

Dlouhodobá maturitní práce



Střední průmyslová škola
na Proseku

26-41-M/01Elektrotechnika

Meteostanice

Jan Trnka

Vedoucí: Ing. Petr Augusta, Ph.D.
2024

ZADÁNÍ PRAKTICKÉ MATURITNÍ PRÁCE

Žák: Jan Trnka
Obor: 26-41-M/01 - Elektrotechnika
Školní rok: 2023/2024
Téma práce: Návrh a výroba elektrotechnického zařízení
Název práce: Meteostanice
Ved. práce: Ing. Petr Augusta, Ph.D.
Oponent: bude jmenován ředitelem školy v souladu s vyhláškou 177/2009 Sb.

| | |
|---|---|
| Termín odevzdání – řádný termín: | 1. 3. 2024 do 12:00 hodin |
| Termíny odevzdání – opravné termíny: | podzimní opravný termín: nejpozději poslední pracovní den v červnu do 12:00 hodin |
| | jarní opravný termín: nejpozději první pracovní den v březnu do 12:00 hodin |
| Délka obhajoby maturitní práce před maturitní komisí: | 15 minut včetně doplňujících otázek |

Poučení: *Dle vyhlášky 177/2009 Sb. § 15 odst. 7 – Neodevzdá-li žák pro vážné důvody práci v termínu stanoveném podle odstavce 1 písm. b), omluví se písemně řediteli školy nejpozději v den stanovený pro odevzdání maturitní práce; uzná-li ředitel školy omluvu žáka, určí žákovi náhradní termín pro odevzdání maturitní práce. Pokud žák maturitní práci neodevzdá v termínu podle odstavce 1 písm. b) bez písemné omluvy s uvedením vážných důvodů nebo pokud mu omluva nebyla uznána, posuzuje se, jako by danou zkoušku vykonal neúspěšně.*

Dle školského zákona č. 561/2004 Sb. § 79 odst. 7 - Profilová část maturitní zkoušky je veřejná s výjimkou zkoušek konaných formou písemné zkoušky a jednání zkušební maturitní komise o hodnocení žáka; zkoušky konané formou praktické zkoušky jsou neveřejné v případech, kdy je to nutné z důvodu ochrany zdraví, bezpečnosti práce a u zdravotnických oborů také z důvodu ochrany soukromí pacienta.

Pokyny pro vypracování:

- návrh a realizace mechanické části meteostanice s externí jednotkou
- návrh a realizace elektrického zapojení dvou jednotek meteostanice, vnitřní se senzory teploty, vlhkosti, koncentrace oxidu uhličitého, s displejem a přijímačem, vnější se senzory teploty, vlhkosti, s anemometrem a vysílačem včetně napájení
- návrh a realizace programu pro provoz meteostanice se všemi senzory a displejem, pro komunikaci mezi jednotkami a pro export dat na webserver (teplota, vlhkost, CO2, rychlosť větru a stav akumulátoru venkovní stanice)
- vypracování rešerší pro seznámení s řešenou tématikou V práci musí být vypracovány rešerše v takovém rozsahu, aby byla odůvodněna každá část návrhu od volby koncepce řešení až po volbu jednotlivých komponent, či návrh programu. Zároveň práce nesmí obsahovat rešerše nadbytečné, které s návrhem nesouvisí. Minimální počet rešerší jsou dvě.
- vytvoření technické dokumentace umožňující reprodukci navrženého zařízení
- pořízení fotodokumentace a videozáZNAMŮ průběžné práce z realizovaného zařízení
- plakát ve formátu A1 prezentující práci
- prezentace pro obhajobu práce

Požadavky:

- vypracování jednoduchého průzkumu trhu a stanovení základní funkce navrhovaného výrobku
- stanovení návrhových parametrů zařízení
- návrh a realizace mechanické konstrukce řešeného zařízení

- návrh a realizace elektrické části zařízení včetně plošného spoje, zapojení řídicího systému a senzorů
- návrh a realizace programu pro komunikaci řídící jednotky se zařízením
- otestování navrženého zařízení v reálných podmínkách a zhodnocení funkčnosti
- vypracování pracovních výkazů za jednotlivé měsíce, vč. nákladů na materiál do formuláře (šablony)

Hodnocení:

- výsledná známka z maturitního projektu s obhajobou se skládá z hodnocení:
 - hodnocení v závěrečném posudku vedoucího maturitního projektu
 - hodnocení v závěrečném posudku oponenta maturitního projektu
 - hodnocení obhajoby maturitního projektu před maturitní komisí

Hodnocení práce – plagiátorství:

Odevzdáné textové části práce budou posouzeny systémem na kontrolu plagiátů odevzdej.cz. V případě míry shody přesahující **15 %** bude práce posouzena předmětovou komisí a výsledek posouzení bude poté předán k rozhodnutí maturitní komise. Pokud se ukáže při hodnocení práce, či při samotné obhajobě, že je práce plagiátem, maturitní komise rozhodne, že práce bude hodnocena známkou nedostatečný.

Kritéria hodnocení maturitního projektu:

- samostatný a tvůrčí přístup k práci
- dodržování stanovených termínů
- prezentace dosažených výsledků projektu při konzultacích
- dodržení stanoveného rozsahu práce – minimálně pět citovaných zdrojů (nelze citovat web Wikipedia), alespoň dvě téma pro rešerši
- kvalita vypracovaných rešerší
- dodržení typografických pravidel
- kvalita provedení praktické části práce
- splnění pokynů k vypracování
- prezentace výsledků projektu (plakát) a schopnost obhajoby práce (prezentace)

Rozsah práce:

- minimální rozsah textové části práce (rešerše a popis praktického řešení) je 15 normostran textu (bez formálních částí – obsah, literatura atd.)
- minimální rozsah praktické části je stanoven pokyny k vypracování práce, tj. splněním cílů práce
- V případě zavedení distanční výuky, nebo nařízení karantény v předmětu Projekt, trvající déle než 45 kalendářních dnů (vč. období prázdnin), nemusí žák odevzdávat fyzický prototyp, který je součástí praktické části práce. V tomto případě bude při hodnocení kladen důraz na dokumentační část projektu (výkresy, modely, schémata, simulace, ...), podle které musí být prototyp realizovatelný.

Počet vyhotovení práce:

- maturitní práce bude odevzdána v elektronické podobě
- veškeré uložené textové dokumenty, včetně příloh (i fotodokumentace a videozáznamů), budou odevzdány v původním formátu (zdrojový formát např. .DOCX) i ve formátu .PDF.
- textová část dokumentu bude obsažena v jednom souboru a bude obsahovat všechny formální části (titulní strana, anotace, obsah atd.), pro zadání bude v dokumentu jedna nečíslovaná stránka
- elektronická verze práce (včetně prezentace) bude uložena na Google Classroom (přesné pokyny k odevzdání budou zaslány žákům na školní email, nebo prostřednictvím IS v průběhu února 2024).

V Praze dne 29. 9. 2023

.....
Ing. Lukáš Procházka
ředitel školy

přenos dne : 6.10.2023

podpis řáda: Tomáš

Poděkování

Rád bych poděkoval své rodině za morální a finanční podporu. Dále děkuji mému vedoucímu práce Ing. Petru Augustovi, Ph.D. za cenné rady a pomoc kdykoli bylo potřeba. Mé poděkování patří také Filipu Šimurdovi za rady ohledně elektronické části, Adamovi Palečkovi za materiální podporu a Bc. Adamovi Štastnému za ochotu při vyrábění na frézce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou maturitní práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje (literaturu, projekty, SW, atd.), které jsou uvedené v seznamu literatury.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze, březen 2023

.....
Podpis autora práce

Abstrakt

Cílem této práce je navrhnout a zkonstruovat meteostanici s venkovní a vnitřní jednotkou, která měří základní meteorologická data a zpracovává je ve vnitřní jednotce. Data se budou zapisovat na microSD a zobrazovat na displeji a webserveru.

Klíčová slova: meteostanice, meteorologie, počasí, teplota, vlhkost, atmosférický tlak, CO₂, mikrokontroler, 3D modelování, elektronický papír, zobrazování dat

Abstract

The aim of this project is to design and construct a weather station with both outdoor and indoor units, measuring basic meteorological data and processing it within the indoor unit. The data will be recorded on a microSD card and displayed on a screen and web server.

Keywords: weatherstation, meteorology, weather, temperature, humidity, atmospheric pressure, CO₂, microcontroller, 3D design, e-paper, data visualization

| Obsah | |
|--|----|
| Úvod | 1 |
| 1 Meteostanice | 3 |
| 1.1 Hyundai WS 2303 černá | 3 |
| 1.2 Sencor SWS 12500 WiFi | 4 |
| 2 Displeje | 7 |
| 2.1 Segmentové a maticové LED displeje | 7 |
| 2.2 LCD | 8 |
| 2.3 OLED displeje | 10 |
| 2.4 E-ink displeje | 10 |
| 3 Měření teploty | 13 |
| 3.1 Termoelektrické | 13 |
| 3.2 Odporové | 13 |
| 4 Stanovení návrhových parametrů | 15 |
| 5 Praktická část | 17 |
| 5.1 Konstrukční část | 17 |
| 5.1.1 Ústředna | 19 |
| 5.1.2 Uchycení solárního panelu ... | 19 |
| 5.1.3 Konstrukční/mechanická část anemometru | 21 |
| 5.1.4 Radiační kryt | 22 |
| 5.2 Elektrická část | 24 |
| 5.2.1 Vnitřní jednotka | 24 |
| 5.2.2 Venkovní jednotka | 26 |
| 5.3 Programová část | 28 |
| 5.3.1 Program venkovní jednotky . | 28 |
| 5.3.2 Program vnitřní jednotky ... | 30 |
| 6 Vyhodnocení | 35 |
| 7 Závěr | 37 |
| Zdroje | 39 |
| A Obsah přiloženého .zip souboru | 43 |
| B Blokové schéma zapojení | 45 |
| C Vývojový diagram | 47 |
| C.1 Venkovní jednotka | 47 |
| C.2 Vnitřní jednotka | 48 |

Seznam obrázků

| | | | |
|--|----|----------------------------------|----|
| 1.1 meteostanice Hyundai WS 2303 [5] | 4 | 5.17 Soubor info.txt | 32 |
| 1.2 meteostanice Sencor SWS 12500 WiFi [7] | 5 | 5.18 Ukázka zápisu na SD | 32 |
| 2.1 LCD segmentový displej [11] | 7 | 5.19 Vzhled webové stránky | 33 |
| 2.2 LED 7 segmentový displej [12] | 8 | | |
| 2.3 maticový LED displej [14] | 8 | | |
| 2.4 TFT LCD 800x480 dotykový [17] | 9 | | |
| 2.5 alfanumerický LCD [15] | 9 | | |
| 2.6 OLED displej 128x64 [18] | 10 | | |
| 2.7 E-ink displej 7,5"800x480px [20] | 11 | | |
| 2.8 E-ink monitor Onyx Boox Mira PRO, 25" [21] | 11 | | |
| 5.1 Krabička vnitřní jednotky meteostanice | 17 | | |
| 5.2 Deska pro upevnění elektroniky. | 19 | | |
| 5.3 Sestava krytu na panel | 20 | | |
| 5.4 Díly pro uchycení panelu na konstrukci | 20 | | |
| 5.5 Anemometr | 21 | | |
| 5.6 Radiační kryt: sestava | 23 | | |
| 5.7 Radiační kryt: postup výroby .. | 23 | | |
| 5.8 Radiační kryt: výsledek | 23 | | |
| 5.9 Zapojení na nepájivém poli | 24 | | |
| 5.10 Osazená DPS | 25 | | |
| 5.11 Osazená DPS ze strany pájení . | 25 | | |
| 5.12 Ústředna | 26 | | |
| 5.13 Vzorové zapojení senzoru A3144 [25] | 27 | | |
| 5.14 Plošný spoj s DHT22 a rezistorem | 27 | | |
| 5.15 Pozadí displeje meteostanice .. | 31 | | |
| 5.16 Displej s vykreslenými hodnotami | 31 | | |

Úvod

V tomto projektu se budu zabývat návrhem a výrobou meteostanice, která bude měřit vnitřní a venkovní teplotu a vlhkost, koncentraci CO_2 , dále atmosférický tlak a rychlosť větru. Naměřená data zobrazí na displeji a bude je pravidelně ukládat na paměťovou kartu. Na mikrokontroleru vnitřní jednotky také poběží webserver, kde se zobrazí naměřená data a stav akumulátoru ve venkovní jednotce.

Výstupem práce bude funkční meteostanice připravená pro každodenní dlouhodobé použití. Vybral jsem si vytvoření tohoto projektu kvůli zájmu o monitorování počasí a jeho průběhu během dne, týdne, měsíce či roku. Věřím, že bude přínosný nejen pro mě.

Tento projekt je aktuální díky své schopnosti poskytovat důležitá data o počasí. V současné době, kdy jsme svědky častých extrémních změn v klimatu, je můj výrobek užitečný v každodenním životě. Bez znalosti aktuálního počasí přímo u Vás doma není možné efektivně, kvalitně a pohodlně využívat svůj čas. Navíc pomůže lépe porozumět aktuálním klimatickým podmínkám a dlouhodobým trendům.

V kapitole 5.2 o elektronické části se budu věnovat návrhu zapojení senzorů a prvků v obou jednotkách, návrhu plošného spoje a jeho výrobě. V kapitole 5.1, věnující se konstrukční části, se zaměřím na modelování mechanických částí projektu a jejich výrobu. Kapitola 5.3 se věnuje programování. Zde bude nejdůležitější zprovoznit všechny senzory, zajistit komunikaci mezi venkovní a vnitřní jednotkou a zpřehlednit data uživateli. Nemalá část bude patřit také zobrazování dat na displeji a webserveru a jejich export na paměťovou kartu.

Kapitola 1

Meteostanice

Meteostanice je zařízení, které pomocí řady čidel a senzorů sleduje a analyzuje počasí [1]. V České republice existuje síť automatizovaných meteostanic, kterou spravuje Český hydrometeorologický úřad. Z naměřených meteorologických dat se tvoří numerické modely, díky nimž je možné předpovídат počasí [2]. Jednotlivé stanice měří především teplotu vzduchu, vlhkost vzduchu, atmosférický tlak, rychlosť a smer vetrovi, úhrn srážek a další. Pro možnosť sjednocení a porovnání hodnot mezi různými meteostanicemi existuje dohoda například pro umístění měřicích přístrojů. Čidla pro měření teploty, vlhkosti a atmosférického tlaku jsou umístěna v takzvaném radiačním krytu, ve kterém jsou chráněna před slunečním svitem [2]. Pro správné měření však musí být skrz kryt umožněno proudění vzduchu. Teplota vzduchu se většinou měří ve výšce 2 metry nad zemí s rozlišením 0,1 °C. Naměřený atmosférický tlak se kvůli porovnání na více místech přepočítává na tlak v úrovni hladiny moře, jelikož na stejném místě se atmosférický tlak mění v závislosti na nadmořské výšce [2].

Kromě těchto profesionálních meteostanic však existuje nespočet dalších, ať už amatérských, nebo komerčně vyráběných zařízení pro domácí použití fungujících na podobném principu. Takové meteostanice nabízí například výrobci: Sencor, GARNI, EMOS, ThermoPro, Hyundai a další [3]. Pro porovnání jsem vybral následující:

1.1 Hyundai WS 2303 černá

Meteostanice nabízí animovanou předpověď počasí na nejbližší hodiny, měří venkovní i vnitřní teplotu a venkovní vlhkost. Uchovává v paměti maximální a minimální hodnoty vnitřních i venkovních senzorů. Předpověď i aktuální data, fáze Měsíce a přesný čas řízený rádiovým signálem se zobrazují na barevném LCD displeji na vnitřní jednotce, kterou můžete vidět na obrázku 1.1. Naměřená venkovní data se do vnitřní jednotky přenáší rádiovým signálem (433 MHz). Napájení vnitřní jednotky je řešeno adaptérem ze sítě. Venkovní jednotka je napájena dvěma 1,5V AAA bateriemi [4]. Cena je 999 Kč



Obrázek 1.1: meteostanice Hyundai WS 2303 [5]

1.2 Sencor SWS 12500 WiFi

Základem meteostanice je hlavní jednotka, která nabízí přehledná data na displeji a uživatelská tlačítka (obr. 1.2). K hlavní jednotce lze připojit až 7 bezdrátových vnitřních čidel, měřících teplotu a vlhkost a jednu venkovní jednotku 7v1, která měří teplotu, vlhkost, tlak, rychlosť a směr větru, intenzitu světla, intenzitu UV záření a srážky. Naměřené údaje se prostřednictvím WiFi posílají do řídicí jednotky, která je zobrazuje a vytváří předpověď počasí na 12 až 24 hodin dopředu [6].

Veškerá data jsou dostupná online v mobilní aplikaci, meteostanice podporuje veřejné platformy Weathercloud, Weather Underground a Počasí Meteo, do kterých jsou zapojeni uživatelé z celého světa a přispívají daty ze svých stanic. Cena je 4799 Kč [6].

1.2. Sencor SWS 12500 WiFi



Obrázek 1.2: meteostanice Sencor SWS 12500 WiFi [7]

Kapitola 2

Displeje

„V dnešní době jsou displeje a obrazovky naprosto neoddělitelnou součástí moderního života. Vždyť do nich koukáme po většinu každého dne! [8]“ Displej je zařízení, které zobrazuje informace (text, obrázky, znaky). Druhů displejů existuje opravdu spousta, například elektromechanické (překlápací, terčíkové, segmentové) [9], segmentové LED displeje a LED maticové displeje, LCD, OLED displeje, E-ink displeje a další. Základní parametry displejů jsou: úhlopříčka, rozlišení (počet pixelů, které dokáže zobrazit), obnovovací frekvence, odezva, jas a kontrast, barevná reprodukce a povrchová úprava [8].

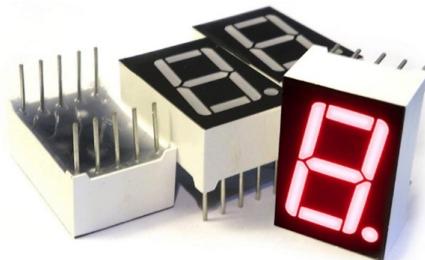
2.1 Segmentové a maticové LED displeje

Segmentové displeje umožňují zobrazit číslice, znaky nebo symboly. Lze ovládat pouze jednotlivé segmenty, předurčené z výroby. Používají se v elektronických zařízeních, jako jsou měřící přístroje, hodiny, kalkulačky a další. Nejčastější typy jsou LCD segmentové displeje (viz obr. 2.1) a LED segmentové displeje (viz obr. 2.2) [10].



Obrázek 2.1: LCD segmentový displej [11]

Maticové displeje se skládají z maticově uspořádaných LED. Používají se například jako informační tabule (viz obr. 2.3) [13].



Obrázek 2.2: LED 7 segmentový displej [12]



Obrázek 2.3: maticový LED displej [14]

2.2 LCD

LCD (Liquid Crystal Display) funguje na principu tekutých krystalů, které jsou vloženy mezi dvě elektrody a polarizační filtry. Po připojení napájení na elektrody se uspořádání krystalů natáčí a tím mění své optické vlastnosti. U barevných LCD se každý pixel dělí na 3 buňky - červenou, zelenou a modrou, přičemž u každé z nich lzeší díky natáčení krystalů zvlášť měnit jas.

Využívají se jako obrazovky monitorů, televizí a různých přístrojů [15]. Příklad takového displeje můžete vidět na obrázku 2.4. Na principu tekutých krystalů funguje také velká část segmentových displejů a znakových displejů s maticovými poli viz obr. 2.5. V dnešní době jsou větší obrazovky (ne ty segmentové) často nahrazovány OLED displeji - viz kapitola 2.3. Výhodou větších LCD obrazovek je, že jsou velmi ploché a mají poměrně nízkou spotřebu. Problémem těchto displejů je kontrast v tmavších barvách. Krystaly nedokáží zastavit všechno světlo, tudíž místo černé barvy zobrazí tmavý odstín šedé [16].



Obrázek 2.4: TFT LCD 800x480 dotykový [17]



Obrázek 2.5: alfanumerický LCD [15]

■ 2.3 OLED displeje

OLED (Organic Light Emitting Diode) je jedna z nejnovějších zobrazovacích technologií. Využívá technologii organických elektroluminescenčních diod [16]. Zde na rozdíl od LCD funguje každý pixel jako nezávislý zdroj světla. To umožňuje vyšší kontrast a úsporu energie. OLED displeje se používají v mobilních telefonech, monitorech, televizích a v mnoha dalších přístrojích (obr. 2.6). Nevýhodou těchto displejů je vypalování pixelů. Pokud bude pořád ve stejné části displeje dlouho svítit například nějaký znak, bude mírně vidět i po vypnutí obrazovky, nebo změně obrazu.



Obrázek 2.6: OLED displej 128x64 [18]

■ 2.4 E-ink displeje

E-ink, E-paper, nebo také elektronický papír je technologie displeje, která se vzhledem velmi podobá klasickému papíru (obr. 2.7). Na rozdíl od většiny jiných způsobů zobrazování, kde jednotlivé pixely vyzářují světlo, zde pixely světlo pouze odráží (jako u obyčejného papíru s inkoustem). Tyto displeje jsou velmi úsporné, elektrickou energii potřebují jen při překreslení [19]. Takové překreslení ale většinou trvá kolem 1 až 3 sekund, proto nejsou vhodné pro aplikace, kde je potřeba rychlá obnovovací frekvence. Další nevýhodou je malá škála barev. Často mají k dispozici pouze pár odstínů šedé, avšak barevné displeje už také nejsou neobvyklé. Poměrně dlouhou dobu se používají v elektronických čtečkách knih, nově také v supermarketech jako elektronické cenovky a začínají se objevovat v chytrých zařízeních jako jsou hodinky, mobilní telefony a monitory (viz obrázek 2.8).



Obrázek 2.7: E-ink displej 7,5" 800x480px [20]



Obrázek 2.8: E-ink monitor Onyx Boox Mira PRO, 25" [21]

Kapitola 3

Měření teploty

Měření teploty vzduchu je pro meteorologii a předpověď počasí velice důležité. Teplota vzduchu se měří pomocí teploměru. Teploměry se dělí na skupiny: dilatační teploměry, elektrické teploměry, speciální teploměry a bezdotykové teploměry. Skupina dilatačních teploměrů se dále dělí dle typu na: plynové, tenzní, kapalinové, kovové. Z nichž nejznámější jsou kapalinové, které měří objem kapaliny, jenž je závislý na teplotě. Sem patří například lihový, nebo pro profesionální měření častěji používaný rtutový teploměr. Kapalinové teploměry jsou spolehlivé, přesné a levné, avšak jejich nevýhodou je křehkost a obtížnost dálkového přenosu údaje [22]. Další skupinou jsou elektrické teploměry, které se dále dělí na termoelektrické, odporové kovové, odporové polovodičové, diodové. Výstupem elektrických teploměrů je analogová hodnota v podobě elektrického napětí, které je na teplotě závislé podle určitého vztahu. Pro zpracování údaje digitálním zařízením se používají A/D převodníky.

3.1 Termoelektrické

Termoelektrické teploměry měří teplotu pomocí termoelektrických článků, které jsou vyrobeny z vodičů ze dvou různých kovů, které jsou vodivě spojeny. Při rozdílu teplot obou materiálů mezi nimi vzniká termoelektrické napětí. Zjednodušeně lze závislost termoelektrického napětí na teplotě vyjádřit lineárním vztahem. Jednotlivé termočlánky se označují velkými písmeny. Nejpoužívanější jsou články s označením T, J, X, S [22].

3.2 Odporové

Odporové teploměry se dělí na kovové a polovodičové. Kovové teploměry se vyrábí výhradně z čistých kovů. Vhodné materiály jsou například platina, nikl a měď, z nichž nejpoužívanější je díky jednodušší výrobě a její fyzické i chemické stálosti platina. Na materiálu také záleží kvůli teplotnímu součiniteli. Ten by ideálně měl být stálý a co největší. Platina je výhodná také díky jejímu z ostatních materiálů nejvyššímu měřícímu rozsahu (-200 až 850 °C) [22].

Druhou skupinou odporových teploměrů jsou polovodičové, které se dále dělí na NTC-termistory, PTC-termistory a monokrystalické senzory teploty.

3. Měření teploty

Asi nejznámějším typem jsou NTC-termistory. Vyrábí se spékáním oxidů a důležité je, že závislost odporu na teplotě není lineární. Odpor s rostoucí teplotou klesá podle určitého vztahu [22]. Pro určení teploty podle elektrického odporu NTC-termistoru je potřeba znát koeficient a daný odpor termistoru při teplotě 25 °C. Koeficient lze vypočítat, pokud známe odpor termistoru alespoň při dvou různých teplotách.

Kapitola 4

Stanovení návrhových parametrů

Cílem práce je navrhnut, sestavit a naprogramovat meteostanici vhodnou pro domácí použití. Meteostanice by měla měřit základní meteorologická data, ukládat je na mikro SD kartu a zobrazit je na displeji a na webserveru.

Chtěl bych, aby venkovní jednotka, která bude měřit teplotu, vlhkost, tlak a rychlosť větru, mohla s vnitřní jednotkou, měřící teplotu, vlhkost a koncentraci CO_2 komunikovat alespoň do vzdálenosti 50 m. Požadavky na akumulátor jsou: nízké samovybíjení, vysoká škála pracovní teploty (-15 až 50 °C). Venkovní jednotka bude napájena pouze ze 2W solárního panelu, tudíž je nutné zvolit dostatečnou kapacitu akumulátoru, aby dokázala vydržet přes noc a při oblačnosti. Pro vnitřní jednotku jsem zvolil napájení ze síťového adaptéra, mělo by stačit 5 V a 1 A.

Pro vnitřní jednotku použiji 3D vytisknou krabičku/stojánek, kde budou otvory pro napájení, mikro SD kartu a velký výřez pro displej. Konstrukce venkovní jednotky se bude skládat z vodotěsné instalační krabice (pro DPS a akumulátor), anemometru pro měření rychlosti větru, radiačního krytu se senzorem teploty i vlhkosti a solárního panelu uchyceného nad instalační krabicí. Na DPS v instalační krabici bude senzor tlaku a teploty, rádiový vysílač a solární nabíječka.

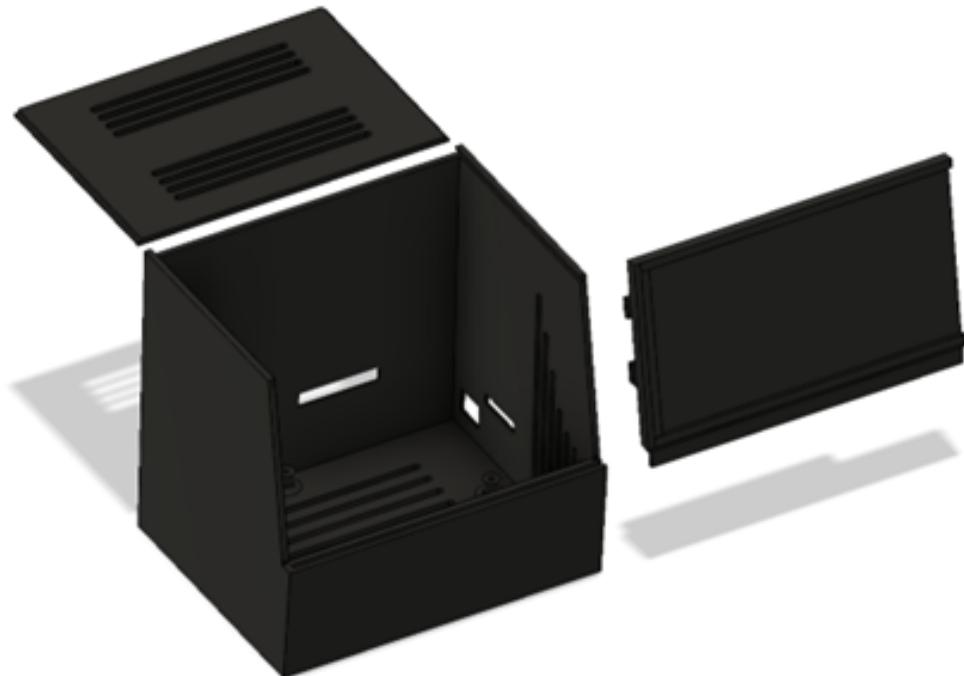
Kapitola 5

Praktická část

V této kapitole se budu věnovat postupem návrhu a výroby od samého začátku až do konečné fáze projektu. Zaměřím se na konstrukční, elektrickou i programovou část projektu a zmíním funkce, části a vlastnosti, se kterými jsem spokojený. Pozastavíme se i nad chybami, kterých nebylo málo a věcni, které by se daly v budoucnu vylepšit.

5.1 Konstrukční část

Jako všechny ostatní části se i konstrukční dělí na vnitřní a venkovní. V této podkapitole podrobně popíší postup návrhu, výroby i sestavení všech dílčích částí meteostanice. Při návrhu všech 3D objektů a sestav jsem pracoval v programu Autodesk Fusion 360 verze 2.0.18460 [23] a všechny 3D-tištěné díly jsem navrhnul a vymodeloval. Stažené modely jsou pouze kabelové průchodky, oba mikrokontrolery ESP32, BMP280, DHT22 a MH-Z19B.



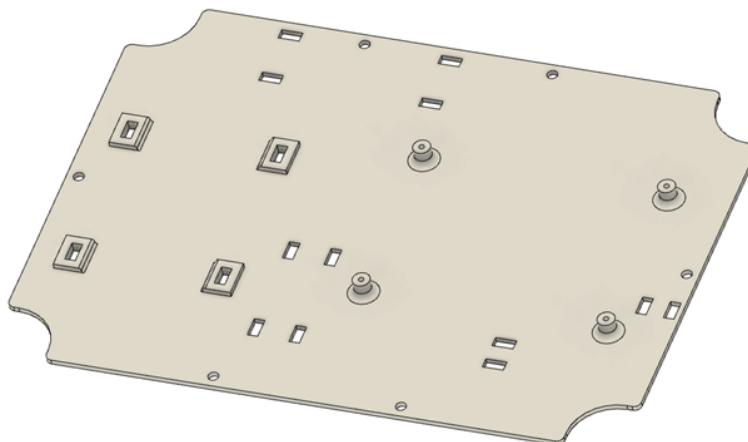
Obrázek 5.1: Krabička vnitřní jednotky meteostanice

Pro vnitřní jednotku jsem vyráběl jen jednu verzi krabičky, kterou lze vidět na obrázku 5.1. Při testování na nepájivém poli a testování různých verzí plošných spojů jsem pracoval bez konstrukčních prvků (bez krabičky). Návrh krabičky mi zabral poměrně dost času, hlavním problémem bylo umístění a přidělání displeje, protože je tenký a křehký. 3D tištěné díly bylo potřeba obrousit a upravit, ale s tím jsem musel počítat. Krabička se skládá ze 3 částí – samotná krabička, díl pro uchycení displeje a víko. V krabičce i ve víku jsou větrací otvory pro proudění vzduchu kvůli senzoru CO_2 a senzoru teploty. Dále se zde nachází otvor pro napájecí kabel microUSB, otvor pro budoucí připojení externího NTC čidla teploty, pro které ale zatím není uzpůsoben program a otvor pro vložení microSD karty. Sloupky, na které se přišroubuje deska plošných spojů, jsou zde kvůli uspořádání součástek na plošném spoji pouze tři. Pro díry ve sloupcích je nutné zvolit menší průměr, aby se při šroubování mohl vytvořit závit. Všechny tři části vnitřní krabičky jsem tisknul z černého materiálu PLA, protože je dostupný a jeho vlastnosti na toto využití postačí. Následně jsem ořezal a obrousil místa, která do sebe mají pasovat, a vše poskládal.

Pro konsrukci venkovní části meteostanice jsem kvůli jejich lehkosti, pevnosti a odolnosti proti korozi zvolil duté čtyřhranné hliníkové tyče o délce strany 15 mm a tloušťce hliníku 1 mm. Z takovýchto 5 různě dlouhých tyčí je tvořena základní kostra meteostanice, na kterou je přidělána ústředna a jednotlivé prvky se senzory. Hliníkové tyče jsou k sobě přišroubovány pozinkovanými šrouby a samojistnými maticemi M5. Pro možnost lepšího utáhnutí jsem použil i pozinkované podložky. Vrstva zinku chrání šrouby, matice a podložky před korozí. Kostra z dutých hliníkových tyčí umožňuje vedení vodičů uvnitř konstrukce, díky tomu jsou chráněny před deštěm a UV zářením a přispívá to k čistějšímu vzhledu. Konce hliníkových tyčí jsou opatřeny tištěnými plastovými krytkami.

■ 5.1.1 Ústředna

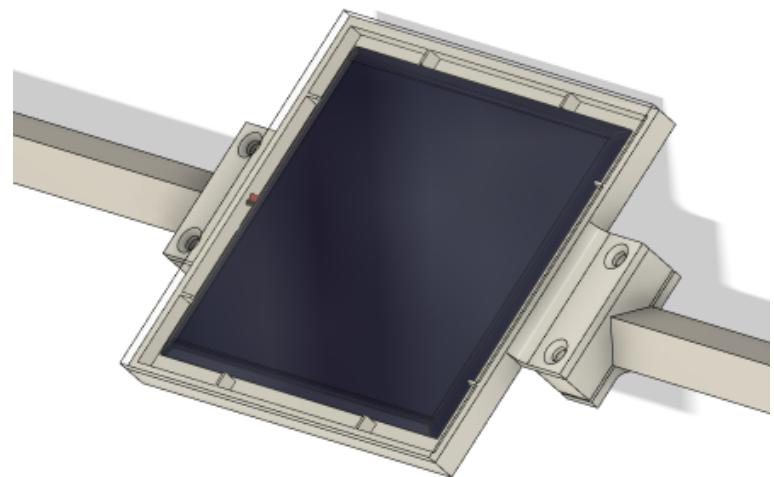
Ústřednu tvoří bílá vodotěsná instalační krabice S-BOX 416 o rozměrech 190 x 140 x 70 mm se stupněm krytí IP 65, tudíž je elektronika uvnitř chráněna před UV zářením, prachovými částicemi a samozřejmě před deštěm. Pro vstup vodičů do ústředny jsem zvolil kabelové průchodky M20, které se dají utáhnout a brání tak vniku vody a vlhkosti do krabice. Pro tyto průchodky bylo potřeba vyvrtat 2 otvory o průměru 20 mm. Ústředna je k hliníkové konstrukci přidělána pozinkovanými šrouby M5 s těsnící páskou. Pro upevnění elektronických komponent do krabice jsem navrhl desku s otvory na šroubky, sloupky pro přidělání plošného spoje a otvory na stahovací pásky, kterými se upevní akumulátor a kabely, viz obrázek 5.2. Tato deska je také vytisknuta na 3D tiskárně z bílého materiálu PETG.



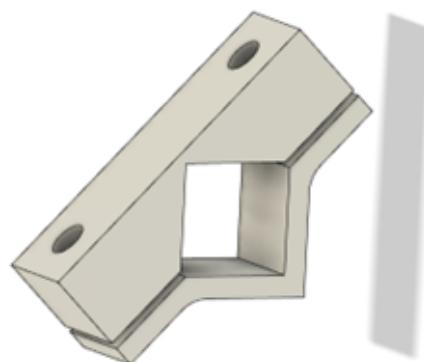
Obrázek 5.2: Deska pro upevnění elektroniky

■ 5.1.2 Uchycení solárního panelu

Solární panel je důležité umístit tak, aby byl chráněn před deštěm a kroupami, ale také aby se k němu dostávalo co nejvíce světla po co nejdelší dobu. Pro přidělání solárního panelu jsem použil 3D tištěné komponenty,plexisklo o tloušťce 3 mm, pozinkované šrouby, matičky a podložky. Celá sestava je na obrázku 5.3. Do hlavního plastového dílu jsem vložil panel a protáhl kabel otvorem. Na tento hlavní díl jsem lepidlem na plexisklo přilepil obdélník plexiskla vyřezaný na laseru. Po zaschnutí lepidla jsem mohl protáhnout kabel hliníkovou konstrukcí a kabelovou průchdkou až do instalační krabice a přichytit panel ve vyrobeném krytu na vrchní vodorovnou tyč pomocí tištěných dílů (obrázek 5.4) a čtyř šroubů. Panel je od konstrukce nakloněný pod úhlem 45°, což asi vzhledem k pozdějšímu umístění meteostanice není nejlepší možný úhel, ale je to takhle konstrukčně jednodušší. Pro pevnost uchycení je důležité, aby se díl, který objímá tyč zespoda tisknul bokem (tak aby síla při dotáhnutí šroubů neodtahovala jednotlivé vrstvy od sebe).



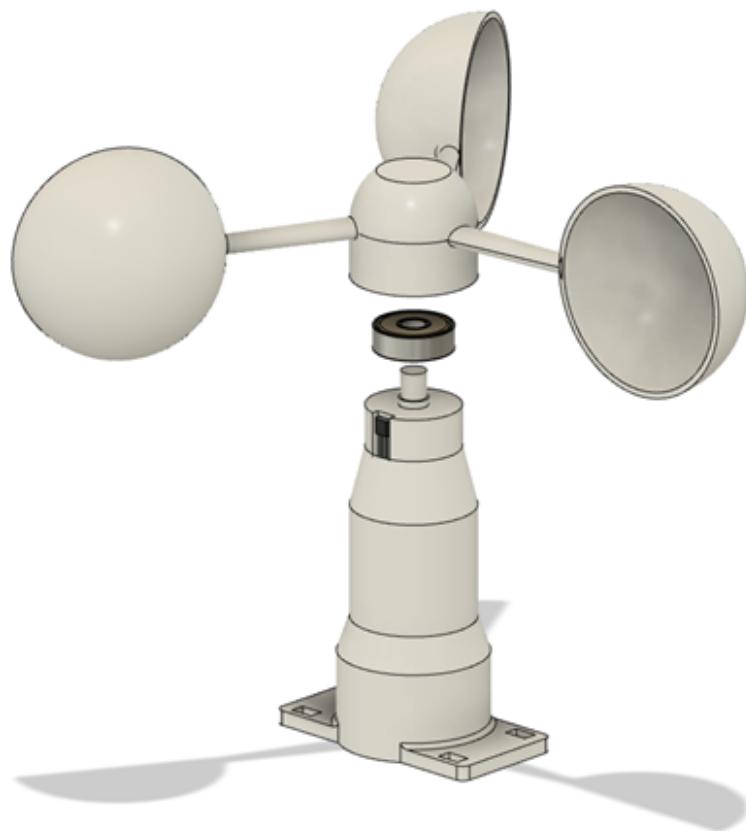
Obrázek 5.3: Sestava krytu na panel



Obrázek 5.4: Díly pro uchycení panelu na konstrukci

5.1.3 Konstrukční/mechanická část anemometru

Anemometr (obrázek 5.5) je součást meteostanice, která měří rychlosť větru. Skládá se ze: 3 tištěných dílů, ložiska, senzoru a dvou neodymových magnetů o rozměrech $3 \times 2,5 \times 1$ mm. Rotační část tvoří vrtulka se třemi kulovými kalíšky, které mají díky svému tvaru menší odpor vzduchu ve směru otáčení, než proti směru. Zevnitř rotační části se nachází magnety umístěné naproti sobě. U anemometru je důležité, aby byl umístěný v prostoru kvůli otáčení vrtulky. Při navrhování vrtulky jsem nejprve zvolil vzdálenost kalíšků od středu 35 mm a jejich vnitřní poloměr 12 mm. To se později ukázalo jako neefektivní a pro druhý a zároveň poslední model vrtulky jsem použil vzdálenost kalíšků od středu 60 mm a jejich vnitřní poloměr 20 mm. S výsledkem jsem spokojený, vrtulka je v rámci možností pevná a točí se s poměrně malým odporem. Pod rotační částí se nachází pevný díl se senzorem, ze stran utěsněným silikonem proti vodě. Tento pevný díl, na kterém je nasazené ložisko s rotační částí, je stahovacími páskami připevněn k vrchní vodorovné tyči konstrukce. Vnitřkem pevné části anemometru prochází kabel od senzoru, který z vrchu vstupuje do hliníkové konstrukce, prochází až k instalační krabici a vstupuje kabelovou průchodkou k řídicí jednotce.



Obrázek 5.5: Anemometr

■ 5.1.4 Radiační kryt

Radiační kryt, který můžete vidět na obrázcích 5.6, 5.7 a 5.8 chrání senzor teploty a vlhkosti před slunečním zářením a před deštěm. Je navržen tak, aby v něm bylo možné měřit teplotu s co nejmenší chybou, i když je na slunci. Pro jeho výrobu jsem použil závitovou tyč M4, kterou jsem nařezal na 3 stejně dlouhé kusy po 10 cm a plastové kruhové díly vytisknuté z bílého PETG. Tyto plastové „lamely“ musí být navrženy tak, aby dostatečně chránily senzor před slunečním zářením a před deštěm, ale aby jimi zároveň co nejlépe proudil vzduch. Závitové tyče jsou upevněny k vrchní stříšce a na ně se postupně navlékají kruhové obroučky strídavě s distančními sloupky. Místo jednoho sloupku jsem umístil úchyt s otvorem pro přidělání senzoru. Jako poslední je navlečený díl pro uchycení k horní tyči konstrukce a vše je utáhnuto samojistnými maticemi. Spodní díl je ke konstrukci stejně jako anemometr přidělán dvěma stahovacími páskami.

5.1. Konstrukční část



Obrázek 5.6: Radiační kryt: sestava



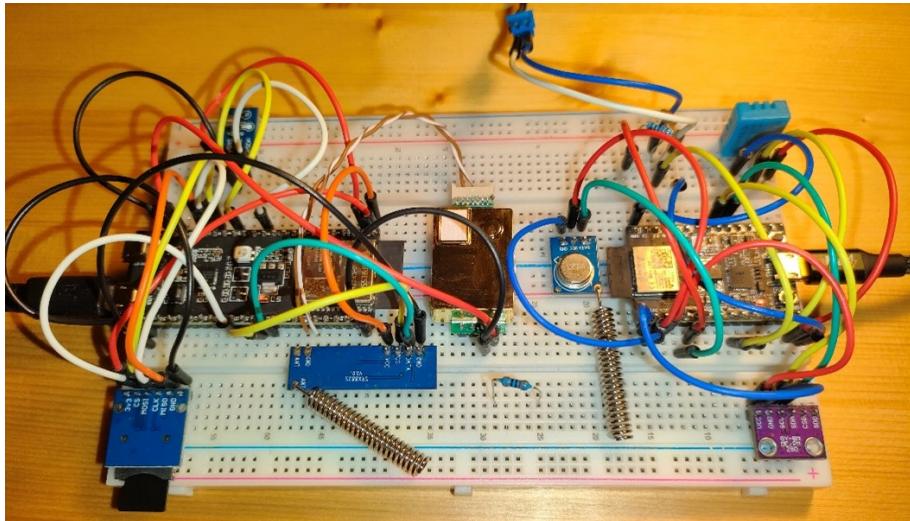
Obrázek 5.7: Radiační kryt: postup výroby



Obrázek 5.8: Radiační kryt: výsledek

5.2 Elektrická část

Tato kapitola se zabývá výběrem, návrhem a realizací všech elektronických komponent vnitřní i venkovní jednotky meteostanice. Při návrhu plošných spojů jsem pracoval v programu KiCad 7.0 [24] a při jejich výrobě v učebně 124. Plošným spojům však předcházelo testování na nepájivém poli, viz obrázek 5.9. V následujících podkapitolách podrobně popíší postup při výrobě jednotlivých elektrických částí.

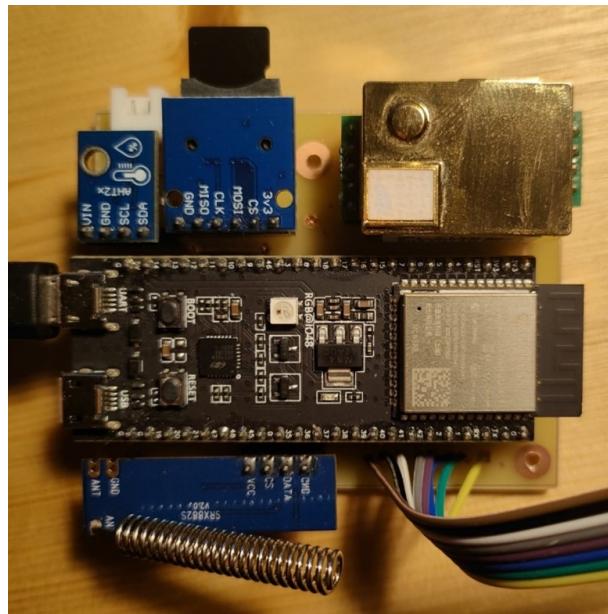


Obrázek 5.9: Zapojení na nepájivém poli

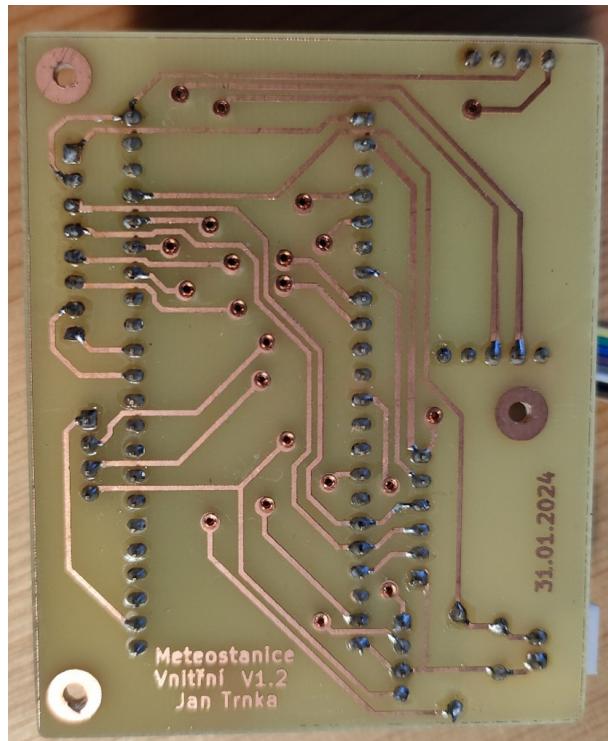
5.2.1 Vnitřní jednotka

Elektroniku vnitřní jednotky tvoří plošný spoj, na kterém se nachází hlavní řídicí jednotka ESP32s3, rádiový přijímač NiceRF 433 MHz, senzor CO_2 , senzor teploty a vlhkosti, modul pro mikroSD kartu, vývody pro displej a konektor pro budoucí připojení externího NTC čidla teploty. ESP32s3 jsem zvolil jako hlavní řídicí jednotku kvůli jeho dostatečnému počtu pinů, možnosti připojení k wifi a dalším funkcím. Pro měření koncentrace CO_2 ve vzduchu jsem pořídil MH-Z19B hlavně kvůli jeho dostupnosti a rozsahu měření (0 až 5000 ppm). Dále jako modul měření teploty a vlhkosti jsem vybral AHT21, protože je dostatečně přesný, malý a komunikuje přes sběrnici I²C. Komunikaci mezi vnitřní a venkovní jednotkou zajišťují rádiové moduly NiceRF 433 MHz. Pro tuto aplikaci jsou ideální díky svému dosahu a nízké spotřebě. Displej jsem zvolil typu E-ink, konkrétně 3,7" GDEY037T03, protože se mi líbí a myslím, že se pro tento projekt hodí. Detailně jsem tento typ displejů popisoval v kapitole 2.4 s názvem E-ink displeje.

Plošných spojů do vnitřní části jsem vyráběl několik verzí, vždy jsem něco přidal, nebo změnil rozvržení součástek. Většinu plošných spojů jsem leptal. Vyzkoušel jsem i vyrábění na frézce, ale leptané spoje se ukázaly jako lepší a spolehlivější. Poslední a použitá verze je na obrázcích 5.10 a 5.11. Detailnější informace ke všem použitým plošným spojům naleznete v příloze pod názvem Dokumentace DPS.



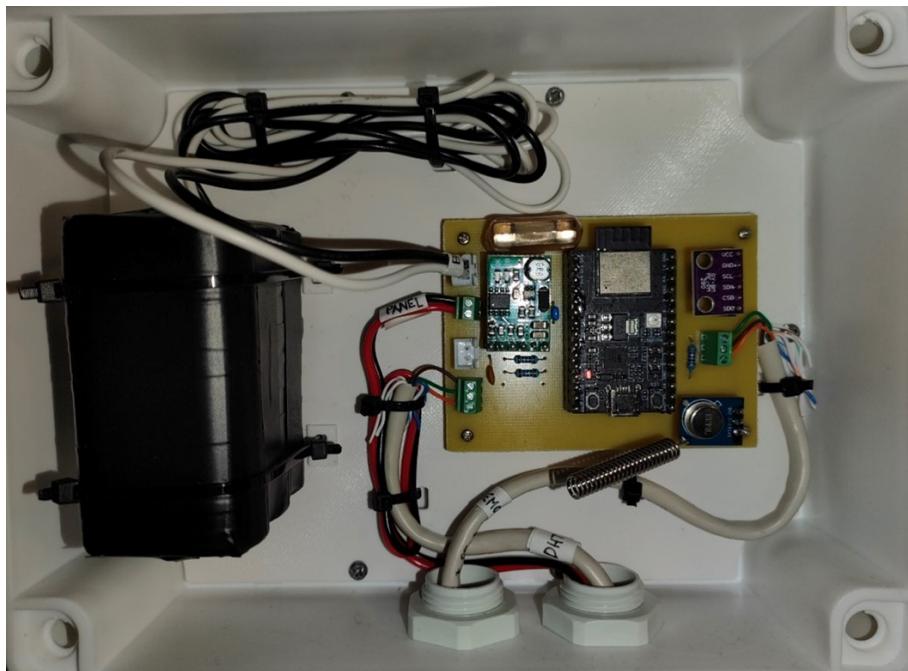
Obrázek 5.10: Osazená DPS



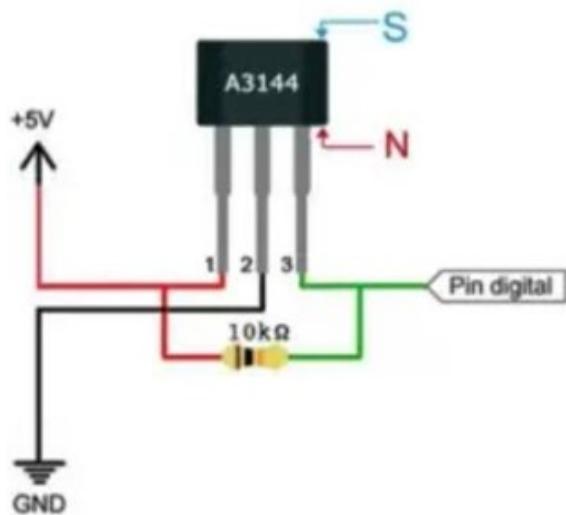
Obrázek 5.11: Osazená DPS ze strany pájení

5.2.2 Venkovní jednotka

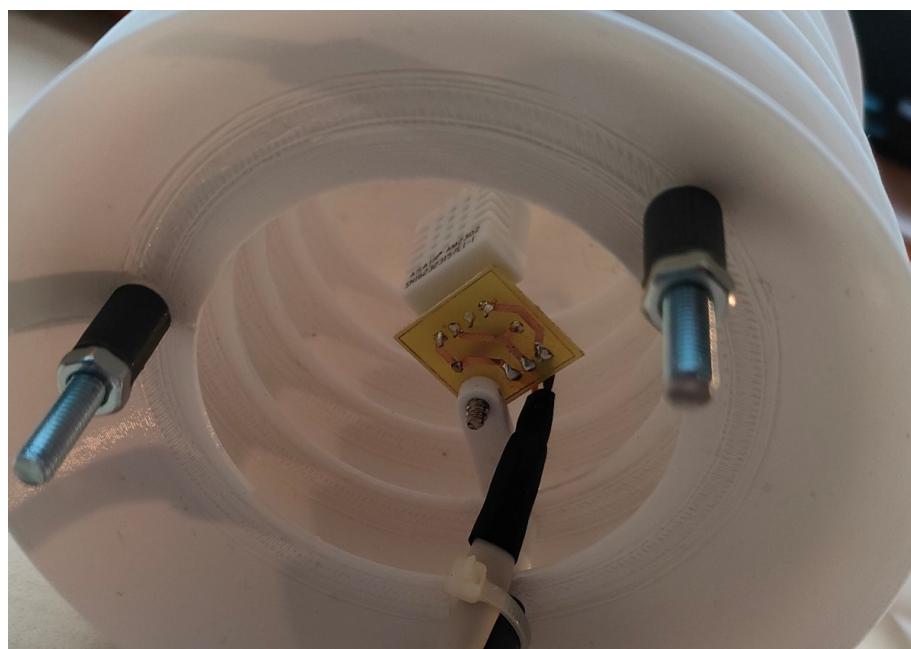
Elektroniku ve venkovní části řídí mikrokontroler ESP32c3, který je umístěný na plošném spoji spolu s modulem pro nabíjení akumulátoru ze solárního panelu a napájení 5 V. Dále se tam nachází senzor tlaku a teploty BMP280, rádiový vysílač NiceRF 433 MHz a trubičková pojistka na 200 mA. Všechny moduly jsou na desku připojené přes DuPont dutinkové lišty, aby se daly v případě potřeby vyjmout nebo vyměnit. Zjistil jsem, že obyčejné trubičkové pojistky na nižší proud (např. na 40 mA) mají odpor kolem $70\ \Omega$, takže jsou při tak malém napětí nepoužitelné. Venkovní jednotka odebírá při DeepSleep módu kolem 9 mA, v normálním režimu 34–36 mA a při odesílání dat, což trvá méně než 1 s, je nejvyšší proud 60 mA. Dále jsou na plošném spoji JST konektory pro připojení akumulátoru a NTC čidla pro měření teploty. Ani v této jednotce však není program připravený na jeho použití, ale tady k tomu nevidím zásadní důvod. Vodiče z anemometru, senzoru DHT22 a ze solárního panelu jsou připojeny do dvou a tří pinových svorkovnic s roztečí 2,54 mm. Kabely pro komunikaci s anemometrem a senzorem DNT22 jsem použil CAT5e UTP a přebytečné vodiče nejsou nikam zapojeny. Akumulátor se skládá ze 6 Li-ion článků SE US18650GR o udávané kapacitě 2600 mAh. Při průměrném odběru 13 mA by měla venkovní jednotka teoreticky vydržet bez nabíjení 50 dní. Reálně se dá počítat tak s polovinou, i kvůli tomu, že články nejsou nové, ale i tak si myslím, že je to dostačující. Na obrázku 5.12 lze vidět celou ústřednu s elektronikou a akumulátorem. Dále pak na obrázcích 5.13 a 5.14 zapojení anemometru a DHT22. Pro snímání magnetů v anemometru jsem použil Hallův senzor A3144 a oproti zapojení na obrázku 5.13 je napájený 3,3 V místo 5 V.



Obrázek 5.12: Ústředna



Obrázek 5.13: Vzorové zapojení senzoru A3144 [25]



Obrázek 5.14: Plošný spoj s DHT22 a rezistorem

5.3 Programová část

Programování meteostanice mi ze všech částí jednoznačně zabralo nejvíce času. Nejdříve jsem testoval různé prvky a senzory zvlášť a po nějaké době je dával dohromady s dalšími. Při programování mi hodně pomohlo rozdelení programu do více souborů, bez toho si to už ani nedokáži představit. Hlavně u vnitřní jednotky je kód už poměrně veliký. Při programování jsem využíval Arduino IDE 2.3.2 [26], při kreslení a generování souborů pro displej Adobe Illustrator 2023 [27] a Image2Lcd [28]. V následujících podkapitolách se pokusím popsat fungování programu a jeho tvorbu.

5.3.1 Program venkovní jednotky

Začnu programem běžícím na venkovním ESP32c3, protože je jednodušší. K hlavnímu souboru jsou připojeny 3 hlavičkové soubory – jeden pro BMP280 a DHT22, druhý pro rádiový modul a třetí obsahuje funkce pro výpočet rychlosti větru podle pulzů z anemometru. Při každém pulzu se zaznamenává pouze nástupná hrana. Měření rychlosti větru trvá obvykle 1 minutu. Pokud však není zaznamenán žádný impulz po dobu 30 sekund, měření se přeruší kvůli úspoře akumulátoru, odešlou se data a ESP32c3 se přepne do režimu spánku. Během měření se zaznamenává počet pulzů a doba mezi nimi. Z nejkratší doby mezi pulzy se na konci vypočítá nejsilnější náraz větru. Po uplynutí jedné minuty se vypočítá průměrná doba mezi pulzy a z ní průměrná rychlosť větru. Tato vypočítaná rychlosť je však pouze teoretická. V reálném prostředí totiž nikdy nebude rychlosť otáčení vrtulky stejná, jako rychlosť větru. Proto se používá kalibrační konstanta, kterou lze vypočítat z vlastností vrtulky a vzduchu (například hmotnost a tvar vrtulky, hustota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, atmosférický tlak a další). Tento výpočet je však poněkud komplikovaný, proto jsem tuto konstantu určil pomocí vypůjčeného měřícího přístroje. Více o této kalibraci popíši v kapitole 6 s názvem *Vyhodnocení*. Pro senzory teploty, vlhkosti a tlaku používám knihovny Wire.h [29], Adafruit_Sensor.h [30], Adafruit_BMP280.h [31] a DHT.h [32], Pro rádiovou komunikaci potom RH_ASK.h [33].

Na začátku programu jsou zahrnuté všechny hlavičkové soubory a je zde definovaný čas pro hluboký spánek. Dále jsou deklarovány proměnné pro naměřené hodnoty datového typu float a následuje samotná funkce void setup(), ve které se na začátku nastaví potřebné piny jako vstupy. Spustí se funkce bmp_dht_SETUP(), ve které se zahájí komunikace přes I²C a zkонтroluje připojení senzorů BMP280 a DHT22. Následuje podobná funkce NiceRF_SETUP(), v níž se inicializuje rádiový modul pro vysílání. Dále je na řadě funkce ReadWindSpeed(), ve které se po nastavený čas READING_TIME zaznamenávají nástupné hrany pulzů ze senzoru A3144 a doba mezi nimi. Po uplynutí nastaveného času se vypočítá průměrná rychlosť větru. Během nastaveného času se také ukládá nejkratší doba mezi pulzy (náraz větru). Za funkcí ReadWindSpeed() už je jen ReadSendData(), kde se naměří data z ostatních senzorů a napětí akumulátoru a vše se odešle přes rádiový modul funkci radioSend() s parametry. První parametr datového typu char je znak, který slouží k rozpoznání hodnoty ve vnitřní jednotce, každá hodnota má jiný znak (a až g). Druhý parametr datového typu float nese

naměřenou nebo v případě napětí akumulátoru a rychlosti větru vypočítanou hodnotu. Nyní je vše naměřeno a odesláno, takže už se jen nastaví časovač pro vzbuzení a ESP se přepne do režimu hlubokého spánku. Po uběhnutí časovače se vzbudí a celá funkce void setup() proběhne znovu. Funkce void loop() v tomto programu není využita (je prázdná).

5.3.2 Program vnitřní jednotky

V programu vnitřní jednotky se zpracovávají všechna data, ať už byla naměřena venku či vevnitř. Běží zde webserver, data se zapisují na mikroSD kartu a vypisují se na displej. Zatímco na webserveru najdete veškerá data, se kterými meteostanice pracuje (kromě historie, která je na paměťové kartě), na displeji jsou pouze 4 základní hodnoty. To by se určitě dalo vylepšit větším displejem, kvůli ceně jsem ale vybral menší, 3,7" (konkrétněji v kapitole 5.2.1 pod názvem Vnitřní jednotka). Na displeji se tedy zobrazují pouze: teplota uvnitř, teplota venku, koncentrace CO_2 a atmosférický tlak přepočtený na hladinu moře (viz obrázek 5.16).

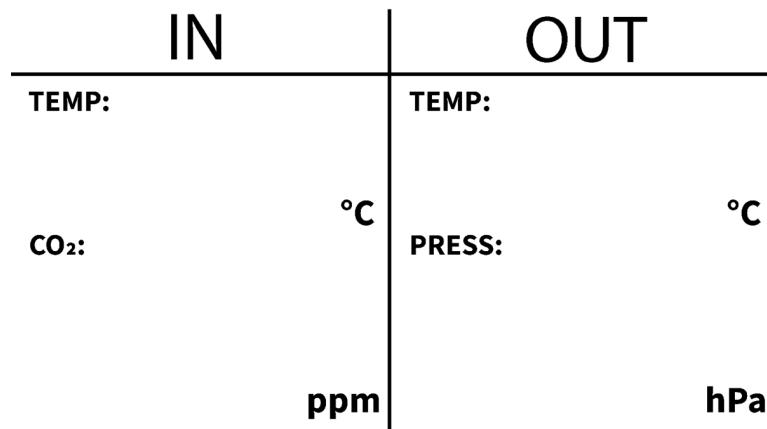
Celý program je rozdělen do 11 souborů. 5 z nich je určeno displeji, 1 pro webserver, 1 pro získávání času a funkce pro zápis na SD. Další pro rádiovou komunikaci a nakonec AHT21.h a MH-Z19B.h pro obsluhu senzorů. V celém kódu používám celkem 14 knihoven: Arduino.h, která je součástí Arduino IDE [26], SPI.h [34] pro komunikaci přes SPI, WiFi.h [35], WiFiClient.h [36], WebServer.h [37], ESPmDNS.h [38] a HTTPClient.h [39] pro wifi a webserver, FS.h [40] a SD.h [41] pro zápis na SD, time.h [42] pro získávání času ze vzdáleného serveru. RH_ASK.h [33] pro rádiový přijímač NiceRF, Errie-zMHZ19B.h [43] pro senzor CO_2 a Wire.h [29] a AHTxx.h [44] pro komunikaci se senzorem AHT21.

Na začátku hlavního souboru INO jsou zahrnuté všechny hlavičkové soubory. Následuje deklarace a definice některých proměnných, většina proměnných je ale deklarována v příslušných hlavičkových souborech. Ve funkci void setup() je zahájení sériové komunikace a inicializace senzorů, modulů a funkcí. Například microSD_SETUP() zkонтroluje přítomnost paměťové karty, zahájí komunikaci přes SPI a vytvoří soubor info.txt (obrázek 5.17), ve kterém je ukázáno pořadí zápisu jednotlivých hodnot do souborů. Po provedení všech funkcí s názvem končícím _SETUP se funkcemi read_Data() a write_Data() přečtou hodnoty ze senzorů umístěných ve vnitřní jednotce a zapíšou se na paměťovou kartu. Funkce casZapnuti() zapíše datum a čas spuštění pro průběžné zobrazení na webserveru. Dále proběhne nastavení vstupních a výstupních pinů pro displej (v kódu je popisován jako EPD – Electronic Paper Display). Následuje překreslení displeje nejprve na bílou obrazovku a poté na pozadí (obrázek 5.15). Zbývá jen nastavit interrupt pro příjem dat z rádiového modulu funkcí attachInterrupt(). Funkce Alojz() zakončující void setup() načte jednoduchou předpověď z nadšeneckého projektu Alojz.cz [45].

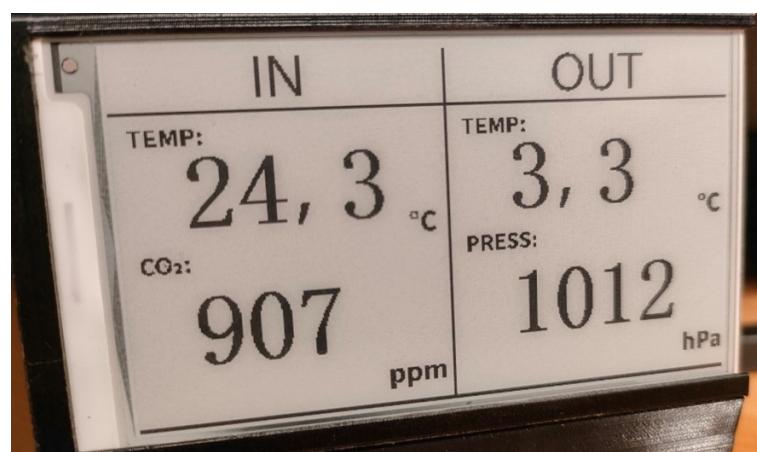
Ve funkci void loop() se jednou za určený čas naměří data ze senzorů a aktualizují se na displeji a webserveru. Pokud přijdou nová data z venkovní jednotky, přečtou se data z vnitřních senzorů a zase se zapíší na webserver a paměťovou kartu. V průběhu funkce void loop() se kontroluje webserver, aby nedocházelo k delším prodlevám.

Při programování vnitřní jednotky mi nejdéle zabralo zprovoznění displeje, protože jsem k němu nenašel žádnou grafickou knihovnu a ukázkový kód od GoodDisplay [46] uměl vypisovat jen jednu číslici na jednom místě. Nějakou dobu mi trvalo, než jsem kód alespoň z části pochopil a než jsem upravil a dopsal funkce, které vypisují čísla. Další výzvou bylo vypisování proměnných datového typu float. Hodnoty se tedy vypisují na určené souřadnice a nadpisy a jednotky jsou zakomponovány do pozadí, viz obrázek 5.15. Pozadí jsem

nejprve nakreslil v programu Adobe Illustrator 2023 [27] a exportoval jako bitmapu. Poté jsem v programu Image2Lcd [28] z bitmapy vygeneroval textový soubor s polem hexadecimálních hodnot, který se jen zkopiruje do hlavičkového souboru Pictures.h.



Obrázek 5.15: Pozadí displeje meteostanice



Obrázek 5.16: Displej s vykreslenými hodnotami

5. Praktická část

Další část programování, se kterou jsem strávil dost času bylo zapisování dat na paměťovou kartu. To probíhá ve funkci write_Data(), kde se funkci getTime() nejdříve zjistí a zapíše datum a čas. Funkce getTime() také vytvoří cestu a název souboru, protože soubory se jmennují dle data (například 23_02_2024.txt) a nachází se ve složkách s názvem podle měsíce a roku. Na každý měsíc tedy připadá jedna složka. Po funkci getTime() se všechny hodnoty zapíší do proměnné ZAPIS datového typu const char* funkcí sprintf() a proměnná ZAPIS se připíše do souboru za datum a čas. Příklad takového zápisu je na obrázku 5.18. Ve funkci write_Data() se také přepisují maximální a minimální hodnoty venkovní teploty, vlhkosti a tlaku.

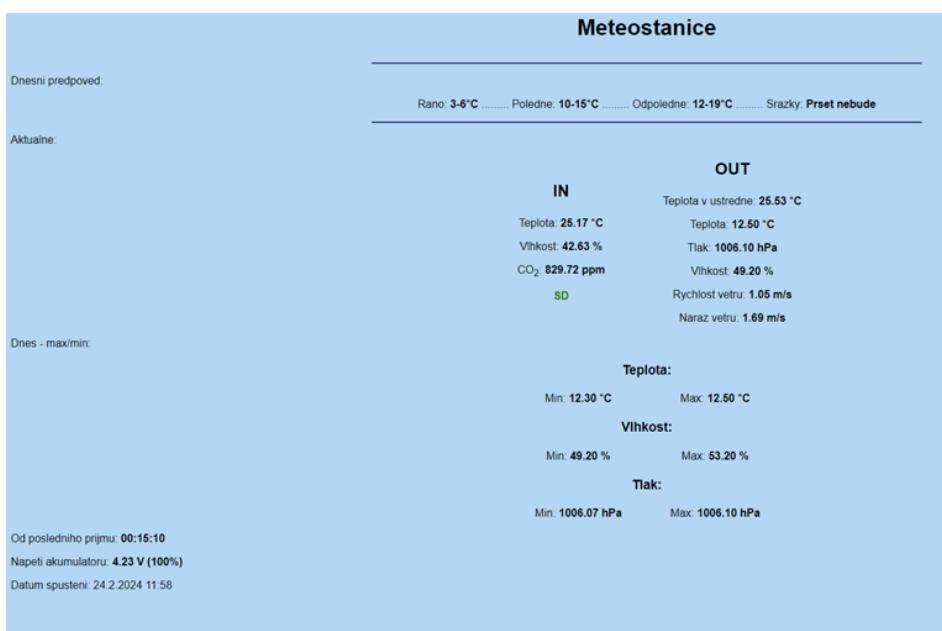
```
dd.mm.yyyy hh:mm:ss aht_temp, aht_hum, co2, bmpTeplota, bmpTlak, dhtTeplota, dhtVlhkost, rychlostVetru, narazVetru, akuVoltage
```

Obrázek 5.17: Soubor info.txt

```
24.02.2024 12:17:53 24.26 44.82 771.40 25.11 1006.07 12.30 53.20 0.66 1.56 4.21
24.02.2024 12:38:54 25.35 42.56 827.40 25.53 1006.10 12.50 49.20 1.05 1.69 4.23
24.02.2024 12:59:52 24.98 42.88 789.80 23.06 1006.35 12.70 48.40 0.56 1.10 4.26
24.02.2024 13:20:48 24.60 44.62 928.40 17.91 1006.67 13.00 49.00 0.17 0.34 4.16
24.02.2024 13:41:52 26.37 41.21 1033.80 20.57 1006.37 11.10 49.50 0.33 1.11 4.17
24.02.2024 14:02:48 24.01 44.59 817.80 15.97 1006.60 12.90 45.10 0.22 0.71 4.13
24.02.2024 14:23:53 24.07 44.41 598.00 15.97 1006.31 11.00 49.60 0.63 1.43 4.24
24.02.2024 14:45:00 24.05 44.31 699.20 23.00 1006.24 12.30 46.10 0.25 0.66 4.23
24.02.2024 15:06:06 24.36 43.41 669.20 26.17 1006.22 14.50 39.80 0.78 1.71 4.23
24.02.2024 15:27:07 24.16 43.48 639.20 26.17 1006.22 14.50 40.40 0.05 0.21 4.14
24.02.2024 15:48:24 23.52 44.67 607.80 16.26 1007.18 12.50 42.90 0.09 0.39 4.13
```

Obrázek 5.18: Ukázka zápisu na SD

Třetí zásadní část programování je funkčnost a vzhled webserveru. Vše týkající se webserveru je v hlavičkovém souboru Webserver.h. Velkou část tohoto souboru tvoří samotný HTML kód a v další části je funkce Alojz(), která získává jednoduchou předpověď počasí. Webová stránka, viz obrázek 5.19, se dělí na 4 bloky hodnot. Hned pod nadpisem se nachází předpověď a pod předpovědí jsou aktuální data z meteostanice rozdělena do dvou sloupců (vnitřní a venkovní). Ve sloupečku vnitřních hodnot se nachází také indikátor SD karty, pokud je zelený, vše funguje tak, jak má. Červená znamená chybu zápisu, nebo že karta není vložena. Pod aktuálními hodnotami je tabulka maximálních a minimálních hodnot venkovní teploty, vlhkosti a tlaku a dole vlevo jsou základní informace o chodu meteostanice (uběhlý čas od posledního příjmu hodnot z venkovní jednotky, stav akumulátoru a datum spuštění).



Obrázek 5.19: Vzhled webové stránky

Kapitola 6

Vyhodnocení

Obě jednotky meteostanice jsem testoval v průběhu výroby. vnitřní i venkovní jednotku jsem několikrát nechal společně běžet celý den, někdy i přes víkend. V průběhu jsem kontroloval zápis na paměťovou kartu a vylepšoval vzhled a vlastnosti webserveru. Kalibraci anemometru jsem prováděl pomocí vypůjčeného anemometru, který byl součástí sady Voltcraft UM5/1 100. Měření jsem provedl vícekrát a pokaždé s jinou rychlosí větru. Při každém měření vyšla odchylka trochu jinak. Přibližně se z toho ale dá určit konstanta 2,7 pro korekci rychlosti větru. Během měření se tedy naměřená rychlosť otáčení vrtulky vynásobí touto konstantou a vyjde přibližná rychlosť větru.

Venkovní i vnitřní jednotka fungují podle zadání, dosah rádiové komunikace je dostatečný. Akumulátor se při chodu stihá dobíjet solárním panelem. Vnitřní jednotka zpracovává a zobrazuje data. Anemometr se točí nad má očekávání, ložisko má velmi nízké tření. S radiačním krytem jsem také spokojený, myslím, že plní svůj účel. I přes všechny tyto úspěchy je tu však samozřejmě několik věcí, které by se daly vylepšit nebo přidat. Z těch hlavních mi na meteostanici chybí měření úhrnu srážek a měření směru větru. Dále by se také dalo vylepšit zpracování i zobrazení naměřených dat (například nějaké grafy).

Do obou jednotek jsem chtěl přidat možnost připojit NTC teplotní čidlo, kdyby bylo potřeba měřit na dalším místě. Hlavně u vnitřní jednotky by to bylo užitečné. Narazil jsem ale na problém s AD převodníkem. U obou mikrokontrolerů ESP32 je velmi nepřesný. Šum pomohl vyřešit kondenzátor a průměrování několika naměřených hodnot. ADC ale není po celém rozsahu dokonale lineární. Při měření napětí akumulátoru to není takový problém. Akumulátor je připojený přes odporový dělič 1:2 a napětí na GPIO pinu tedy nabývá hodnot od 1,85 do 2,1 V, což je ještě v prostředním pásmu, kde je charakteristika ADC lineární. I tak je potřeba k hodnotě přičíst konstantu, protože je zde mírný offset. při měření odporu NTC čidla by se napětí pohybovalo ve větším rozsahu a jednoduchá konstanta pro korekci už by nestačila. Řešením je vytvořit takzvanou Look Up Table, která by každou hodnotu z ADC (2^{12}) přiřadila ke správné hodnotě napětí.

Kapitola 7

Závěr

Cílem této práce bylo navrhnut, zkonstruovat a naprogramovat meteostanici, která měří základní meteorologické veličiny. Meteostanice měří vnitřní a venkovní teplotu, vnitřní a venkovní vlhkost, koncentraci CO_2 , atmosférický tlak, rychlosť větru a stav akumulátoru. Naměřená data zpracovává, zapisuje na paměťovou kartu a zobrazuje na displeji i webserveru. Splňuje tedy zadání. S výsledkem jsem spokojený, avšak je tu dost věcí, které bych chtěl do budoucna přidat či vylepšit. Po tomto školním roce plánuji mít meteostanici doma na zahradě a dále ji vyvíjet po hardwarové i softwarové stránce. Do budoucna bych chtěl přidat například část na měření úhrnu srážek. Tento senzor funguje na principu kolébky, do které stéká voda z nálevky. Když se půlka kolébky naplní, překlopí se a plní se druhá půlka. Při každém překlopení by se magnet na kolébce přiblížil ke stejnemu senzoru jako v anemometru. Podle počtu pulzů, času, prostoru nálevky a objemu kolébky by bylo možné vypočítat aktuální úhrn srážek za nějaký čas. Dále bych rád přidal měření směru větru a naprogramoval LUT (Look Up Table) pro zpřesnění měřených hodnot ADC. Práce na tomto projektu mi zcela jistě přinesla mnoho zkušeností, ať už v elektronice, programování, nebo 3D návrhu. Zlepšil jsem se v modelování i v samotném návrhu a konstruování. I když to možná nevypadá, vývojem této meteostanice jsem strávil neskutečné množství času. A tak doufám a věřím, že jsem při tom zlepšil své schopnosti a naučil se něco nového a užitečného.

Zdroje

- [1] Jiří V. Matýsek. *Jak vybrat (chytrou) meteostanici?*. Internetový článek. Dostupné z: <https://www.alza.cz/jak-vybrat-chytrou-meteostanici> [cit. 2024-02-28].
- [2] Bc. Petr Chytra. *Návrh a realizace mobilní meteostanice*. Diplomová práce. Dostupné z: https://theses.cz/id/sv3z0w/Chytra_Petr_2022_DP.pdf [cit. 2024-02-28].
- [3] *Meteostanice*. Internetový článek. Dostupné z: <https://www.alza.cz/meteostanice/18851185.htm> [cit. 2024-02-28].
- [4] *Meteorologická stanice Hyundai WS 2303*. Internetová stránka. Dostupné z: <https://www.hyundai-electronics.cz/products/meteorologicka-stanice-hyundai-ws-2303-cerna-hyuws2303> [cit. 2024-02-28].
- [5] *Hyundai WS 2303*. Obrázek. Dostupné z: https://www.bscom.cz/meteostanice-hyundai-ws-2303-cerna-hyuws2303_d586073/ [cit. 2024-02-28].
- [6] *SWS 12500 WIFI WIFI PROFESIONÁLNÍ METEOROLOGICKÁ STANICE*. Internetová stránka. Dostupné z: https://www.sencor.cz/profesionalni-meteorologicka-stanice/sws-12500?gclid=Cj0KCQjwhL6pBhdjARIaGx8D5_3TnIyIIkx4KSE45aMHz_K934oUZaL_29lp6Clv0734jhufebWV7waApUaEALw_wcB [cit. 2024-02-28].
- [7] *SWS 12500 WIFI*. Obrázek. Dostupné z: <https://www.sencor.cz/Sencor/media/static-media/8c5ee219-66e4-4da8-8fc1-e87f2de5c32d@w800.webp> [cit. 2024-02-28].
- [8] Jan Šimečík. *Displej: Jak vlastně funguje a jaké jsou jeho typy a parametry?*. Internetový článek. Dostupné z: <https://topy.cz/pojmy/displej/> [cit. 2024-02-28].
- [9] *Elektromechanické displeje*. Internetový článek. Dostupné z: <http://www.plc-automatizace.cz/knihovna/hmi/technologie/mechanicke.htm> [cit. 2024-02-28].
- [10] *Zobrazovací jednotky*. Internetový článek. Dostupné z: <http://old.spsemoh.cz/vyuka/zel/zobrazovaci-jednotky.htm> [cit. 2024-02-28].

- [11] *Kladný 7 segmentový TN LCD displej*. Obrázek. Dostupné z: <https://sk.enrichlcddisplay.com/lcd/segment-lcd/positive-7-segment-tn-lcd-panel-display.html> [cit. 2024-02-28].
- [12] Elektrolab. *ROZDELENIE, PRINCÍP A FUNKCIA 7 SEGMENTOVÉHO displeja*. Internetový článok. Dostupné z: <https://www.elektrolab.eu/blog/rozdelenie-princip-a-funkcia-7-segmentoveho-displeja> [cit. 2024-02-28].
- [13] Martin Sejkora. *Maticový LED displej*. Středoškolská technika 2016, ČVUT. Dostupné z: http://stretech.fs.cvut.cz/2016/sbornik_2016/a-CD-stretech2016/Pardubice-Sejkora-Maticová_20displej.pdf [cit. 2024-02-28].
- [14] *Maticový displej*. Obrázek. Dostupné z: https://www.tetronik.cz/produkty/produkt/6_displeje?parent=1 [cit. 2024-02-28].
- [15] *Displeje LCD*. Internetový článok. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/627> [cit. 2024-02-28].
- [16] Michal Křížek. *Zobrazovací grafická zařízení*. Bakalářská práce. Dostupné z: <https://theses.cz/id/fegqtw/69380-157735417.pdf> [cit. 2024-02-28].
- [17] *5" palcový TFT LCD displej 800x480 40pin dotyk*. Obrázek. Dostupné z: <https://www.briv.cz/p/5128/5-palcovy-tft-lcd-displej-800x480-40pin-dotyk> [cit. 2024-02-28].
- [18] *EA OLED128-6GGA - OLED Display 128 x 64 Žlutý, Display Visions*. Obrázek. Dostupné z: <https://www.distrelec.cz/cs/oled-display-128-64-zluty-display-visions-ea-oled128-6gga/p/30108668> [cit. 2024-02-28].
- [19] Jan Šimečík. *Elektronický papír: Co je e-ink displej a jaké je jeho využití?*. Internetový článok. Dostupné z: <https://topy.cz/ctecky-knih/elektronicky-papir-e-ink/> [cit. 2024-02-28].
- [20] *E-Ink 7,5" 800x480px*. Obrázek. Dostupné z: <https://botland.cz/e-papir-displeje/9891-e-papir-e-ink-75-800x480px-displej-s-prekrytim-hat-pro-raspberry-pi-waveshare-13504-5904422338558.html> [cit. 2024-02-28].
- [21] *ONYX BOOX MIRA PRO 25,3*
Obrázek. Dostupné z: <https://www.ebook-ctecky.cz/onyx-boox-mira-pro-25-3-stojan#tb1=1> [cit. 2024-02-28].
- [22] *Měření teploty*. Internetový článok. Dostupné z: <https://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k43-tepl.htm> [cit. 2024-02-28].
- [23] Autodesk. *Autodesk Fusion 360*. Software. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription> [cit. 2024-02-28].

- [24] *KiCad 7.0*. Software. Dostupné z: <https://www.kicad.org> [cit. 2024-02-28].
- [25] *A3144 Hall Effect Sensor Pinout*. Obrázek. Dostupné z: <https://www.jakelectronics.com/subject/a3144-hall-effect-sensor-datasheet-circuit-and-pinout> [cit. 2024-02-28].
- [26] Arduino. *Arduino IDE 2.3.2*. Software. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/software> [cit. 2024-02-28].
- [27] Adobe. *Adobe Illustrator*. Software. Dostupné z: <https://www.adobe.com/cz/products/illustrator.html> [cit. 2024-02-28].
- [28] *Image2Lcd Ver3.2*. Software. Dostupné z: https://www.e-paper-display.com/download_detail/downloadsId=625.html [cit. 2024-02-28].
- [29] Wire. Knihovna. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/wire/> [cit. 2024-02-28].
- [30] Adafruit Industries. *Adafruit_Sensor*. Knihovna. Dostupné z: https://github.com/adafruit/Adafruit_Sensor/blob/master/Adafruit_Sensor.h [cit. 2024-02-28].
- [31] Adafruit Industries. *Adafruit_BMP280_Library*. Knihovna. Dostupné z: https://github.com/adafruit/Adafruit_BMP280_Library [cit. 2024-02-28].
- [32] *DHT sensor library*. Knihovna. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/dht-sensor-library/> [cit. 2024-02-28].
- [33] Paul Stoffregen. *RH_ASK*. Knihovna. Dostupné z: https://github.com/PaulStoffregen/RadioHead/blob/master/RH_ASK.h [cit. 2024-02-28].
- [34] *SPI*. Knihovna. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/spi/> [cit. 2024-02-28].
- [35] WiFi. Knihovna. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/wifi/> [cit. 2024-02-28].
- [36] Espressif Systems. *WiFiClient*. Knihovna. Dostupné z: <https://github.com/espressif/arduino-esp32/blob/master/libraries/WiFi/src/WiFiClient.h> [cit. 2024-02-28].
- [37] Espressif Systems. *WebServer*. Knihovna. Dostupné z: <https://github.com/espressif/arduino-esp32/blob/master/libraries/WebServer/src/WebServer.h> [cit. 2024-02-28].
- [38] Espressif Systems. *ESPmDNS*. Knihovna. Dostupné z: <https://github.com/espressif/arduino-esp32/blob/master/libraries/ESPmDNS/src/ESPmDNS.h> [cit. 2024-02-28].
- [39] Espressif Systems. *HTTPClient*. Knihovna. Dostupné z: <https://github.com/espressif/arduino-esp32/blob/master/libraries/HTTPClient/src/HTTPClient.h> [cit. 2024-02-28].

- [40] Espressif Systems. *FS*. Knihovna. Dostupné z: <https://github.com/espressif/arduino-esp32/blob/master/libraries/FS/src/FS.h> [cit. 2024-02-28].
- [41] Arduino Libraries. *SD*. Knihovna. Dostupné z: <https://github.com/arduino-libraries/SD> [cit. 2024-02-28].
- [42] *time*. Knihovna. Dostupné z: https://www.tutorialspoint.com/c_standard_library/time_h.htm [cit. 2024-02-28].
- [43] Erriez. *ErriezMHZ19B*. Knihovna. Dostupné z: <https://github.com/Erriez/ErriezMHZ19B> [cit. 2024-02-28].
- [44] enjoyneering. *AHTxx*. Knihovna. Dostupné z: <https://github.com/enjoyneering/AHTxx/blob/main/src/AHTxx.h> [cit. 2024-02-28].
- [45] Alojz. Internetová stránka. Dostupné z: <https://alojz.cz/praha> [cit. 2024-02-28].
- [46] GoodDisplay. *E-Paper Library*. Ukázkový kód. Dostupné z: <https://www.good-display.com/companyfile/24/> [cit. 2024-02-28].

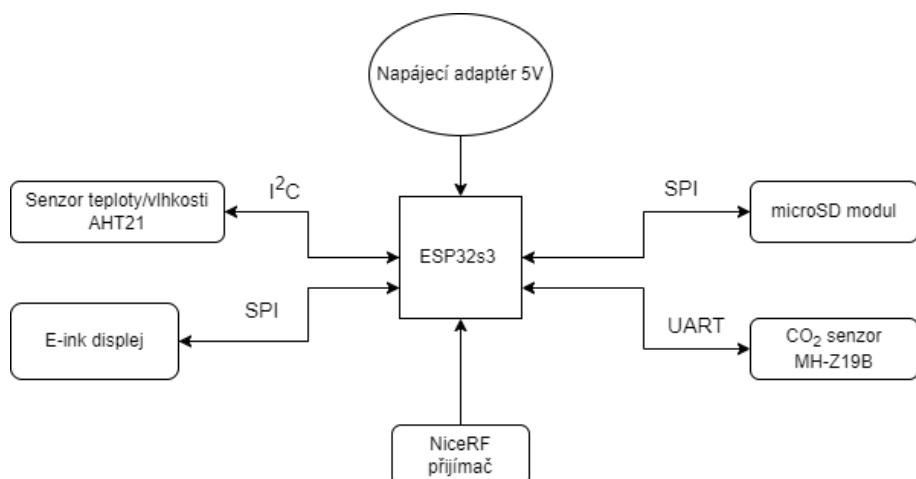
Příloha A

Obsah přiloženého .zip souboru

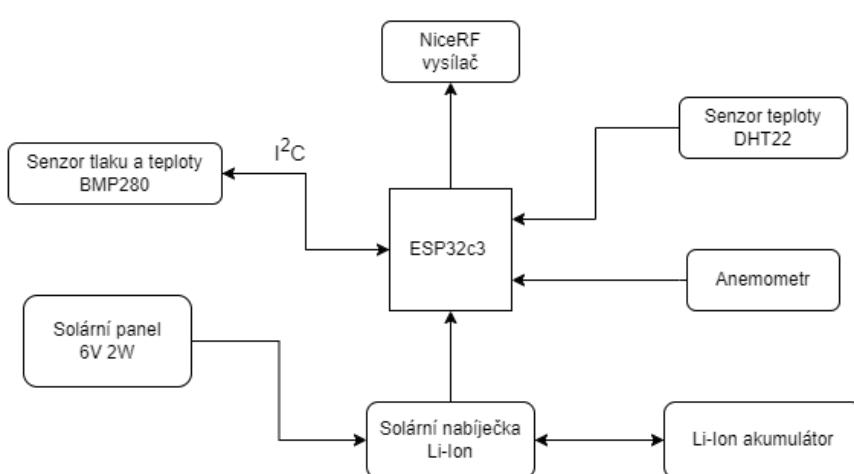
```
/trnkaja20
.   /elektro
.     dokumentace_DPS.pdf
.     pcb_DHT22.zip
.     pcb_venkovni.zip
.     pcb_vnitrni.zip
.     schema_zapojeni_venkovni_jednotka.png
.     schema_zapojeni_vnitrni_jednotka.png
.   /media
.     foto_venkovni_jednotka.jpg
.     foto_vnitrni_jednotka.jpg
.     foto_zapojeni_venkovni.jpg
.     foto_zapojeni_vnitrni.jpg
.     screenshot_webserver.png
.     video_funknosti.mp4
.   /mechanika
.     3d_modely.zip
.   /program
.     /knihovny
.     program_venkovni_ESP32c3.zip
.     program_vnitrni_ESP32s3.zip
.   trnkaja20.pdf
.   trnkaja20.zip
.   trnkaja20_ekonomicka_cast.xlsx
```


Příloha B

Blokové schéma zapojení



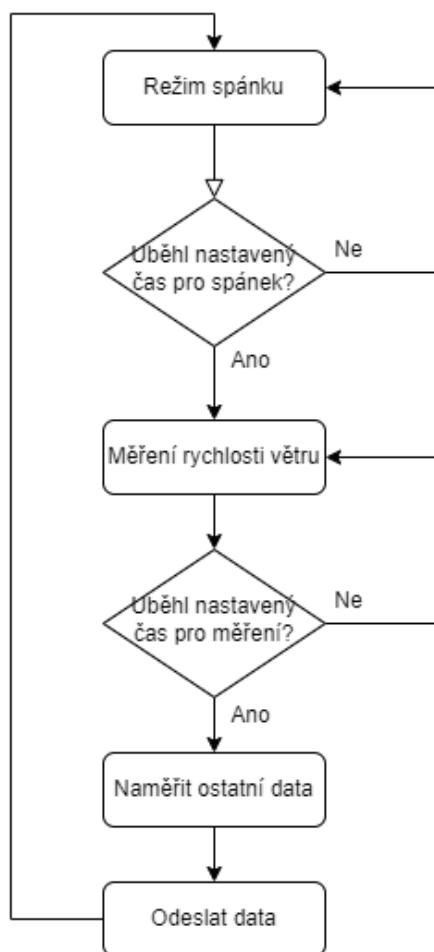
433 MHz



Příloha C

Vývojový diagram

C.1 Venkovní jednotka



C.2 Vnitřní jednotka

