 15, který umožňuje snadné sejmutí v případě údržby. Stejný zámek je použit i na spodním disku, který slouží pro uložení bateriového zdroje. Spodní díl má větší průměr, aby se do něj bateriový zdroj vešel. Tento díl je také slepený ze dvou částí kvůli jednoduššímu tisku.



Obrázek 14: Detail disku pro elektroniku

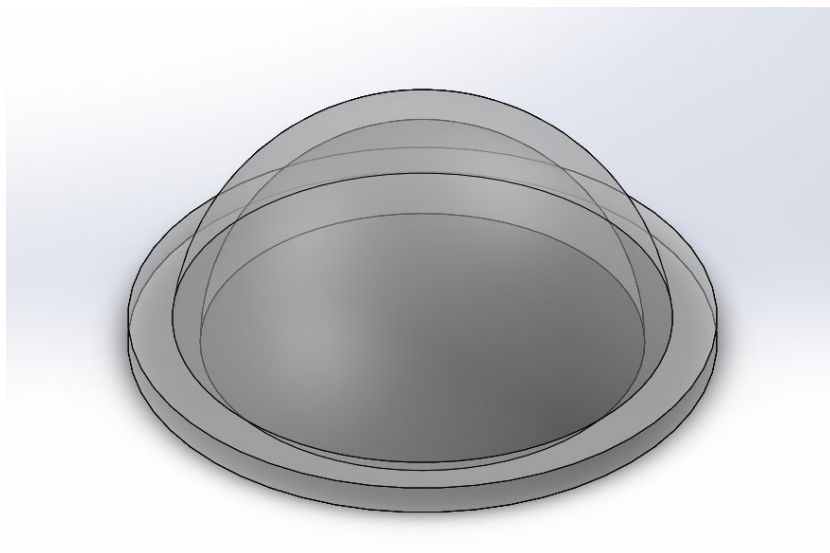
Na obrázku 14 lze pozorovat, že pravá část je určena pro uchycení desky plošných spojů pomocí šroubků a levá část je určena pro upevnění vývojové desky.



Obrázek 15: Detail bajonetového zámku

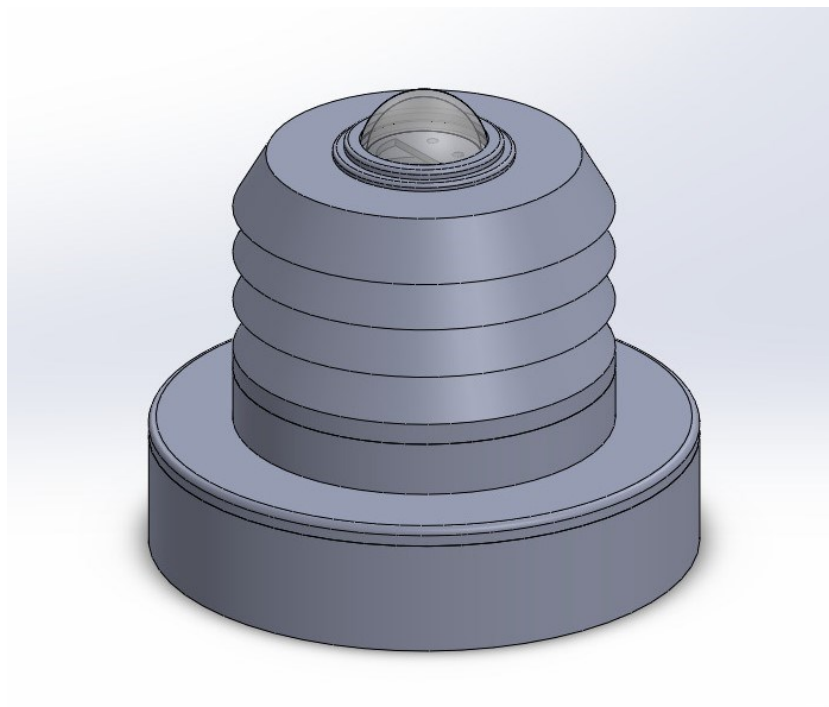
Na obrázku 15 je čtvrtý disk shora, který je upravený o bajonetový zámek. Tento disk zároveň slouží k upevnění závitové tyče pomocí matic.

Horní část sestavy tvoří forma ve tvaru polokoule, která byla také vytištěna na 3D tiskárně a následně použita pro vakuové tvarování ochranného krytu senzoru. Vakuové tvarování je metoda, při které se plastová fólie zahřeje a následně nasaje pod tlakem přes připravenou formu, čímž se vytvoří výlisek požadovaného tvaru. Tento plastový kryt byl následně přilepen k meteostanici, forma slouží pouze pro výrobu a vizualizaci v SolidWorks.

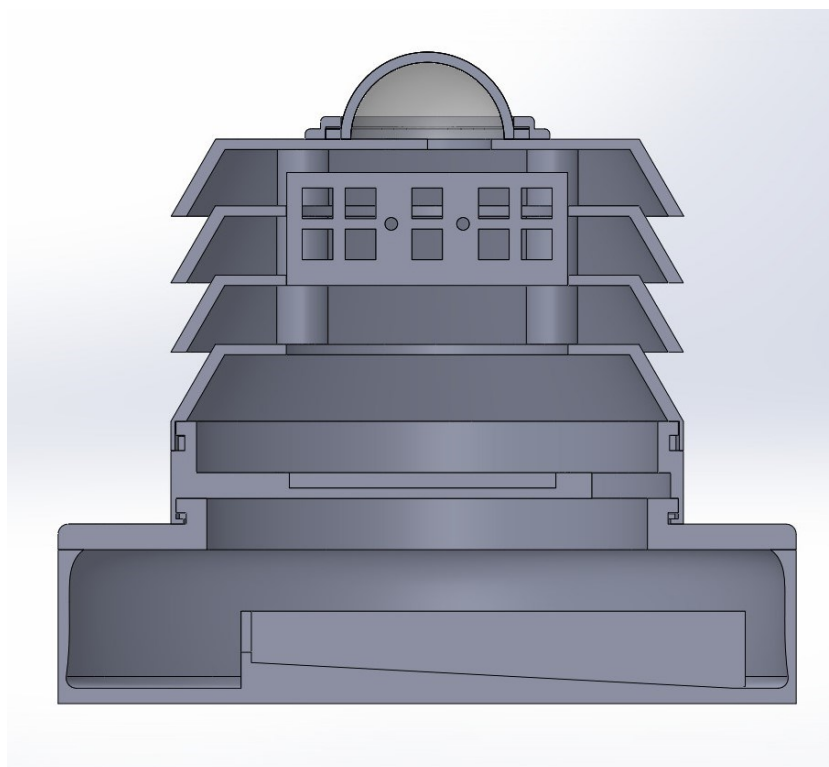


Obrázek 16: Detail formy pro kryt

Některé spoje byly upevněny lepením jako horní kryt nebo spojení částí spodního krytu. Obrázky 17 a 18 zobrazují kompletní sestavu meteostanice a její řez konstrukcí.



Obrázek 17: Pohled na sestavu meteostanice



Obrázek 18: Řez meteostanicí

5.3.2 Vytištěné díly

Navržené komponenty byly vytištěny na průmyslové 3D tiskárně Fortus 900mc, která využívá technologii FDM. Tato technologie funguje na principu postupného nanášení roztaveného termoplastu vrstvu po vrstvě podle přesného G-kódu. Každá vrstva po nanesení ztuhne a tím vznikne pevná struktura.

Na rozdíl od běžných stolních 3D tiskáren umožňuje Fortus 900mc dosahovat vysoké přesnosti a opakovatelnosti díky plně řízené tiskové komoře s konstantní teplotou – pro tisk z ABS je to přibližně 90 °C. Další výhodou této tiskárny je použití plastové fólie, která je během tisku přidržována podtlakem na tiskové základně. Tím se předchází deformacím, kroucení nebo jejich odlepování během tisku.

Při výrobě byl použit termoplast ABS a tisk probíhal s tloušťkou vrstvy 0,178 mm. Podpěry byly z rozpustného materiálu SR35, který se po dokončení 3D tisku odstranil v ultrazvukové čističce za pomoci slabého roztoku NaOH. Takže není třeba ručního odstraňování podpěr.

Na obrázku 19 jsou zobrazeny všechny vytištěné díly meteostanice.



Obrázek 19: Vytištěné díly

5.4 Sestavení meteostanice

V této kapitole je popsán postup sestavení meteostanice, který zahrnuje montáž jednotlivých dílů, elektronické zapojení a finální kompletaci celého zařízení do funkčního celku připraveného k testování a měření.

5.4.1 Montáž mechanických dílů

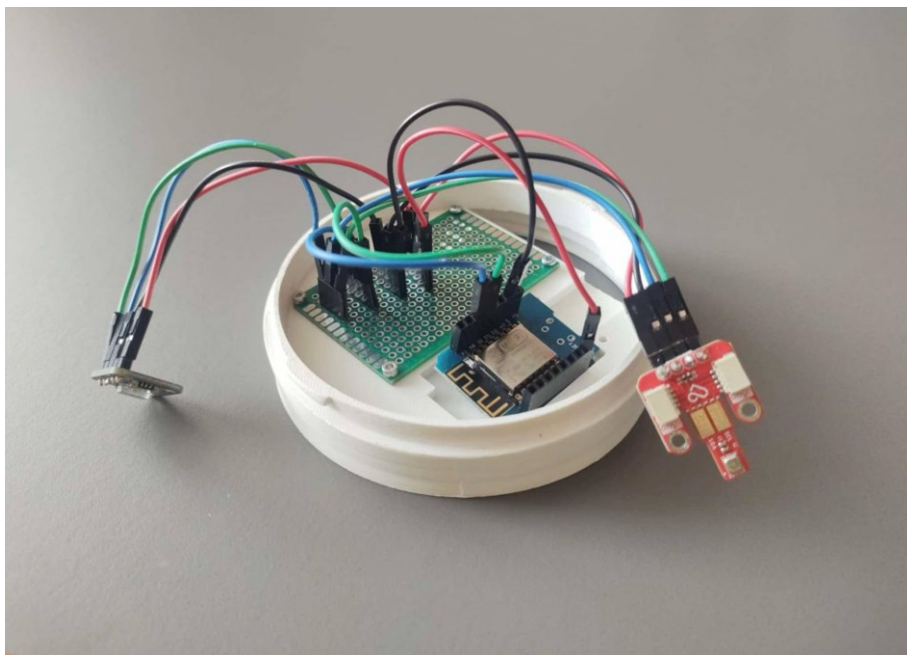
Prvním krokem při sestavování meteostanice bylo vložení závitových tyčí do vrchního dílu. Tyto tyče byly trvale fixovány pomocí lepidla, čímž se zajistila jejich pevná poloha a stabilita celé konstrukce. Následně byly slepeny dvě části spodního disku, které dohromady tvoří úložný prostor pro bateriový zdroj.

Dalším krokem bylo uchycení jednotlivých senzorů k připraveným místům v konstrukci. Pro upevnění senzorů byly použity drobné šroubky a matice, které zajišťují trvalou fixaci a zároveň případnou jednoduchou demontáž v případě potřeby servisu nebo výměny komponent.

5.4.2 Elektronické zapojení

Po montáži mechanické části následovala instalace elektroniky. Nejprve byla připravena oboustranná prototypová deska, do které byly napájeny dutinkové lišty pro snadné propojení jednotlivých komponent. Prototypová deska byla následně upevněna pomocí šroubků a matic do disku určeného pro umístění elektroniky.

Následovalo propojení jednotlivých senzorů (BME688 a VEML7700) s vývojovou deskou WeMos Di Mini přes I2C sběrnici. Po propojení byla provedena kontrola správné funkčnosti všech zapojených zařízení.



Obrázek 20: Elektrické zapojení meteostanice

5.4.3 Hotová meteostanice

Po ověření funkčnosti senzorů mohla být meteostanice kompletně sestavena. Nejprve se jednotlivé disky nasunuly na závitové tyče a pevně dotáhly pomocí matic. Disk s elektronikou se zaaretoval pomocí bajonetového zámku do spodního disku, což umožnilo jednoduché a spolehlivé mechanické spojení bez nutnosti použití dalších upevňovacích prvků. Stejným způsobem se připevnil i disk obsahující bateriový zdroj, který se zaaretoval do disku s elektronikou. Takto byla zajištěna jednoduchá demontáž, kdy by bylo nutné vyměnit vývojovou desku, nahrát nový program nebo dobít bateriového zdroje. Nakonec byl nasazen a upevněn horní kryt chránící senzor slunečního svitu. Po připevnění krytu byla meteostanice kompletně sestavená a připravená k testování a měření (viz. obrázek 21).



Obrázek 21: Hotová meteostanice

6 SOFTWAREVÁ ČÁST

Tato kapitola se zabývá popisem softwarového řešení meteostanice řízené vývojovou deskou ESP8266 a senzory BME688 a VEML7700. Kód je navržen pro sběr dat ze senzorů, jejich zpracování a následné odesílání na vytvořený webserver a na platformu ThingSpeak pro vizualizaci. Kompletní kód je k dispozici v příloze, zde jsou popsány hlavní části kódu.

6.1 Použité knihovny

Aby bylo možné správně komunikovat a pracovat se senzory, s vývojovou deskou a s Wi-Fi připojením bylo nutné použít tyto knihovny:

- ESP8266WiFi.h – knihovna poskytující připojení k Wi-Fi síti,
- ESP8266WebServer.h – knihovna zajišťující přístup k webové stránce zařízení přes internet,
- Wire.h – knihovna zajišťující komunikaci mezi vývojovou deskou a senzory přes I2C sběrnici,
- Adafruit_VEML7700.h – knihovna usnadňující ovládání a získávání dat ze senzoru VEML7700, měřící intenzitu světla,
- bsec.h – knihovna zajišťující práci se senzorem BME680, který měří teplotu, tlak, vlhkost a kvalitu vzduchu. Tato knihovna je plně kompatibilní s použitým senzorem BME688,
- WiFiUdp.h a NTPClient.h – knihovny pro synchronizaci s NTP servery a získání aktuálního času,
- EEPROM.h – knihovna poskytující práci s pamětí EEPROM, která umožňuje ukládat data.

6.2 Inicializace

Tato část popisuje funkci setup, která se spustí pouze po nahrání programu a po připojení napájení, kde se inicializují všechny komponenty.

Inicializace začíná nastavením sériové komunikace a I2C sběrnice. Následuje nastavení Wi-Fi do režimu Access Point a Station. ESP8266 funguje jako hotspot a zároveň umožňuje připojení k jiným Wi-Fi sítím. První příkaz na obrázku 22 nastavuje režim Wi-Fi, druhý řádek vytvoří webserver.

```
//Nastavení Wi-Fi režimu
WiFi.mode(WIFI_AP_STA);
WiFi.softAP(ap_ssid, ap_password);
Serial.println("Hotspot spuštěn na IP:");
Serial.println(WiFi.softAPIP());
```

Obrázek 22: Inicializace Wi-fi

Obrázek 23 ukazuje inicializaci senzorů. U světelného senzoru se nastavuje zisk neboli citlivost na světlo a integrační čas, což je doba, po kterou senzor sbírá světlo, než provede měření. U druhého senzoru se nastavuje převzorkování měřených veličin, tzn. senzor provede více měření, které následně zprůměruje. Lze nastavovat 1, 2, 4, 8 a 16 měření. Dále lze nastavit vyhřívání plynového senzoru, kdy je nutné aktivovat chemickou reakci v senzoru k detekci těkavých organických látek.

```
// Senzory
if (!veml.begin()) {
  Serial.println("VEML7700 nenalezen!");
  while (1);
}
veml.setGain(VEML7700_GAIN_1_8);
veml.setIntegrationTime(VEML7700_IT_100MS);

if (!bme.begin()) {
  Serial.println("BME680 nenalezen!");
  while (1);
}
bme.setTemperatureOversampling(BME680_OS_8X);
bme.setHumidityOversampling(BME680_OS_2X);
bme.setPressureOversampling(BME680_OS_4X);
bme.setGasHeater(320, 150);
```

Obrázek 23: Inicializace senzorů

6.3 Kód pro senzory

Tato část popisuje kód pro správné fungování senzorů, počítání přibližné spotřeby energie, ukládání hodnoty spotřeby do paměti EEPROM a přecházení do úsporného režimu pro šetření energie.

Po inicializaci všech potřebných komponent (viz. kapitola 6.2) se provede měření hodnot ze senzorů. Tyto hodnoty jsou následně zpracovány a odeslány na webserver. Pro tyto činnosti je vytvořena samostatná funkce. Aby měření probíhalo každou půl hodinu je vytvořena podmínka v hlavní smyčce, kde se nejprve aktualizuje čas, připojí Wi-Fi a následně proběhne měření v daný interval.

Po dokončení měření se data odešlou pomocí Wi-Fi. Hned po odeslání dat se Wi-Fi odpojí, sníží se výkon webserveru a vypne se vyhřívání prachového senzoru, aby nedocházelo k vysokému odběru energie během čekání na další měření.

Po celou dobu se počítá přibližná spotřeba, kdy se podle aktuálního času a režimu provozu sčítá spotřeba.

Během celého provozu zařízení se současně počítá přibližná spotřeba energie. Pro tento výpočet je vytvořena funkce, která přiřazuje orientační proudový odběr jednotlivým stavům zařízení a podle doby strávené v daném stavu se spočítá celková spotřeba v mAh. Tato hodnota se ukládá do paměti EEPROM, aby bylo možné sledovat spotřebu po dobu napájení. Tím, že hodnota je uložena v EEPROM se zajistí, že po výpadku nebo restartu zařízení hodnota zůstane uložena. Vynulovat spotřebu lze stiskem tlačítka na webserveru, například po dobití bateriového zdroje.

6.4 Webová stránka

Kromě sběru dat vývojová deska také funguje jako jednoduchý webový server. Uživatel se může pomocí IP adresy připojit k zařízení. Na webové stránce se zobrazují naměřené hodnoty, aktuální spotřeba, tlačítko pro resetování spotřeby a čas posledního měření.

Webová stránka je generována pomocí HTML kódu, což je značkovací jazyk sloužící pro tvorbu webových stránek, který je přímo v programu. Pomocí různých značek (např. <h1> - nadpis, <p> - odstavec) se definuje, jak bude stránka strukturovaná.

```

<body>
  <h1>Meteo Stanice</h1>
  <div class='container'>
    <div class='box'><b>Osvětlení:</b><p id='lux'>Načítám...</p></div>
    <div class='box'><b>Teplota:</b><p id='temp'>Načítám...</p></div>
    <div class='box'><b>Vlhkost:</b><p id='hum'>Načítám...</p></div>
    <div class='box'><b>Tlak:</b><p id='press'>Načítám...</p></div>
    <div class='box'><b>IAQ kvalita vzduchu:</b><p id='iaq'>Načítám...</p></div>
    <div class='box'><b>Spotřeba energie:</b><p id='spotreba'>Načítám...</p></div>
    <div class='box'><b>Poslední měření:</b><p id='cas'>Načítám...</p></div>
    <div class='box'>
      <b>Reset spotřeby:</b>
      <button onclick="resetSpotreba()">Vynulovat</button>
      <p id="resetStatus">Čekám na akci...</p>
    </div>
  </div>
</body>

```

Obrázek 24: Struktura HTML těla webové stránky

Aby bylo možné aktualizovat data bez nutnosti znovu načtení stránky, byla vytvořena funkce, která toto zajišťuje pomocí formátu JSON. Jedná se o univerzální formát pro strukturovanou výměnu dat mezi serverem a webovým klientem.

```

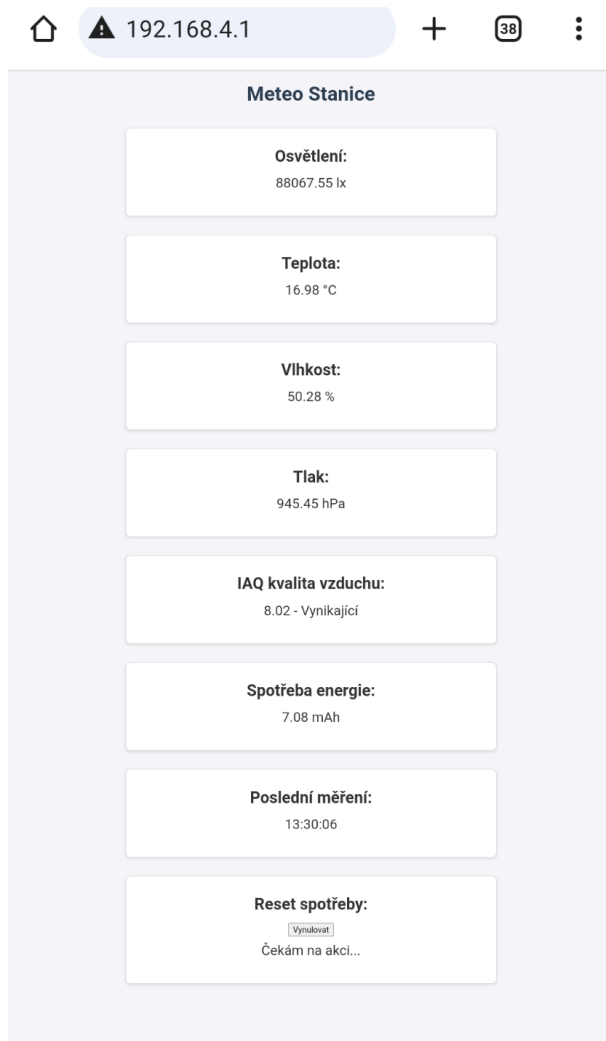
// Web server
server.on("/", handleRoot);
server.on("/data", handleData);
server.on("/reset", []()
{
  spotreba_mAh = 0; // Resetujeme spotřebu na nulu
  server.send(200, "text/plain", "Spotřeba byla vynulována.");
});
server.begin();

```

Obrázek 25: Ukázka konfigurace webového serveru

Tlačítko „Reset spotřeby“ na webové stránce slouží k vynulování dosud naměřené spotřeby energie. Po jeho stisknutí se odešle požadavek na server, který následně vynuluje proměnnou a přepíše ji v paměti EEPROM. Na stránce je dále zobrazován čas a datum posledního měření, který se aktualizuje při každém měření. Časové údaje jsou získávány ze serveru pomocí protokolu NTP, který umožňuje přesnou synchronizaci data a času s časovými servery na internetu.

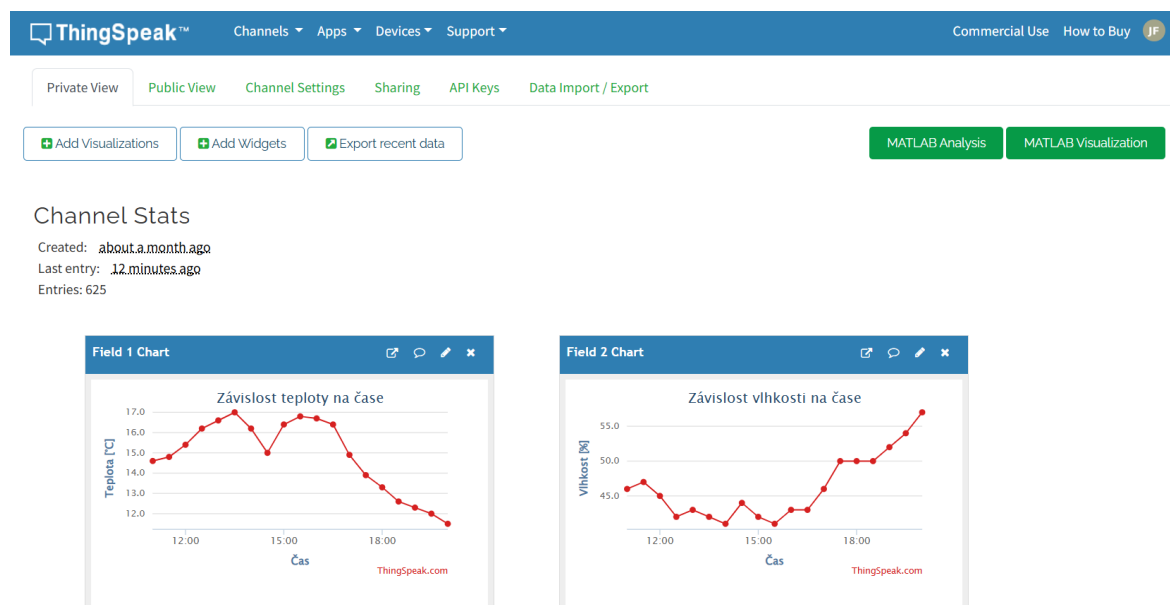
Tato webová stránka umožňuje uživateli snadno sledovat důležité environmentální hodnoty v reálném čase. Na obrázku 26 lze vidět finální podobu uživatelského rozhraní webové aplikace.



Obrázek 26: Webová stránka

6.5 Odesílání a zpracování dat

Pro zobrazení aktuálních hodnot slouží webová stránka generovaná přímo vývojovou deskou, zatímco pro ukládání a vizualizaci historie měření byla využita online platforma Thingspeak. Data jsou odesílána pomocí TCP spojení po sestavení HTTP požadavku. Požadavek obsahuje cílovou adresu, naměřené hodnoty a API klíč, který slouží jako přístupové heslo k Thingspeaku. Na platformě lze vytvořit přehledné grafy, pro sledování vývoje jednotlivých veličin v čase.



Obrázek 27: Rozložení webu Thingspeak

7 ANALÝZA VÝSLEDKŮ

Tato kapitola se zabývá srovnáním naměřených dat s referenční meteostanicí a meteoradarem Skalky vzdáleným asi 4 km vzdušnou čarou od místa měření a umístěným o 90 metrů výše. Kapitola je rozdělena do jednotlivých podkapitol podle sledovaných veličin. Vlastní meteostanice (na obrázku vlevo) a referenční meteostanice (na obrázku vpravo) byly umístěny přibližně 6 metrů od sebe ve srovnatelné výšce nad zemí. Měření probíhalo nepřetržitě v intervalu 30 minut ve dnech 1. 5. 2025 a 2. 5. 2025. Data jsou znázorněna v přehledných grafech.

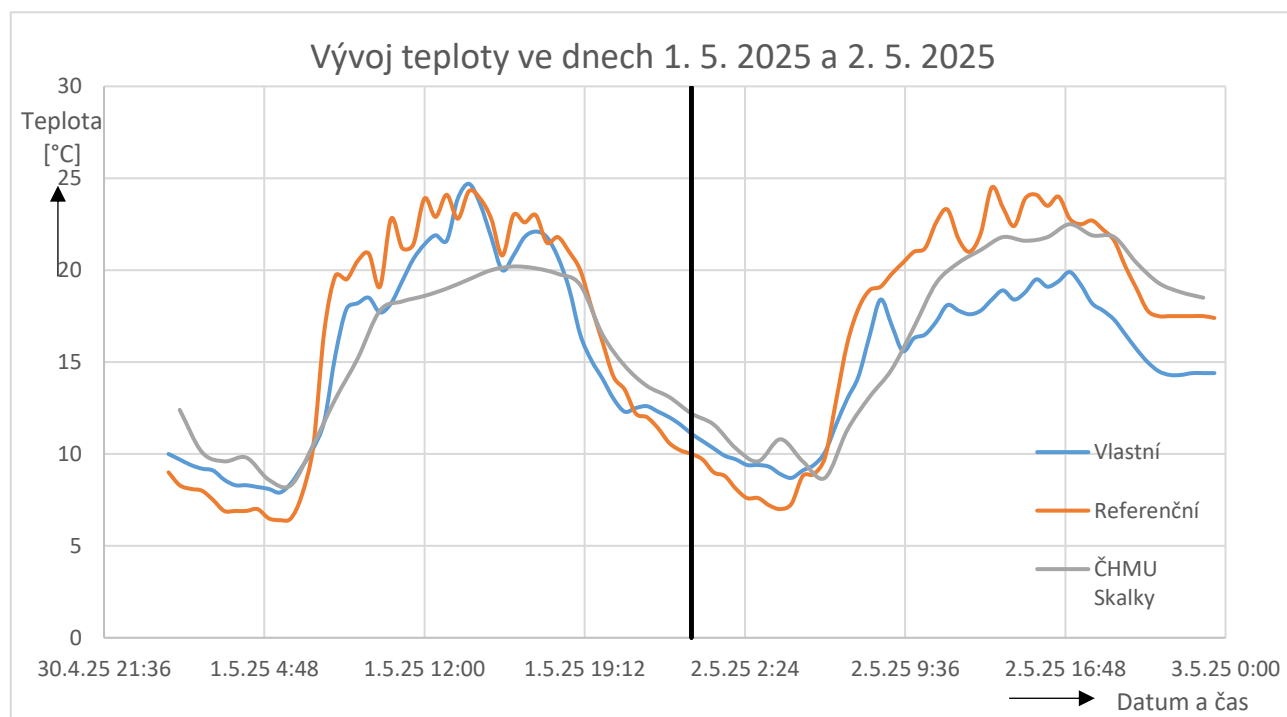


Obrázek 28: Rozmístění meteostanic

7.1 Teplota

Průběh teplot odpovídá očekávanému dennímu cyklu, kdy v noci teplota klesá a během dne postupně roste. Z obrázku 29 je patrné, že hodnoty naměřené z vlastní meteostanice odpovídají průběhem z referenčních zařízení, což potvrzuje správnou funkci teplotního senzoru.

Rozdíly teplot se vyskytují ráno při zvyšování teploty, kdy vlastní meteostanice reaguje pomaleji než referenční. V odpoledních hodinách první den byla odchylka ± 1 °C. Druhý den byly rozdíly o něco větší, přesto si průběhy zachovávají podobný tvar. Průměrná odchylka byla 2,34 °C a směrodatná odchylka 1,48 °C. Příčinou těchto odchylek může být rozdílné umístění senzorů, konstrukce krytu nebo kalibrační odchylka.

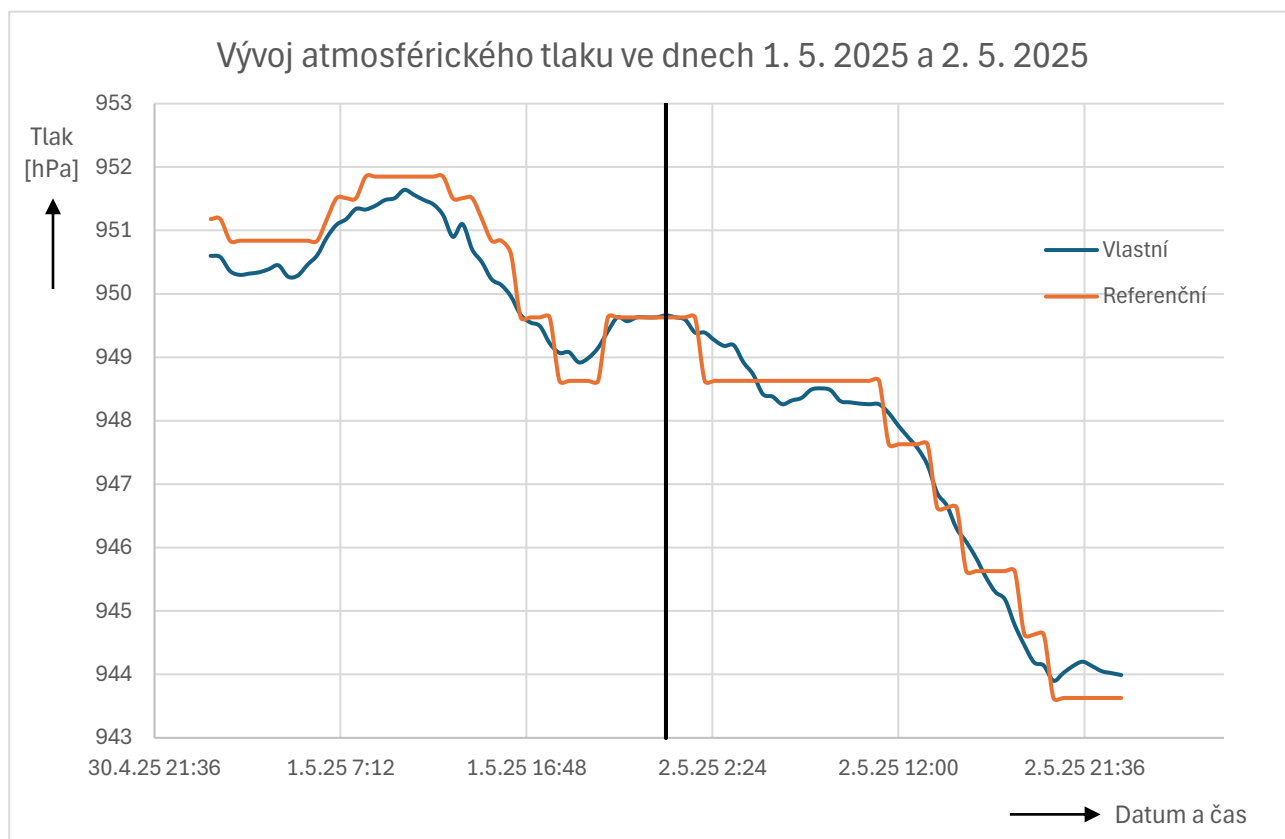


Obrázek 29: Vývoj teploty

7.2 Atmosférický tlak

Atmosférický tlak byl měřen vlastní meteostanicí, tak i referenční meteostanicí. Z obrázku 30 vyplývá, že obě křivky mají podobný průběh, což značí správnou funkci senzoru. S postupnou změnou počasí se měnil i tlak.

Rozdíly mezi jednotlivými hodnotami se pohybovali do ± 1 hPa, tuto přesnost uvádí i výrobce. Průměrná odchylka byla 0,35 hPa a směrodatná odchylka 0,19 hPa. Tuto nepřesnost může způsobovat rozdílná konstrukce krytu, nebo kalibrační nepřesnost.

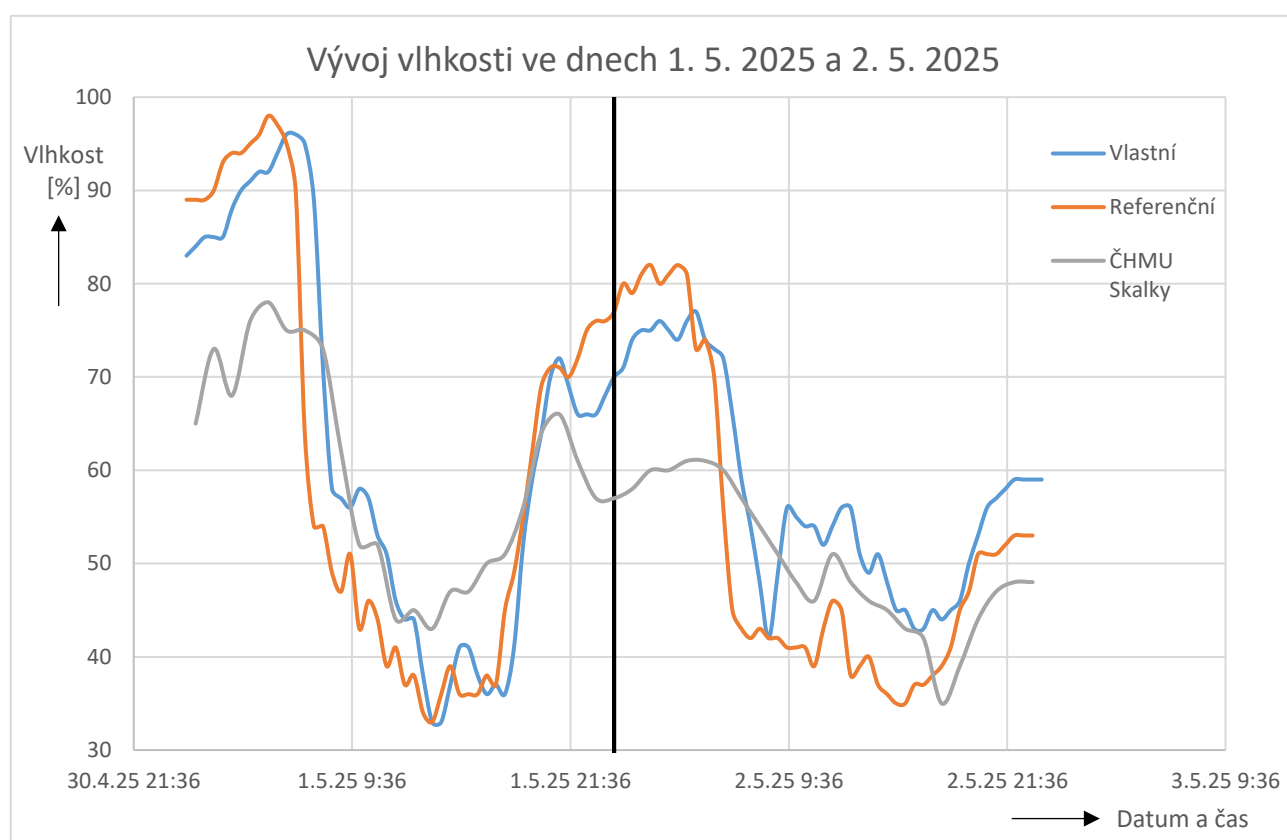


Obrázek 30: Vývoj atmosférického tlaku

7.3 Vlhkost vzduchu

Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v noci a v brzkých ranních hodinách, naopak nejnižší hodnoty byly zaznamenány v odpoledních hodinách. Vlhkost tedy vykazovala očekávaný denní cyklus.

Data z obou měření se vcelku shodují, nicméně existují určité rozdíly. Průměrná odchylka byla 6,2 % a směrodatná odchylka byla 4,26 %. Tyto nepřesnosti byly pravděpodobně způsobeny rozdílným umístěním zařízení, konstrukcí krytu nebo kalibrační nepřesností.

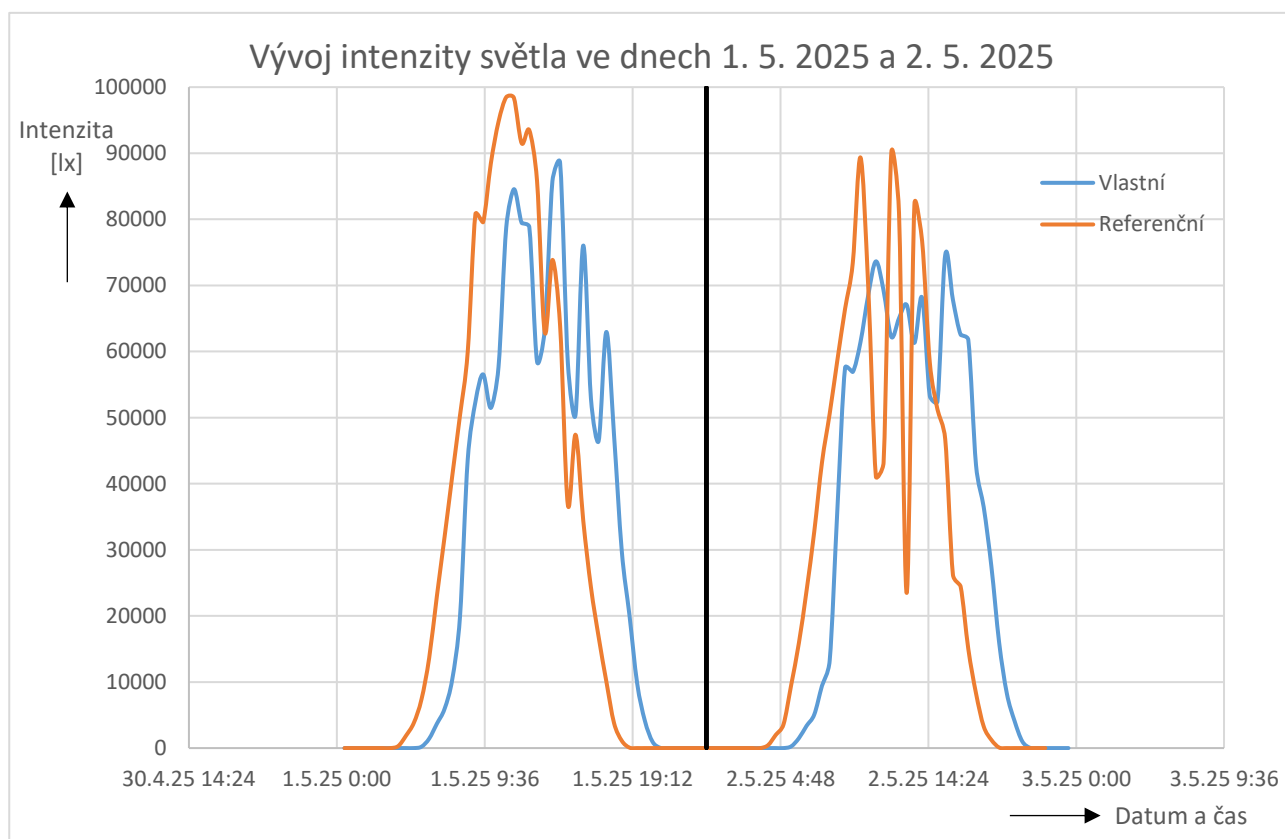


Obrázek 31: Vývoj vlhkosti

7.4 Intenzita světla

Intenzita světla byla měřena na obou zařízeních. Intenzita během dne se pohybovala od 50000 lx do 80000 lx, což odpovídá slunečnému dnu, naopak během východu a západu slunce se intenzita pohybovala od 1000 lx do 50000, během noci byla intenzita 0 lx. Z obrázku 32 je patrné, že oba průběhy jsou podobné, což značí správnou funkci senzoru.

Východ slunce v obou dnech nastal v 5:30 ráno a západ slunce nastal v 21:00. Průměrná odchylka byla 6870 lx a směrodatná odchylka byla 9231 lx. Rozdíl hodnot během dne mohl nastat náhlým zatažením oblohy.

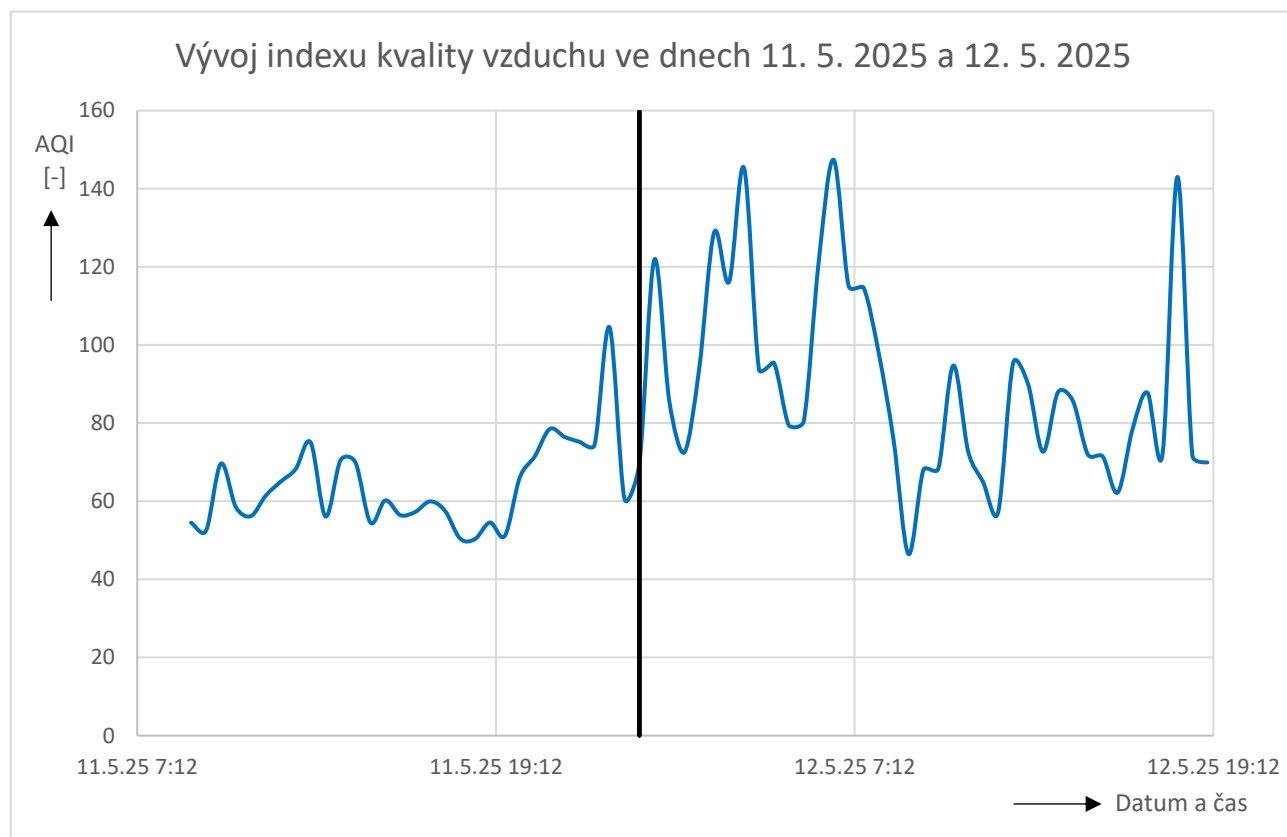


Obrázek 32: Vývoj intenzity světla

7.5 Kvalita vzduchu

Kvalita vzduchu byla měřena pouze na vlastní meteostanici, protože referenční meteostanice nedisponuje tímto senzorem. Měření probíhalo od 11. 5. 2025 ráno, do 12. 5. 2025 do 19:00.

Z obrázku 33 vyplývá, že během dne se hodnoty drželi pod hodnotou 100, což značí dobrou kvalitu vzduchu. Během noci se hodnoty vyšplhaly téměř k hodnotě 150, což odpovídá mírně znečištěnému ovzduší, které mohlo být způsobeno vznikajícími škodlivinami při topení v bytech.



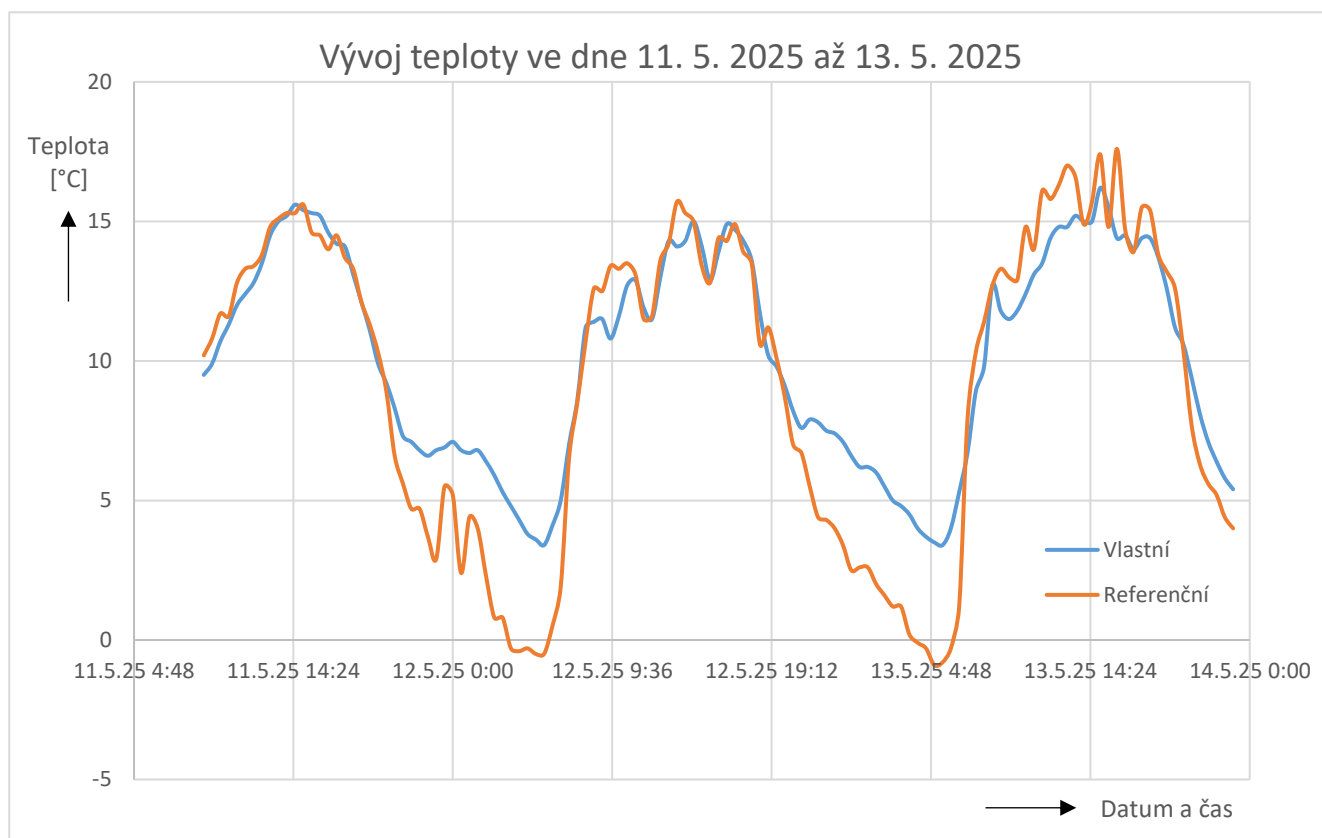
Obrázek 33: Vývoj indexu kvality vzduchu

8 KONTROLNÍ MĚŘENÍ

Po mírné kalibraci senzorů bylo provedeno doplňkové měření, které probíhalo od 11. 5. 2025 od 9:00 do 13. 5. do 23:00. V rámci tohoto měření byla sledována teplota, vlhkost, atmosférický tlak a intenzita slunečního svitu.

8.1 Teplota

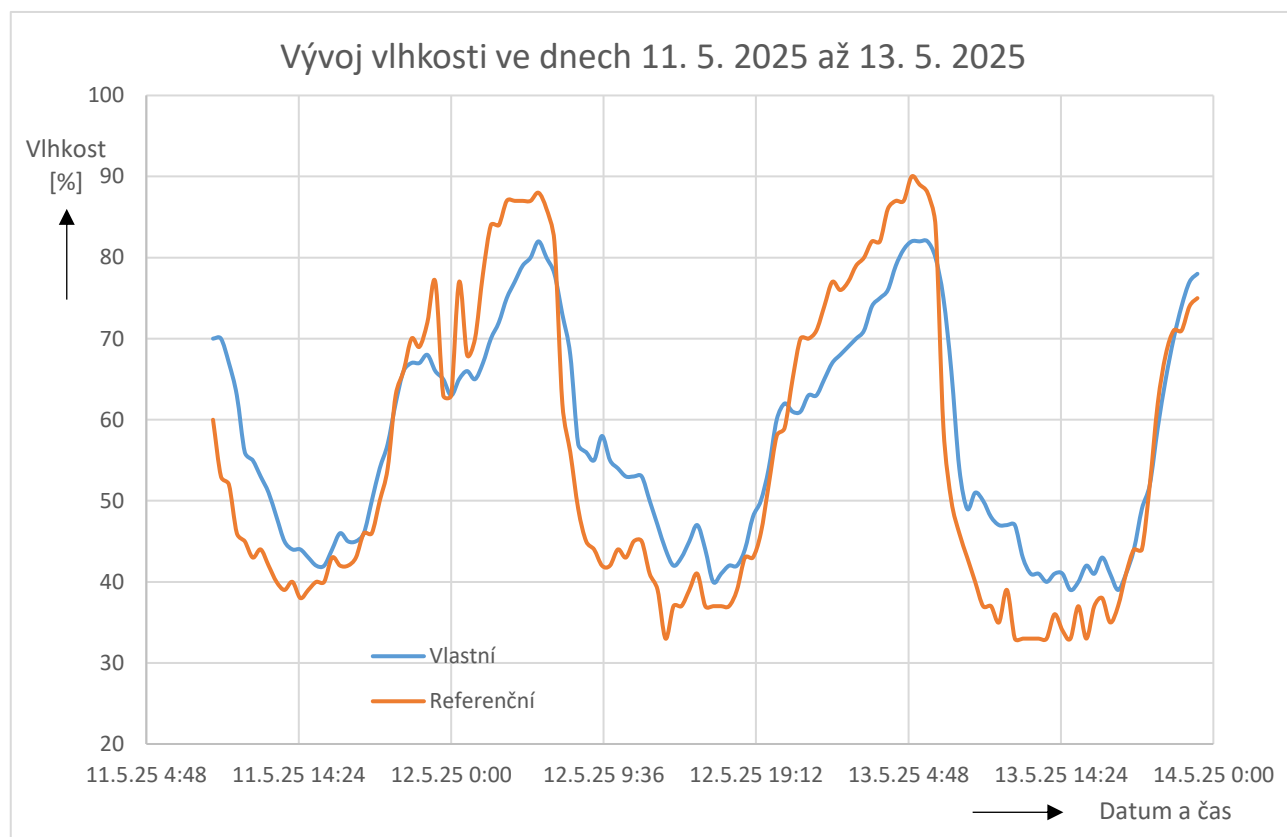
Jak lze vidět na obrázku 34, při měření teploty nedošlo k výraznějším odchylkám během dne a hodnoty se téměř shodují. V nočních hodinách křivky mají podobných tvar, ale vlastní meteostanice měří o něco vyšší hodnoty. Proto by bylo vhodné provést kalibraci senzoru pro noční podmínky.



Obrázek 34: Vývoj teploty po kalibraci

8.2 Vlhkost

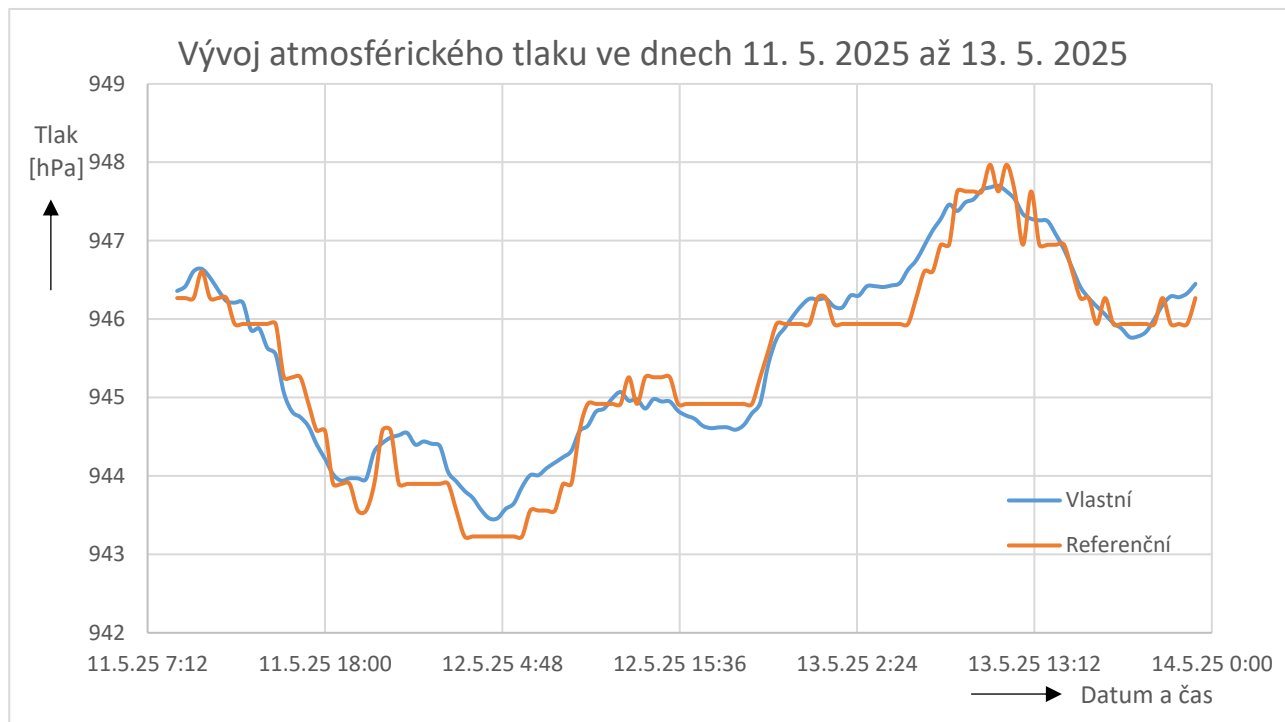
Z obrázku 35 vyplývá, že obě křivky mají podobný průběh a měření je přesnější. Ale vlastní meteostanice během dne stále měří o něco vyšší a během noci o něco nižší hodnoty. Proto by bylo opět vhodné rozdělit kalibraci na měření během dne a během noci.



Obrázek 35: Vývoj vlhkosti po kalibraci

8.3 Atmosférický tlak

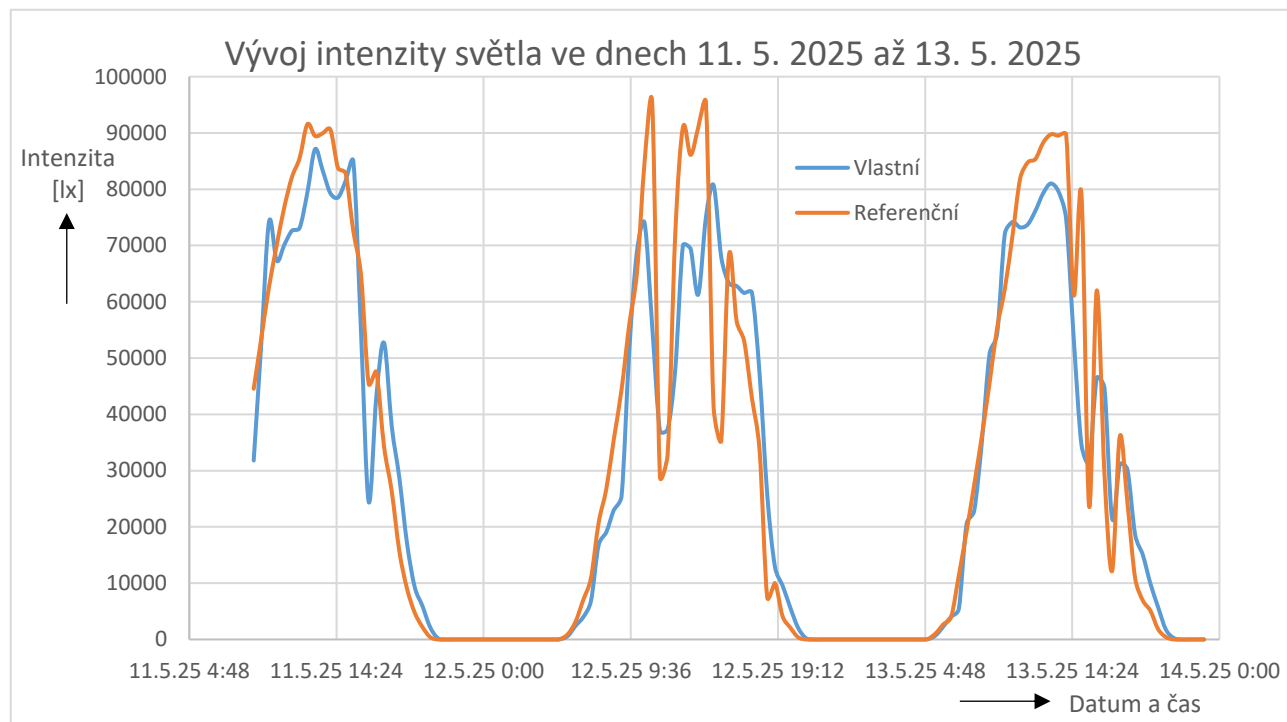
U atmosférického tlaku nebylo třeba žádné kalibrace. Jak lze vidět na obrázku 36, hodnoty mají téměř totožný průběh. Vlastní meteostanice vykazuje stabilnější výsledky na rozdíl od referenční, kdy jsou patrné malé výkyvy hodnot.



Obrázek 36: Vývoj atmosférického tlaku po kalibraci

8.4 Intenzita světla

Jak lze vidět na obrázku 37, oba průběhy jsou téměř totožné. Menší rozdíly mohly nastat při krátkodobé změně oblohy.



Obrázek 37: Vývoj intenzity světla po kalibraci

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout a realizovat prototyp meteostanice, která bude schopna měřit a zaznamenávat meteorologické veličiny jako teplotu, vlhkost, atmosférický tlak, intenzitu slunečního svitu nebo kvalitu vzduchu.

Měření a zaznamenávání hodnot probíhalo dva dny v půl hodinovém intervalu. Výsledky ukázaly, že meteostanice funguje podle očekávané změny veličin v závislosti na denní době, což potvrzuje funkčnost zařízení. Při měření docházelo k malým odchylkám od referenčních hodnot, což mohlo být způsobeno konstrukcí krytu nebo rozdílnou rychlostí reakce senzorů.

Při kontrole funkčnosti byla provedena mírná kalibrace senzorů, která přispěla ke zpřesnění a stabilitě měření. Následné kontrolní měření, které probíhalo tři dny, ukázalo, že hodnoty se více shodují s referenčními.

Během návrhu konstrukce došlo k mírné úpravě. Původní myšlenka byla spojit jednotlivé disky pomocí zacvakávacího mechanismu. Od tohoto záměru bylo ustoupeno z důvodu praskání zacvakávací části. Místo toho byla zvolena spolehlivější varianta v podobě závitové tyče a matic, která zajistí snadnou montáž a pevnou konstrukci.

Měření potvrdilo, že meteostanice je funkční a lze ji využít pro sledování základních meteorologických podmínek, tak i pro orientační měření kvality vzduchu. Díky jednoduchosti a relativně nízké ceně může být využita například v domácnostech nebo při výuce na školách. Do budoucna by bylo možné meteostanici rozšířit o další měření meteorologických veličin, například o rychlost a směr větru, kde by se díky modulární konstrukci vytiskl další disk, na který by bylo možné připevnit senzory a připojit je ke stávajícímu zařízení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RUDA, Aleš. Klimatologie a hydrogeografie pro učitele. Online. Brno: Masarykova univerzita, 2014. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/skripta/klimatologie_hydrogeografie.pdf. [cit. 2025-01-30].
- [2] BEDNÁŘ, Jan. Meteorologie: Úvod do studia dějů v zemské atmosféře. Online. Praha: Portál, 2003. ISBN 80-7178-653-5. Dostupné z: <https://www.digitalniknihovna.cz/mzk/view/uuid:f0365610-e2bc-11e5-a3e0-005056827e51?page=uuid:691b4a00-f801-11e5-87ba-5ef3fc9bb22f>. [cit. 2025-01-30].
- [3] AHRENS, C. Donald. *Essentials of meteorology: an invitation to the atmosphere*. Online. 3. vydání. Brooks Cole, 2000. Dostupné z: <https://www.meteoclub.gr/proo1/Essentials.of.Meteorology.pdf>. [cit. 2025-01-30].
- [4] ČERMÁK, Milan. *Meteorologické stanice*. Online. Meteorologická stanice Maruška Hostýnské vrchy. Dostupné z: https://maruska.ordoz.com/meteorologie/meteorologicke_stanice. [cit. 2025-01-30].
- [5] *Meteo měření – vítr, srážky, oslunění*. Online. TECO Advanced Automation. 2020. Dostupné z: <https://wiki.tecomat.cz/clanek/116-meteo-mereni-vitr-srazky-osluneni>. [cit. 2025-01-30].
- [6] *Teplota vzduchu*. Online. Počasí Meteocentrum. Dostupné z: <https://www.meteocentrum.cz/meteorologie/teplota-vzduchu>. [cit. 2025-01-30].
- [7] *Vlhkost vzduchu*. Online. Počasí Meteocentrum. Dostupné z: <https://www.meteocentrum.cz/meteorologie/teplota-vzduchu>. [cit. 2025-01-30].
- [8] SMOLKA, Václav. *Měření a zaznamenávání tlaku vzduchu*. Online. 2015. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/tlak-vzduchu-4.8.2015/>. [cit. 2025-02-04].
- [9] *Meteorologie*. Online. Garni-meteo. Dostupné z: <https://www.garni-meteo.cz/meteorologie>. [cit. 2025-02-04].
- [10] VYSOUDIL, Miroslav. *Základy fyzické geografie I – Meteorologie a klimatologie*. Online. Univerzita Palackého (Olomouc), 2014. Dostupné z: <https://geography.upol.cz/soubory/studium/e-ucebnice/978-80-244-3893-1.pdf>. [cit. 2025-02-04].

- [11] BRZEZINA, Jáchym. *Suspendované částice (PM) – otázky a odpovědi*. Online. EnviBlog. 2018. Dostupné také z: <https://www.enviblog.cz/blog/2018/12/01/suspendovane-castice-pm-otazky-a-odpovedi/>.
- [12] *The Different Types of Weather Stations and Their Uses*. Online. Rika Sensor. 2024. Dostupné z: <https://www.rikasensor.com/a-news-the-different-types-of-weather-stations-and-their-uses.html>. [cit. 2025-05-08].
- [13] *Types of Weather Stations: do it yourself, personal and profesional*. Online. Nuvoler. 2024. Dostupné z: <https://www.nuvoler.com/blog/types-of-weather-stations-do-it-yourself-personal-and-profesional/>. [cit. 2025-05-08].
- [14] *Top Different Types Of Weather Stations*. Online. Renkeer. 2024. Dostupné z: <https://www.renkeer.com/weather-stations-types/>. [cit. 2025-05-08].
- [15] *What is an Agricultural Meteorological Station? How do Digital Agro Stations Work?* Online. Topraq: Sustainable & Profitable Agri-Tech Solutions. 2025. Dostupné z: <https://www.topraq.ai/en/what-is-an-agricultural-meteorological-station-how-do-digital-agro-stations-work/>. [cit. 2025-05-08].
- [16] *Weather Stations For Airports*. Online. Munro Instruments. Dostupné z: https://www.munroinstruments.com/weather-stations-for-airports/?srsltid=AfmBOOpSYJwh3NhXV8S0tx6bIm_wV8mluLxQfPHphjKVKBZkfwiM-eYf. [cit. 2025-05-08].
- [17] *About Airport Weather Advisor™ AWOS IIIPT*. Online. Mesotech International. Dostupné z: <https://mesotech.com/pages/awos-3pt>. [cit. 2025-05-08].
- [18] *Marine Weather Stations*. Online. Weather Scientific. Dostupné z: <https://weatherscientific.com/collections/marine-weather-stations?srsltid=AfmBOooXN7U72EBshuqeY9SApNKRZn3WvZkYNBAkpnxzHpPJ2p3Wg0Lx>. [cit. 2025-05-08].
- [19] *Weather Station Sensors: Types, Use Cases, & Selection Criteria*. Online. AEM Enviromental Technology Provider. Dostupné z: <https://blog.aem.eco/weather-station-sensors>. [cit. 2025-05-08].
- [20] *Teplota a její měření*. Online. TZB-info. 2006. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/3115-teplota-a-jeji-mereni>. [cit. 2025-05-08].

- [21] VOJÁČEK, Antonín. *Přehled principů el. měření teploty - 1. díl*. Online. Automatizace HW. 2014. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil>. [cit. 2025-05-08].
- [22] *Měření vlhkosti vzduchu*. Online. JUMO Měření a regulace. Dostupné z: <https://www.jumo.cz/web/services/faq/humidity>. [cit. 2025-05-08].
- [23] *Jak funguje senzor vlhkosti*. Online. Hengko Technology. 2023. Dostupné z: <https://www.hengko.com/cs/news/how-humidity-sensor-works-all-you-should-know/>. [cit. 2025-05-08].
- [24] *Vlhkoměry*. Online. Vývoj HW Profesionální elektronika. 2004. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vlhkomery.html-0>. [cit. 2025-05-08].
- [25] KRÁLOVÁ, Magda. *Tlak vzduchu*. Online. Eduoportál Techmania. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/meteorologie/tlak-vzduchu>. [cit. 2025-05-08].
- [26] *Snímače tlaku*. Online. Časopis Automa časopis pro automatizační techniku. 2011. Dostupné z: https://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/snimace-tlaku-2011_01_42719_4920/. [cit. 2025-05-08].
- [27] *Měření koncentrace prachu a senzory prachu*. Online. Automatizace HW. 2006. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006111201>. [cit. 2025-05-08].
- [28] *Principy fungování čidel kvality vzduchu*. Online. Čidla kvality vzduchu Protronix. Dostupné z: <https://www.cidla.cz/na-jakych-principech-funguji-cidla-kvality-vzduchu/>. [cit. 2025-05-08].
- [29] *Intenzita slunečního svitu*. Online. Fotovoltaika Gottwald. Dostupné z: <https://www.fotovoltaika-gottwald.cz/slovník/intenzita-slunecniho-svitu>. [cit. 2025-05-08].
- [30] *Elektronický meteorologický slovník*. Online. Meteorologický slovník. 1993. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz/heslo/3117>. [cit. 2025-05-08].
- [31] *Zkoumání funkčnosti a návrhu rezistorů závislých na světle*. Online. Ariat Tech. 2024. Dostupné z: <https://www.ariat-tech.cz/blog/exploring-the-functionality-and-design-of-light-dependent-resistors.html>. [cit. 2025-05-08].

- [32] *Výběr mikrokontrolérové desky*. Online. Zonepi blog. 2023. Dostupné z: <https://blog.zonepi.cz/vyber-mikrokontrolerove-desky/>. [cit. 2025-05-08].
- [33] MONK, Simon. *Programming Arduino: Getting Started with Sketches*. Online. 2. vydání. McGraw-Hill Education, 2018. ISBN 978-1-25-964163-3. Dostupné z: <https://agsci.colostate.edu/wp-content/uploads/sites/95/2020/03/Programming-Arduino.pdf>. [cit. 2025-05-08].
- [34] VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina*. Online. 2. vydání. Bučovice: Nakladatelství Martin Stříž, 2018. ISBN 978-80-87106-93-8. Dostupné z: https://arduino.adamit.eu/books/Zbysek_Voda_2_vydanie_2018_Pr%C5%AFvodce-sv%C4%9Btem-Arduina-CZ.pdf. [cit. 2025-05-08].
- [35] 2. díl o Arduinu – typy desek. Online. PHGame. 2015. Dostupné z: https://phgame.cz/PHGame_serialy/serialy/zaciname-s-arduinem/2-dil-o-arduinu-typy-desek/. [cit. 2025-05-08].
- [36] *Krátký přehled Arduino desek*. Online. Blok Laskakit. 2016. Dostupné z: <https://blog.laskakit.cz/kratky-prehled-arduino-desek/>. [cit. 2025-05-08].
- [37] *About Espressif*. Online. Espressif Systems: Wireless SoCs, Software, Cloud and AIoT. Dostupné z: <https://www.espressif.com/en/company/about-espressif>. [cit. 2025-05-08].
- [38] *Rozdíl mezi ESP8266 a ESP32*. Online. Hard Wired. 2024. Dostupné z: <https://www.hardwired.dev/2024/01/08/rozdil-mezi-esp8266-a-esp32/>. [cit. 2025-05-08].
- [39] *Wemos D1 Mini*. Online. Pájeničko. 2025. Dostupné z: <https://pajenicko.cz/wemos-d1-mini-wifi-esp8266-esp-12f>. [cit. 2025-05-08].
- [40] MALÝ, Martin. *ESP32 prakticky: Od základních obvodů k pokročilým aplikacím*. Online. CZ.NIC, 2024. ISBN 978-80-88168-79-9. Dostupné z: https://knihy.nic.cz/media/filer_public/a2/63/a263293f-0f81-4834-b6ff-23b693bdccb5/esp32_ukazka.pdf. [cit. 2025-05-08].
- [41] *Vývojová deska ESP32*. Online. Drátek. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1581-esp-32s-esp32-esp8266-development-board-2.4ghz-dual-mode-wifi-bluetooth-antenna-module.html>. [cit. 2025-05-08].

- [42] *WHAT IS FRITZING, HOW DOES IT WORK AND HOW TO USE IT?* Online. Soldered Electronics. 2023. Dostupné z: <https://soldered.com/learn/what-is-fritzing-how-does-it-work-and-how-to-use-it/?srsltid=AfmBOoquKYbLtmhgmPKZaHJhUQ7m6aTaeAG2kL7h3Z6TAB7QODFHpAP>. [cit. 2025-05-08].
- [43] *Fritzing: software pro výrobce a elektroniku*. Online. Hardwarelibre. Dostupné z: <https://cs.hwlibre.com/fritzing/>. [cit. 2025-05-09].
- [44] *What is SolidWorks?* Online. Open Washington Pressbooks. Dostupné z: <https://openwa.pressbooks.pub/testmhrtc/chapter/chapter-1-2/>. [cit. 2025-05-09].
- [45] *What is SolidWorks? Its Features, Uses And Applications*. Online. Ekeeda. 2022. Dostupné z: <https://ekeeda.com/blog/what-is-solidworks-its-features-uses-and-applications>. [cit. 2025-05-09].
- [46] *ThingSpeak for IoT Projects*. Online. ThingSpeak Internet of Things - MathWorks. 2025. Dostupné z: <https://thingspeak.mathworks.com/>. [cit. 2025-05-09].
- [47] ESPRESSIF SYSTEMS. *ESP8266EX Datasheet*. Online. Espressif Systems, 2020. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/user/related_files/esp8266ex_datasheet_en.pdf. [cit. 2025-05-09].
- [48] BOSCH SENSORTEC. *BME 688 - Datasheet*. Online. Bosch Sensortec, 2021. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/user/related_files/bst-bme688-ds000.pdf. [cit. 2025-05-09].
- [49] VISHAY ELECTRONIC. *VEML7700 - Datasheet*. Online. Vishay electronic, 2019. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/user/related_files/veml7700.pdf. [cit. 2025-05-09].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Domácí meteostanice [13].....	19
Obrázek 2: Profesionální meteostanice [13]	20
Obrázek 3: Zemědělská meteostanice [14]	20
Obrázek 4: Letištní meteostanice [16]	21
Obrázek 5: Námořní meteostanice [14]	22
Obrázek 6: Arduino Nano [35]	30
Obrázek 7 Arduino Uno [35]	30
Obrázek 8 Arduino Mega [36]	31
Obrázek 9: Vývojová deska ESP8266 [39].....	32
Obrázek 10: Vývojová deska ESP32 [41].....	32
Obrázek 11: Vývojové prostředí Arduino IDE	34
Obrázek 12 Schéma zapojení v softwaru Fritzing	39
Obrázek 13: Detail tvaru disku	40
Obrázek 14: Detail disku pro elektroniku	41
Obrázek 15: Detail bajonetového zámku	41
Obrázek 16: Detail formy pro kryt.....	42
Obrázek 17: Pohled na sestavu meteostanice	43
Obrázek 18: Řez meteostanicí.....	43
Obrázek 19: Vytisknuté díly	44
Obrázek 20: Elektrické zapojení meteostanice	46
Obrázek 21: Hotová meteostanice	47
Obrázek 22: Inicializace Wi-fi.....	49
Obrázek 23: Inicializace senzorů	49
Obrázek 24: Struktura HTML těla webové stránky.....	51
Obrázek 25: Ukázka konfigurace webového serveru	51
Obrázek 26: Webová stránka	52
Obrázek 27: Rozložení webu Thingspeak	53
Obrázek 28: Rozmístění meteostanic.....	54
Obrázek 29: Vývoj teploty	55
Obrázek 30: Vývoj atmosférického tlaku	56
Obrázek 31: Vývoj vlhkosti	57
Obrázek 32: Vývoj intenzity světla.....	58
Obrázek 33: Vývoj indexu kvality vzduchu	59
Obrázek 34: Vývoj teploty po kalibraci	60
Obrázek 35: Vývoj vlhkosti po kalibraci	61
Obrázek 36: Vývoj atmosférického tlaku po kalibraci	62
Obrázek 37: Vývoj intenzity světla po kalibraci.....	63

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Přehled vyráběných provedení zakončení a typů termočlánku [21].....	24
--	----

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

m	metr
Pa	pascal
hPa	hektopascal
UV	ultrafialové záření
EM	elektromagnetické záření
μm	mikrometr
PM	prachové částice
°C	stupeň Celsia
K	Kelvin
VOC	Volatile organic compound (těkavé organické látky)
lx	lux
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol
I2C	Inter-Integrated Circuit
SCL	Synchronous Clock
SDA	Synchronous Data
V	Volt
mAh	miliampérhodina
TCP	Transmission Control Protocol
IP	Internet Protocol