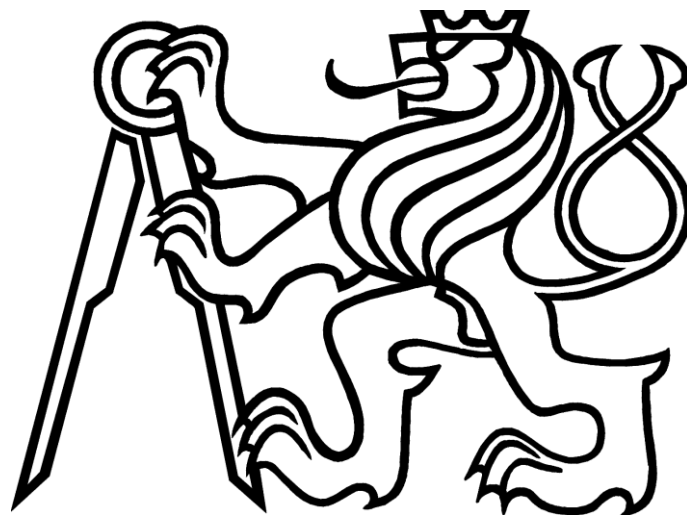


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

katedra mikroelektroniky



Diplomová práce

Meteorologická monitorovací jednotka

Autor: Bc. Jan Pokorný

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

2020



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pokorný** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **434945**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**
Studijní program: **Elektronika a komunikace**
Specializace: **Elektronika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Meteorologická monitorovací jednotka

Název diplomové práce anglicky:

Meteorological Monitoring Unit

Pokyny pro vypracování:

- 1) Analyzujte principy měření povětrnostních parametrů.
- 2) Navrhněte koncept monitorovací jednotky s měřením teploty, tlaku, vlhkosti, intenzity slunečního záření, srážek a okolního hluku, rychlosti a směru větru.
- 3) Monitorovaná data zpracujte v cloudu a zobrazujte přes webové rozhraní.
- 4) Návrh realizujte ve formě prototypu a ověřte jeho funkčnost.
- 5) Srovnávejte dosažené parametry s komerčními výrobky.

Seznam doporučené literatury:

- 1) ESP8266 Weather Station: Getting Started Guide. ASIN: B01LFX8Z5W
- 2) Internet of Things for Architects: Architecting IoT solutions by implementing sensors, communication infrastructure, edge computing, analytics, and security. ISBN-13: 978-1788470599.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:


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


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

Datum zadání diplomové práce: **13.02.2020**

Termín odevzdání diplomové práce:

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2021**


Ing. Vladimír Janiček, Ph.D.
popis vedoucí(ho) práce


prof. Ing. Pavel Házdra, CSc.
popis vedoucí(ho) konzultanta


prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
popis konzultanta

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

AUTHOR STATEMENT FOR UNDERGRADUATE THESIS

I declare that the presented work was developed independently and that I have listed all sources of information used within it in accordance with the methodical instructions for observing the ethical principles in the preparation of university thesis.

PROHLÁŠENÍ AUTORA PRÁCE

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

V Praze dne 20. 05. 2020

.....
Bc. Jan Pokorný

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu Ing. Vladimírovi Janíčkovi, Ph.D., za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a dále mé rodině za úplnou podporu nejen při psaní práce.

Anotace

Cílem této práce je prozkoumat problematiku měření povětrnostních parametrů, navrhnout koncept meteorologické monitorovací jednotky měřící teplotu, tlak, vlhkost, intenzitu osvětlení, rychlost větru, směr větru, hluk a intenzitu srážek a vyrobit funkční prototyp.

Klíčová slova:

Počasí, meteorologická stanice, měření povětrnostních parametrů, mikrokontroler

Abstract

The aim of this work is to investigate the problematics of measuring weather parameters, to design the concept of a meteorological monitoring unit measuring temperature, pressure, humidity, light intensity, wind speed, wind direction, noise and rainfall intensity and to produce a functional prototype.

Index Terms:

Weather, weather station, measuring weather parameters, microcontroller

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Aktuální situace na trhu	12
3	Principy měření povětrnostních parametrů	15
3.1	Měření teploty	15
3.2	Tlak	17
3.3	Vlhkost.....	18
3.4	Intenzita osvětlení	19
3.5	Hluk.....	19
3.6	Rychlost větru	21
3.7	Směr větru	21
3.8	Intenzita srážek	22
4	Návrh konceptu meteorologické monitorovací jednotky	24
4.1	Návrh senzorů	25
4.1.1	Návrh senzoru teploty, tlaku a vlhkosti.....	25
4.1.2	Návrh senzoru intenzity osvětlení	25
4.1.3	Návrh senzoru rychlosti větru	26
4.1.4	Návrh senzoru směru větru	27
4.1.5	Návrh senzoru hluku	28
4.1.6	Návrh senzoru deště	29
4.2	Návrh funkčních prvků	33
4.2.1	Řídicí jednotka	33
4.2.2	Napájení	34
4.2.3	Komunikace	35
4.2.4	Ukládání a zobrazení dat	36
4.3	Program mikrokontroleru.....	37
5	Konstrukce funkčního prototypu.....	42
5.1	Zapojení v nepájivém poli.....	42
5.2	Deska plošných spojů.....	42
5.3	Konstrukce mechanických prvků.....	44
5.3.1	Krabička řídicí jednotky.....	45
5.3.2	Senzor rychlosti a směru větru	46
5.3.3	Senzor deště	48
5.4	Problémy při konstrukci.....	49
6	Ověření funkčnosti a měření	50
6.1	Prvotní zapojení	50

6.2	Kalibrace senzorů.....	52
6.3	Proudový odběr zařízení	53
7	Prototyp meteorologické monitorovací jednotky	56
7.1	Potřebné úpravy pro sériovou výrobu	57
8	Závěr	59
9	Použitá literatura	60
10	Seznam obrázků	62
11	Seznam příloh	63

Seznam použitých zkratk a symbolů

p	Pa	Tlak
T	°C	Teplota
T	K	Teplota
E	lux	Intenzita osvětlení
f	Hz	frekvence
h	m	Nadmořská výška
U	V	Napětí
I	A	Proud
R	Ω	Odpor
t	s	Čas
S	m ²	Plocha
UV		Ultrafialové záření
USB		Universal serial bus - univerzální sériová sběrnice
FLASH		Typ paměti uchovávající data i bez napájení
MOSFET		Unipolární tranzistor
Vcc		Napájecí napětí
LCD		Display z tekutých krystalů
AD/ADC		Převodník analogové hodnoty na digitální
THT		Technologie součástek pájených z druhé strany desky
SMT		Technologie součástek pájených ze stejné strany desky
NTC		Polovodičový teplotní senzor se záporným koeficientem
PTC		Polovodičový teplotní senzor s kladným koeficientem
PN		Spojení polovodiče typu P a N
WIFI		Wireless fidelity – technologie pro bezdrátový přenos dat
I ² C		Inter-integrated circuit - Sériová sběrnice typu multi master
SPI		Serial peripheral interface - Sériová sběrnice typu single master
BLDC		Brushless DC motor – bezkartáčový stejnosměrný motor
CD		Compact disc – Kompaktní disk
OZ		Operační zesilovač
ASIC		Application-specific integrated circuit – čip vytvořený na míru
UART		Universal asynchronous receiver transmitter – typ sériové sběrnice
IDE		Integrated development environment - Vývojové prostředí
MPPT		Max power point tracker – obvod pro efektivní řízení dobíjení baterie ze solárního článku
PCB		Printed circuit board – deska plošných spojů
DPS		Deska plošných spojů
ASA		Termoplast odolný UV záření využíváný ve 3D tisku
3D		Trojrozměrný
LED		Light emitting diode – svítící dioda
BMS		Battery management system – obvod ochrany baterie
SoC		System on chip – integrace celého zařízení do jednoho pouzdra
HTTP		hyper text transfer protocol – weby využíváný protokol
IoT		Internet of things - internet věcí
LoRa		Long Range – nízkopříkonová bezdrátová technologie
BTLE		Bluetooth low energy – nízkopříkonová verze bluetooth

1 Úvod

V této práci bych chtěl popsat tvorbu prototypu meteorologické monitorovací jednotky, která bude měřit venkovní teplotu, tlak, vlhkost, intenzitu osvětlení, rychlost větru, směr větru, hladinu hluku a intenzitu srážek.

Nejdříve popíšu principy měření jednotlivých povětrnostních parametrů. Ke každé měřené veličině uvedu způsoby, jimiž tato veličina může být měřena a fyzikální principy vysvětlující daný způsob měření a který z nich se v meteorologii používá nejčastěji.

Dále se budu věnovat samotnému návrhu konceptu meteorologické monitorovací jednotky. Popíšu návrh a výběr jednotlivých senzorů, návrh funkčních prvků napájení, řízení, komunikace, zpracování a prezentace dat a programování mikrokontroleru.

Na základě návrhu zkonstruuji funkční prototyp, popíšu tvorbu mechanických částí, a desky plošných spojů. Dále uvedu oživení obvodu, ověření funkčnosti a měření dosažených parametrů. Zmíním se o problémech, které při konstrukci vznikly a jak byly odstraněny a úpravy předcházející případné sériové výrobě.

2 Aktuální situace na trhu

V dnešní době je na trhu nespočet různých druhů meteorologických stanic lišících se v několika směrech. Daly by se rozdělit podle ceny, měřených parametrů, možnosti komunikace, prezentace dat, napájení, kompaktnosti designů a dalších parametrů.

Co se týče ceny, do nejlevnější kategorie patří meteostanice, které jsou charakteristické hlavní jednotkou vybavenou velkým LCD displejem. Tato zařízení obvykle měří pouze minimum parametrů, z nichž často většinu měří uvnitř v pokoji, kde se jednotka nachází. Obvyklý příklad je jednotka měřící vnitřní teplotu a vlhkost, doplněná bezdrátovým senzorem vnější teploty. Na displeji jsou pak tyto tři hodnoty doplněny velkými hodinami a meteostanice je na světě. Některé modely mají navíc jeden přídatný bezdrátový vnitřní senzor teploty, takže lze sledovat teplotu ve dvou místnostech místo jedné. Tato zařízení by se však měla spíše řadit do kategorie pokojových teploměrů než meteostanic. Cena těchto zařízení bývá 200 - 1 000 Kč. Příklad vzhledu je na obrázku číslo 1.



Obrázek 1 - Jednoduchá meteostanice s měřením teploty a vlhkosti[17]

Do střední cenové třídy lze zařadit přístroje, které už skutečně jde nazývat meteostanicemi. Jejich koncept je podobný předchozí třídě, to znamená hlavní jednotka s velkým LCD displejem umístěná v pokoji, na které jsou všechna měřená data v reálném čase zobrazována. Většina modelů již má paměť na denní minima a maxima, některé dokonce i na větší počet dat za poslední hodiny. V tomto případě je seznam měřených parametrů již větší a většina z nich se skutečně měří venku. Standart bývá teplota a vlhkost, která je vždy doplněna dalšími parametry, jako je tlak, rychlost a směr větru, intenzita osvětlení a případně srážkoměr. Ve většině případů však přístroj nedisponuje měřením všech těchto parametrů, některý vždy chybí. Dobrým zvykem je také umístit na displej pochybnou předpověď počasí. Ta vychází často jen z vývoje hodnot tlaku a jejím výstupem bývá symbol slunce, slunce za mrakem, mraku, a mraku s deštěm. Při koupi takovéto stanice často narazíte na základní sadu hlavní jednotky a jednoho bezdrátového senzoru teplota-tlak, přičemž další senzory si musíte dokoupit jako samostatné moduly, které jsou taktéž bezdrátově spojeny s hlavní jednotkou. Cena těchto zařízení bývá 1 000 - 3 000 Kč. Příklad vzhledu je na obrázku číslo 2.



Obrázek 2 - Meteostanice s předpovědí počasí měřící vnitřní a venkovní teplotu a vlhkost, tlak, rychlost a směr větru [18]

A konečně poslední cenová skupina, svými vlastnostmi blížící se profesionálním meteorologickým stanicím, nabízí většinou měření všech parametrů popsanych v předchozí třídě. Často jsou měřeny i další parametry, jako je okolní hluk nebo hodnota UV indexu. Tyto přístroje se také označují jako takzvané „chytré“. Jejich hlavní jednotka již nedisponuje maximalistickým designem displeje, ale vsází na vkusný vzhled, který lépe zapadne do obývacího pokoje. Pokud však nějaký displej vůbec má. Chytré se jim totiž říká proto, že svá data pouze nezobrazují v reálném čase, ale i ukládají a dále pak nabízejí k dalšímu zpracování a analýze. Jsou vybaveny síťovým připojením pomocí wifi nebo ethernetu, přes které data posílají a ukládají buď na server v domácí síti nebo přímo na server v internetu, případně ukládají data do vnitřní FLASH paměti a uživatel si je pak může stáhnout na USB FLASH disk. V prvním případě tak displej ani není potřeba, jelikož uživatel má přístup k datům skrz aplikaci v telefonu nebo přes webové rozhraní. Síťové připojení také umožňuje meteostanici zapojit do domácí automatizace jakožto IoT zařízení. Některé typy jsou dokonce kompatibilní se systémy domácí automatizace jako Alexa, Google asistent nebo Siri. Cena těchto zařízení začíná kolem 4 000 Kč a může přesáhnout až 15 000 Kč. Příklad vzhledu je na obrázku číslo 3.



Obrázek 3 - Chytrá meteostanice s wifi připojením

Je tu však několik nevýhod týkajících se napájení, komunikace, a kompaktnosti designu, které všechny výše popsané výrobky spojují. První nevýhoda se týká napájení. Většina bezdrátových senzorů a velká část základnových stanic je napájena tužkovými akumulátory. To znamená, že nejsou dobíjitelné a je potřeba pravidelně je měnit. Část základnových stanic je napájena ze sítě za pomoci adaptéru a tím pádem spotřebovává energii. Je tedy zřejmé, že zařízení nejsou z energetického hlediska soběstačná a jejich provoz stojí nejen peníze, ale i úsilí například při výměně baterií.

Druhý problém spočívá v komunikaci základové stanice se senzory. Protože tvoří jeden fyzický celek, musí mezi sebou komunikovat bezdrátově a pokud je senzorů více a jsou na různých místech venku, může být problém navázat spolehlivě všechna spojení senzorů se stanicí tak, aby se nerozpadala. Tato spojení totiž obvykle vedou skrz jednu nebo i více zdí a ty můžou průchodu signálu značně bránit.

Tím se dostáváme ke třetí nevýhodě, která značně souvisí s tou druhou, a to je nekompaktnost designu. Celý systém meteostanice se skládá z několika částí, což může ztížit nejen provoz, jak bylo zmíněno výše, ale i instalaci, údržbu, či demontáž.

Všechny tyto nedostatky byly motivací k vytvoření vlastního prototypu meteostanice, který může být zařazen do skupiny „chytré“ a výše uvedené problémy bude řešit. Půjde o kompaktní design soustředící všechny prvky na jedno místo. Napájený bude z lithiového akumulátoru, jehož dobíjení zajistí solární článek, čímž se zajistí energetická soběstačnost a bezúdržbovost. Naměřená data bude posílat skrz lokální wifi síť na server v internetu, z něhož mohou být čtena odkudkoliv, a navíc dále zpracována. Zobrazení dat bude probíhat skrz webové rozhraní na osobním počítači nebo telefonu, což dovoluje vynechat vnitřní jednotku s displejem a umožňuje kompaktně soustředit všechny prvky systému na jedno venkovní místo.

3 Principy měření povětrnostních parametrů

Základem takovéto meteostanice jsou samozřejmě senzory, které příslušné veličiny měří. Samotné měření je proces, při kterém převádíme měřenou veličinu, zde povětrnostní parametr, na elektrický signál (většinou napětí), buď přímo, nebo ve více krocích za použití dalších veličin. Níže jsou vysvětleny jednotlivé principy měření.

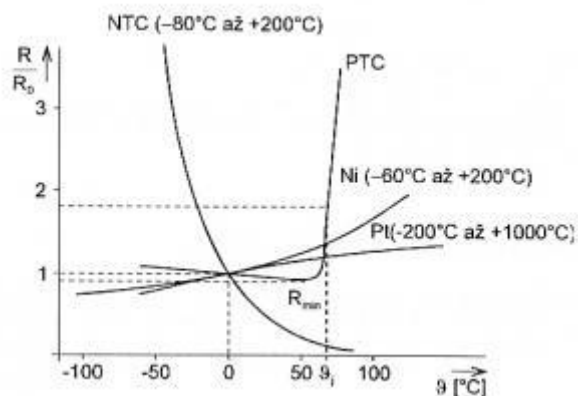
3.1 Měření teploty

Tento proces lze rozdělit na dva základní způsoby měření, a to kontaktní a bezkontaktní. U kontaktního měření teploty je měřená látka přímo v kontaktu se senzorem teploty, čímž díky vedení tepla zahřeje nebo ochladí senzor na svou teplotu. Přesněji bychom měli říct, že dojde k termodynamické rovnováze, protože měřená látka předá část své energie ve formě tepla senzoru, který ohřeje, a sama se při tom ochladí; případně naopak. Tento jev však neprobíhá okamžitě, ale nějakou dobu trvá. Tato doba je závislá na rozdílu teplot obou materiálů, na jejich měrné tepelné kapacitě a taky na jejich tepelném kontaktu. Měření je tedy možné až se zpožděním. Lze tedy říct, že při kontaktním měření se změní teplota měřené látky a tím se i ovlivní měření. V praxi však měrná tepelná kapacita senzoru bývá mnohonásobně menší než měřené látky, a tak změna její teploty je zanedbatelná. U bezkontaktního měření se využívá infračerveného záření, které měřená látka vysílá, a z jeho frekvence lze spočítat teplotu tělesa. Oproti kontaktním teploměrům mají bezkontaktní tu výhodu, že měření probíhá téměř okamžitě bez prodlevy a lze také měřit větší rozsah teplot. Kontaktní teploměry jsou naopak levnější a také odolnější okolnímu rušení. Bezkontaktní teploměry jsou však pro měření teploty vzduchu nevhodné, a tudíž se nepoužívají.[1]

Pro kontaktní měření teploty lze v podstatě použít jakýkoliv elektronický prvek, který má známou teplotní závislost některého svého elektrického parametru, například odporu nebo prahového napětí. Některé jsou pak výhodnější oproti jiným díky svým vlastnostem jako teplotní rozsah, linearita, míra reakce na teplotní změnu, dostupnost nebo cena. Mezi základní teplotní senzory řadíme: [1][2][3]

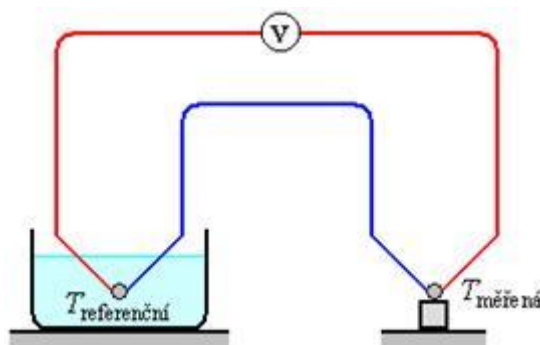
- **Odporové kovové senzory.** Princip měření je založený na teplotní závislosti odporu senzoru způsobené kmity krystalové mřížky. Čím vyšší teplotu kov má, tím více krystalová mřížka kmitá a volné elektrony podílející se na proudu se více srážejí s kladnými ionty mřížky, což vede ke zvýšení odporu. Senzory jsou vhodné pro měření velkého rozsahu teplot (pro platinové senzory $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+1000\text{ }^{\circ}\text{C}$), avšak mají malou závislost změny odporu na teplotě (typicky 10^{-3} – 10^{-6} -násobek odporu při $0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Nejčastěji se používají platinové senzory vyráběné v řadách označených jejich odporem při $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, např. pt100 pro odpor $100\ \Omega$, pt1000 pro odpor $1\text{ k}\ \Omega$ a dále.
- **Odporové polovodičové senzory – termistory.** Princip měření je založený na teplotní závislosti odporu senzoru způsobené různou koncentrací volných nosičů náboje při různých teplotách. Existují dva základní typy, a to termistory NTC neboli „negative temperature coefficient“ a PTC neboli „positive temperature coefficient“. U NTC s rostoucí teplotou jejich odpor klesá a u PTC roste. Oproti kovovým sensorům mají větší citlivost, avšak jsou značně nelineární a mají malý

teplotní rozsah. Na obrázku číslo 4 je porovnání jejich citlivosti s kovovými senzory.



Obrázek 4 - Porovnání citlivosti kovových a polovodičových tepelných senzorů [1]

- **Odporové polovodičové senzory – monokrystalické.** Princip měření je založený na teplotní závislosti odporu senzoru způsobené změnou pohyblivosti nosičů náboje. S rostoucí teplotou klesá pohyblivost a roste odpor a naopak. Oproti termistorům jsou lineární, avšak mají menší citlivost. Jejich teplotní rozsah je od -50 °C až $+150\text{ °C}$.
- **Senzory s PN přechodem.** Princip měření je založený na teplotní závislosti propustného napětí na PN přechodu. Se zvyšující se teplotou klesá propustné napětí a naopak. Jedná se o lineární závislost s citlivostí $-2,5$ až -2 mV/K . Tento typ senzorů lze jednoduše integrovat na čip.
- **Termoelektrické senzory.** Jedná se o aktivní senzor. Je založen na Seebeckovu jevu.[20] Dva vodiče různých materiálů jsou spojeny na obou koncích. Pokud je jeden konec teplejší než druhý, vzniká termoelektrické napětí a obvodem prochází proud. Měření probíhá na jednom, tzv. teplém konci a je vztaženo ke známé teplotě tzv. studeného konce. Různé materiály mají různý termoelektrický koeficient a pro dosažení největší citlivosti se používají materiály, jejichž koeficienty jsou co nejvíce rozdílné. Výhoda termoelektrických senzorů je velký rozsah měřených teplot, typicky -200 až $3\ 500\text{ °C}$ a také fakt, že senzor je aktivní, nevýhoda spočívá v malé citlivosti senzorů, výstupní napětí se pohybuje i pod 1 mV .



Obrázek 5 - Seebeckův jev [20]

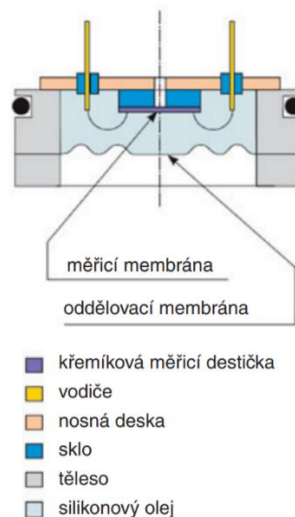
Každý z těchto typů senzorů se používá v jiných aplikacích díky svým klíčovým vlastnostem jako je citlivost, teplotní rozsah nebo i pořizovací cena. Pro měření teploty vzduchu však stačí rozsah teplot -30 °C až $+50\text{ °C}$ a dobrá citlivost. Tato kritéria splňují

polovodičové senzory s PN přechodem. Jejich výhodou je i lineární závislost napětí na teplotě a možnost jednoduché integrace na čip. Není tedy divu, že se tento způsob měření teploty v praxi používá pro tuto aplikaci nejčastěji.

3.2 Tlak

Tlak vzduchu nelze přímo měřit převodem na elektrickou veličinu, jako tomu bylo u teploty. Ve většině případů se nejdříve převádí tlak na sílu. Je toho docíleno následujícím způsobem: tlakoměr obsahuje uzavřenou nádobu ve které je plyn o přesně definovaném tlaku. Nádobu je z jedné strany opatřena pružnou membránou, která je z druhé strany vystavena působení atmosférického tlaku. Při změně tohoto tlaku působí síla na membránu a ta se pohybuje. Tento pohyb se dále převede na elektrickou veličinu, která je pak měřena. Zde jsou uvedeny základní používané principy převodu: [4][5][21]

- **Piezorezistivní tenzometr.** Povrch membrány je opatřen tenzometrem. Tenzometr, obvykle realizovaný jako tenká vrstva na podložce, je zařízení, které mění svůj odpor při jeho ohýbání. Změna tlaku se tedy ve výsledku jeví jako změna odporu tenzometru. Řez senzorem je uveden na obrázku číslo 6.



Obrázek 6 - Řez piezorezistivním snímačem[21]

- **Kapacitní.** Na membráně je instalovaná jedna elektroda kondenzátoru, druhá elektroda je naproti první elektrodě a je statická. Pohybem membrány se mění vzdálenost mezi elektrodami a tím i kapacita kondenzátoru. Další možný princip je umístění dielektrika na membránu, které se při jejím pohybu zasouvá do kondenzátoru a také mění jeho kapacitu.
- **Elektromagnetický.** Na membráně je umístěn magneticky vodivý materiál, který se při jejím pohybu dostává do magnetického pole cívky, čímž mění její indukčnost. Cívka je součástí rezonančního obvodu, který kmitá na dané frekvenci, a změnou indukčnosti cívky docílíme i změny této rezonanční frekvence, která je měřena.
- **Piezoelektrický.** Membrána je opatřena piezoelektrickým materiálem, Jedná se o materiál, který se po přiložení napětí deformuje. Tento efekt funguje i v opačném

směru, tedy při deformaci materiálu vzniká na jeho koncích piezoelektrické napětí. Toho se zde využívá a změřené napětí odráží vývoj změny tlaku.

- **Optický.** Na membránu je umístěna optická struktura, která při své deformaci mění své vlastnosti. Může se jednat o optické vlákno, nebo třeba o elastický film, který odráží a mění vlnové délky dopadajícího záření. Ze změny vlnové délky je pak dopočítáný působící tlak. Používá se například pro měření v prostředích s nebezpečím výbuch, kde je použití jakékoliv elektroniky nežádoucí.

Nejpoužívanější principy snímání tlaku vzduchu jsou piezorezistivní a kapacitní. Je to dáno jejich nízkou cenou, jednodušší konstrukcí a malými rozměry.

3.3 Vlhkost

Vlhkost lze také měřit několika způsoby, v nichž se většinou převádí na jinou veličinu a z ní pak na elektrickou veličinu. Výjimkou však není ani převod přímo na veličinu elektrickou. Nejpoužívanější způsoby jsou:[6]

- **Gravimetrický vlhkoměr.** Nejdříve se vzduch o známém objemu prožene takzvaným sušidlem – jde vlastně o houbu, která zachytí veškerou vlhkost vzduchu. Sušidlo, nasáklé vodou, se pak zvaží a zjišťuje se přírůstek jeho hmotnosti oproti suchému stavu. Z něho pak lze vypočítat vlhkost vzduchu. Měření je však zdoluhavé a používá se většinou laboratorně ke kalibraci.
- **Kondenzační vlhkoměr.** Jedná se o termoelektricky chlazené zrcátko, jehož odrazivost se snímá opticky. Podle stupně orosení se odrazivost snižuje a zpětná vazba zajistí úpravu síly chlazení tak, aby zrcátko zůstalo stále stejně orosené. Teplota zrcátka se pak měří a z ní se vypočítá vlhkost vzduchu.
- **Odporový vlhkoměr.** Základem senzoru je vodivá, vodu absorbující látka, která je vložena mezi dvě elektrody a vystavena vzdušné vlhkosti. Absorpcí této vlhkosti do látky se mění její odpor a jeho měřením lze po výpočtu zjistit vlhkost vzduchu. Senzor však nepokrývá celý rozsah relativní vlhkosti. Příklady odporových vlhkoměrů jsou na obrázku číslo 7.



Obrázek 7 - Odporové vlhkoměry[6]

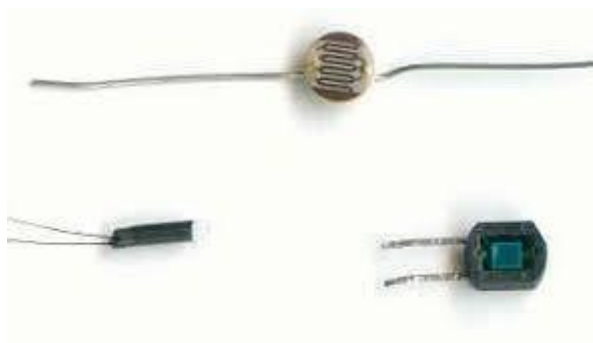
- **Kapacitní vlhkoměr.** Základem je kondenzátor s dielektrikem, které absorbuje vzdušnou vlhkost. Tím se změní celková permitivita dielektrika a tím i kapacita kondenzátoru. Jejím měřením a přepočtem dostaneme hodnotu vzdušné vlhkosti.

V případě měření vlhkosti se nejčastěji využívá kapacitní princip, jelikož pokrývá celý rozsah relativní vlhkosti, má rychlou odezvu, dobrou přesnost, odolnost, malé rozměry a nízkou cenu. V neposlední řadě je také dobře integrovatelný.

3.4 Intenzita osvětlení

Pro měření intenzity slunečního světla přichází v úvahu několik základních typů senzorů a k nim přidružených principů měření. Tři základní detektory však mají jedno společné, a tím je fotoefekt. Jedná se o děj, kdy atom v polovodiči absorbuje elektromagnetické záření a uvolní elektron mimo svůj obal. Tento elektron se pak může podílet na proudu součástkou, čímž se zvyšuje její vodivost a snižuje odpor. Základními detektory jsou:[7][22]

- **Fotorezistor.** Jeho základem je polovodičový monokrystal, případně tenká či tlustá vrstva. Při dopadu fotonů na povrch látky dochází k vyražení elektronů z atomů a tím ke zvýšení koncentrace nosičů náboje a ke snížení odporu. Jeho měřením zjistíme intenzitu osvětlení. Vykazuje dobrou citlivost přibližně 1 mA/lm
- **Fotodioda.** Bez osvětlení se chová jako běžná dioda. S osvětlením dopadajícím na PN přechod výrazně roste závěrný proud diodou, z čehož lze vypočítat intenzitu osvětlení. Může pracovat také v hradlovém zapojení, kdy sama generuje elektrické napětí.
- **Fototranzistor.** Místo injekce elektronů do přechodu báze-emitor pomocí proudu do báze je tranzistor osvětlován elektromagnetickým zářením, které vyrazí z atomů elektrony díky fotoefektu a tím zprůchodní tranzistor bez potřeby zavádění proudu do báze. S vyšším osvětlením roste proudová propustnost tranzistoru a z ní lze odvodit intenzitu osvětlení. Má také lepší citlivost než fotodioda.



Obrázek 8 - Fotorezistor(nahoře), fototranzistor(vlevo) a fotodioda(vpravo)[23]

Při výběru typu senzoru pro danou aplikaci záleží, jestli je požadováno chování senzoru jako rezistor (fotorezistor), zdroj proudu (fotodioda a fototranzistor) nebo i zdroj napětí (fotodioda v hradlovém režimu).

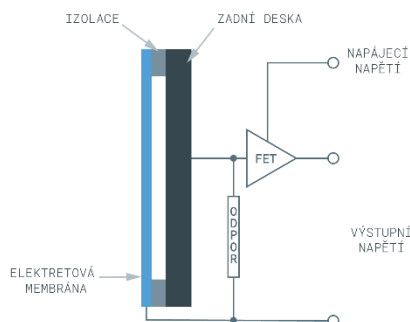
3.5 Hluk

Měření hluku není nic jiného než měření zvuku, a k tomu je určený mikrofón. Existuje několik základních principů mikrofónů, a to:[8]

- **Kondenzátorový mikrofón.** Základem je kondenzátor, jehož jedna elektroda je pevně uchycena, a druhá elektroda je připevněna na membráně, na kterou zvuk dopadá. Jejím pohybem se mění kapacita kondenzátoru a s ní i akumulovaný náboj.

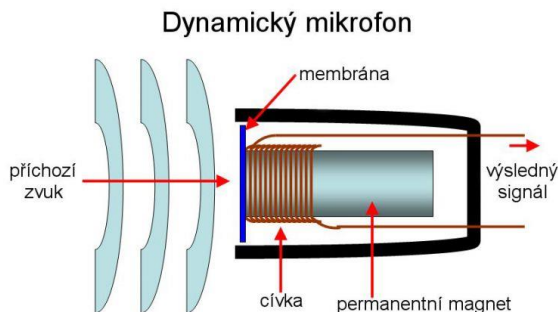
Ten se vyrovnává přes napěťový zdroj, čímž způsobuje průchod proudu obvodem. Nevýhodou je, že mikrofon potřebuje napětí desítek voltů pro správnou činnost.

- **Elektretový mikrofon.** Jedná se o modifikaci kondenzátorového mikrofonu. Pevná elektroda je opatřena tenkou vrstvou elektretu. Ten má v sobě trvalý elektrický náboj, který umožňuje snížení napájecího napětí mikrofonu.



Obrázek 9 - Princip elektretového mikrofonu

- **Elektromagnetický mikrofon.** Na membráně, na kterou dopadá zvuk, je připevněna feromagnetická kotva. Ta vlivem pohybu membrány indukuje napětí v závitech cívky a tím vytváří elektrický signál kopírující zachycený zvuk.
- **Elektrodynamický mikrofon.** Je založený na principu indukce napětí do vodiče pohybujícího se v magnetickém poli. Na vodiči je připevněná membrána, která ho díky dopadajícímu zvuku rozhýbe. Napětí měřené na koncích vodiče odpovídá zachycenému zvukovému signálu. Existuje také pásková varianta, kde je vodič tvořen hliníkovým páskem, který díky své šířce pohlcuje zvukové vlny a zastává i roli membrány.



Obrázek 10 – Princip elektrodynamického mikrofonu[24]

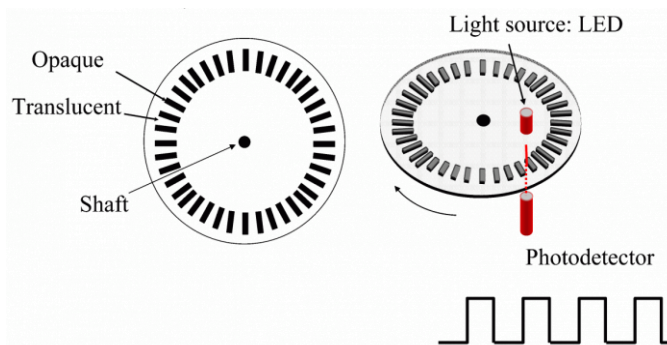
- **Piezoelektrický mikrofon.** Dnes již málo používaný typ. Založený na piezoelektrickém jevu, kdy na piezoelement dopadá zvuk, který ho rozvlí a na jeho elektrodách vznikne napětí. Měření tohoto napětí dostaneme zvukový signál.
- **Uhlíkový mikrofon.** Jedná se o nejstarší typ mikrofonu. Membrána fyzicky stlačuje uhlíková zrna, čímž mění jejich odpor. Vyhodnocením této změny lze dostat zachycený zvukový signál. Je schopen dodat relativně velký signál a může tak přímo procházející signál modulovat. Při nežádoucí manipulaci vydává chrastivé nepříjemné zvuky. Dnes se již moc nepoužívá.

Pro použití v nenáročných aplikacích, jako je senzor hluku, je ideální elektretový mikrofon. Hlavním důvodem je jeho jednoduchost a možnost napájet ho nízkým napětím.

3.6 Rychlost větru

Pro měření rychlosti větru se používá přístroj zvaný anemometr. Jedná se o zařízení, které pomocí lopatek, do kterých se opírá vítr, převádí rychlost větru na otáčivý pohyb, který je dále snímán. Základní způsoby snímání rotace jsou:

- **Magnetický princip.** Rotující základna s lopatkami je osazena magnetem a na nepohyblivé části je osazena jedna nebo více Hallových sond[26], které pohyb magnetu snímají a započítávají otáčky.
- **Infračervená závora.** V rotující části se nachází štěrby, skrz které infračervená závora svítí. Při rotaci je paprsek dopadající na detektor střídavě zastíněn a odhalen, čímž na detektoru vzniká obdélníkový průběh. Spočítáním těchto pulzů zjistíme míru otáčení lopatek.



Obrázek 11 - Princip optické závory [27]

- **Mechanický kontakt.** Jedná se o stejné řešení jako u rotačních enkodérů. Otáčením středu se společná elektroda postupně spojuje a rozpojuje s první a druhou elektrodou. Pokud nepotřebujeme znát směr otáčení, stačí nám pouze jeden spojující se kontakt. Podle počtu impulzů generovaných tímto principem lze určit otáčení lopatek. Nevýhoda je, že se jedná o fyzický kontakt plošek a tím dochází ke značnému tření, které brání volné rotaci lopatek.
- **Elektromagnetický princip.** Rotor obsahuje permanentní magnety a stator pólové nástavce s cívkami, do kterých je rotací indukováno napětí. Pólové nástavce jsou však z magneticky vodivého materiálu, a tak je permanentní magnet rotoru přitahuje, což způsobuje nežádoucí odpor jeho rotaci.

Pro měření rychlosti větru nejsou vhodné metody, které způsobují odpor rotaci lopatek. V úvahu tedy přichází magnetický princip nebo infračervená závora.

3.7 Směr větru

Směr větru se měří pomocí tzv. směrovky – jedná se o excentricky umístěnou plochu na rotující základně. Vítr opírající se do této plochy zajistí, že je vždy otočena rovnoběžně s větrem. Pokud by však byla umístěna ve středu rotace, bylo by pouze náhoda, jestli by se dostala do jedné ze dvou možných poloh o 180 stupňů pootočených. Díky svému excentrickému umístění se dostane vždy jen do jedné polohy vůči větru a snímáním této polohy zjistíme směr větru. Základní principy snímání jsou:

- **Magnetický princip.** Rotující část je osazena permanentním magnetem a statická část je osazena několika Hallovými sondami s přesně danými úhlovými rozestupy. Při rotaci magnetu je vyhodnocen segment se sondou, ve kterém se magnet nachází a tím pádem i směr větru náležící do tohoto segmentu.
- **Optický princip.** Zde se nabízejí dvě varianty. První je binární reprezentace, kdy pro x-bitovou přesnost je použito x optických závor svítících přes x řad štěrbin v rotující části. Štěrbin jsou uspořádány tak, aby při natočení pohyblivé části optické závory vykazovaly binární reprezentaci měřeného úhlu směru větru. Druhá varianta jsou dvě optické závory se štěrbinami posunutými o 50 % (podobně jako kontakty u rotačního enkodéru), které dokážou určit směr i úhel rotace senzoru. Je však potřeba, aby senzor pracoval nepřetržitě a měl kalibrovaný počáteční úhel měření, jinak se může velice rychle desynchronizovat.
- **Geomagnetický princip.** Je založený na snímání magnetického pole země. Problémem však je potřeba umístit magnetický senzor do rotující části, což znamená potřebu vyřešit jeho napájení a komunikaci.

V praxi se nejběžněji používá magnetický princip kvůli jeho jednoduchosti, spolehlivosti a relativně levnému provedení.

3.8 Intenzita srážek

Mezi základní principy měření intenzity srážek patří:[9]

- **Měření výšky hladiny napršené vody.** První měření intenzity srážek probíhalo manuálně. Nádoba dostatečného objemu se nechala stát na dešti, a za daný časový interval (hodina, den, týden, měsíc) se vyprázdnila do odměrné nádoby, kde se změřil objem napršené vody. Navíc mohla být pomocí známé plochy hrdla nádoby a času, po který se voda jíjala, vypočítána průměrná intenzita srážek. Toto je však manuální proces. Lze ho sice automatizovat, pokud bude mít nádoba automaticky řízené mechanické otvírací dno a bude schopna měřit výšku hladiny. Nicméně malé srážkové úhrny v malých časech není schopná měřit.
- **Překlápěcí vaničky.** Další možností, již automatizovanou, jsou překlápějící se vaničky. Přes trychtýř jsou do vaničky sváděny srážky z určité známé plochy odpovídající hrdlu trychtýře, dokud se vanička nenaplní. Jakmile objem vody ve vaničce přesáhne určitou mez, vanička se překlápí, voda vyteče a zároveň se pod trychtýř dostane druhá vanička a celý proces se opakuje. Při překlapaní se sepne spínač, který vyšle pulz informující o překlapaní vaničky. Ze známého objemu vody potřebného pro překlapaní vaničky a periodě překlápění lze vypočítat množství srážek a intenzitu. Nevýhoda je, že neznáme počáteční stav vody ve vaničce, a tedy nevíme při prvním překlapaní, jestli v ní ještě nezůstala voda z minulého deště. Měření je tedy nepřesné. Existuje však vylepšení této metody, kdy každá vanička je zároveň vážena, čímž dokážeme určit i aktuální množství vody ve vaničce, i když nedojde k překlapaní.



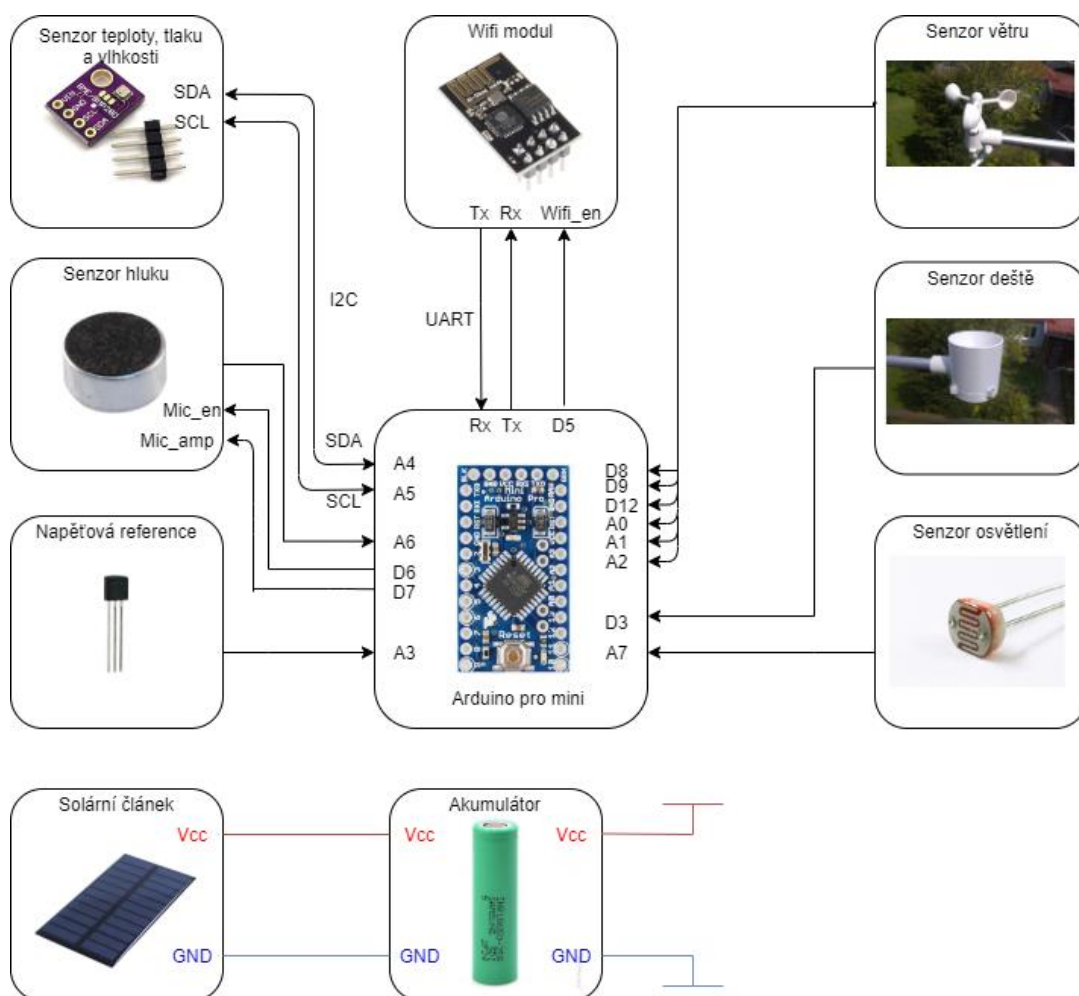
Obrázek 12 - Příklad senzoru s principem překlápěcích vaniček[28]

- **Infračervená závora.** Trychtýř využívá i tato metoda, která má pod jeho vyústěním optickou infračervenou závoru. Ta lze uspořádat do dvou postavení. V prvním je beze srážek vysílač osvětlen přijímačem. Když začne pršet, kapka z trychtýře přeruší paprsek, přijímač je méně osvětlen a dojde k vyhodnocení kapky. Z délky tohoto zatmění lze i spočítat velikost a tím i objem kapky. V druhé variantě na sebe za normálního stavu vysílač a přijímač nevidí, pouze pokud paprskem vysílače prolétá kapka, dojde ke zlomu a odrazu paprsku na kapce a část světla dopadne do přijímače.
- **Akustická metoda.** Další metodou je akustická metoda. Ta využívá zvukového vlnění, které se šíří vodou po dopadu kapky na hladinu v nádobce. Složitějším vyhodnocením signálu lze odvodit velikost a tím i objem kapky.

Všechny výše uvedené metody se v praxi používají. Nejpřesnějších výsledků lze dosáhnout s akustickou metodou, je však náročná na vyhodnocení. Z tohoto hlediska se jako nejvýhodnější jeví infračervená metoda, která je zároveň i velice přesná.

4 Návrh konceptu meteorologické monitorovací jednotky

Nyní, když jsou popsány jednotlivé principy měření povětrnostních parametrů, je možno přistoupit k vlastnímu návrhu konceptu meteorologické monitorovací jednotky. Detailně zde bude popsán návrh a výběr jednotlivých senzorů, návrh funkčních prvků napájení, řízení, komunikace, zpracování a prezentace dat a programování mikrokontroleru. Jak již bylo zmíněno, fyzická část zařízení bude tvořit nezávislou kompaktní jednotku, která bude umístěna na střeše domu a bude snímat venkovní povětrnostní vlivy. Bude se tedy jednat o jedinou fyzickou součást systému. Napájení bude zajištěno lithiovým akumulátorem, který bude dobíjen ze solárního článku. Řídicí jednotka v podobě mikrokontroleru bude obstarávat chod stanice, a to především obsluhu a měření pomocí senzorů. Komunikace a odesílání naměřených dat bude probíhat přes wifi připojení. I díky tomu je možné, aby jednotka byla naprosto samostatná a nevedl k ní jediný kabel. Naměřená data poputují skrz lokální síť až na server umístěný v internetu. To následně umožňuje přístup k naměřeným datům z jakéhokoliv zařízení, jež má připojení k internetu. Na základě těchto požadavků bylo vytvořeno blokové schéma obsahující všechny výše uvedené prvky. Schéma se nachází na obrázku číslo 13.



Obrázek 13 - Vnitřní blokové zapojení meteorologické monitorovací jednotky

4.1 Návrh senzorů

4.1.1 Návrh senzoru teploty, tlaku a vlhkosti

Pro měření teploty, tlaku a vlhkosti byl vybrán komerčně vyráběný senzor BME280 od společnosti BOSCH. Jedná se o senzor kombinující měření tří výše uvedených veličin. Jde o mikrosystém integrovaný na čipu o velikosti 2,5x2,5 mm. Měření teploty probíhá na PN přechodu diody, měření tlaku piezorezistivním principem a vlhkost je měřena kapacitním principem. Rozsah měřené teploty je -40...85 °C, tlaku 300...1100 hPa a relativní vlhkosti 0...100 %. Senzor pracuje při napětí 1,2-3,6 V. Součástí senzoru je AD převodník, který zajistí odečítání hodnot a mikroprocesor, který vyčtená surová data zpracuje a vypočítá z nich skutečné hodnoty veličin. Pomocí I²C nebo SPI sběrnice je pak zajištěna komunikace. Senzor má extrémně malý odběr proudu, při měření všech tří parametrů v sekundovém intervalu je jeho průměrná hodnota 3,6 μA a ve sleep módu dokonce pouhých 0,1 μA. Pro bateriově napájené zařízení je tedy přímo dělaný. Díky tomu mohl být senzor ponechán trvale připojen na napájení a pouze převáděn do sleep módu pro úsporu energie v době, kdy není potřeba měření. Senzor byl použit v podobě modulu obsahujícího i převodníky hodnot, umožňující provoz až na 5 V logice. [10][11]



Obrázek 14 - Senzor teploty, tlaku a vlhkosti BME280[10]

4.1.2 Návrh senzoru intenzity osvětlení

Pro měření intenzity osvětlení bylo možno použít fotorezistor, fotodiodu nebo fototranzistor. Rozhodující faktor byl odběr proudu. Jelikož všechny tři součástky mohou být provozovány s dostatečně malými odběry, byl zvolen fotorezistor, který navíc disponuje dobrou citlivostí. Jeho odpor při osvětlení 1 lux činí 1 MΩ a při 100 lux 30 kΩ. Podrobné informace jsou uvedeny v jeho datovém listu [12]. Pro jednoduchost byl zapojen s jedním rezistorem do série jako odporový dělič napětí. Výhodou tohoto zapojení je jeho jednoduchost. Nevýhodou však je, že dobré napěťové rozlišení dělič poskytuje pouze v případě, že je aktuální hodnota odporu fotorezistoru blízká hodnotě pevného rezistoru, a to cca plus mínus jeden řád. Vhodnou volbou hodnoty odporu pevného rezistoru však můžeme nastavit citlivou oblast do mezí, které nás zajímají a tím tuto nevýhodu potlačit.



Obrázek 15 - Senzor intenzity osvětlení – fotorezistor[12]

4.1.3 Návrh senzoru rychlosti větru

Pro výběr vhodného senzoru rychlosti větru neboli anemometru byl proveden průzkum trhu s komerčně dostupnými výrobky. Nebyl však nalezen žádný vhodný výrobek použitelný pro tuto aplikaci. Celkově trh nebyl příliš obsáhlý a většina kusů byla příliš drahá. Bylo tedy potřeba vyrobit si senzor vlastní.

V první řadě bylo potřeba vyrobit si lopatky, do kterých se bude vítr opírat. První prototyp lopatek byl zhotoven z plechu plechovky od limonády. Z ní byl vystřížen čtverec. Ten po nastřížení ze všech čtyř stran vždy ve dvou třetinách délky strany a následném ohnutí nastřížených částí směrem dovnitř vytvořil větrník, do kterého se může opírat vítr a tím ho roztočit. Konstrukce lopatek je vyobrazena na obrázku číslo 16.



Obrázek 16 - Druhý prototyp senzoru rychlosti větru

Dále bylo potřeba zvolit princip snímání rotace větrníku. Jako první byla zvolena metoda elektromagnetického principu. Pro tento účel byl použit BLDC motor z CD mechaniky, který zde točí samotným CD. Na rotor byl připevněn větrník a na kontaktech motoru, který nyní pracoval jako generátor, se snímalo generované napětí. První testování probíhalo pomocí 24 V větráku. Na osciloskopu byl dobře vidět sinusový průběh signálu z motoru. Nicméně již při tomto testu bylo zpozorováno, že motor klade velký odpor otáčení a bylo potřeba silně zafoukat, aby se vůbec roztočil. To bylo potvrzeno i testem ve

venkovním větru, kdy se lopatky při mírném větru vůbec neroztočily. Největší problém tkví v principu snímání. Kovové pólové nástavce statoru, na nichž je namotaná cívka, jsou magnetické, a tedy permanentní magnet rotoru se na ně přitahuje. To je příčina největšího kladeného odporu. Tento princip byl tedy nepoužitelný.

Jako další princip byl vyzkoušen magnetický princip, kdy rotující magnet a jeho vytvářené magnetické pole je snímáno Hallovou sondou[26]. Jedná se o Hallovu sondu vybavenou operačním zesilovačem, jejíž výstup je typu otevřený kolektor. Magnet je připevněn k rotujícím lopatkám a Hallova sonda je umístěna na pevné části. První testování tohoto principu bylo provedeno znovu za pomoci již zmíněného BLDC motoru, respektive jeho rotoru. Stator s pólovými nástavci byl odstraněn. Bylo zde využito skutečnosti, že rotor již permanentní magnet v sobě obsahuje. Jedná se o magnet nacházející se po celém obvodu rotoru a je orientovaný tak, že při jedné otočce se změni jeho polarita 12x. Má tedy 6 severních a 6 jižních pólů. Rotor byl usazen do ložiska, a to bylo upevněno na desku plošných spojů spolu s Hallovou sondou tak, aby se sonda nacházela přímo pod magnetem. Rotor byl pak ještě opatřen kovovým krytem zabraňujícím proniknutí dešťové vody. Deska pak byla zalita do „hot glue“ tak, aby byla chráněná proti vodě. Celá konstrukce je vyobrazena na obrázku číslo 16.

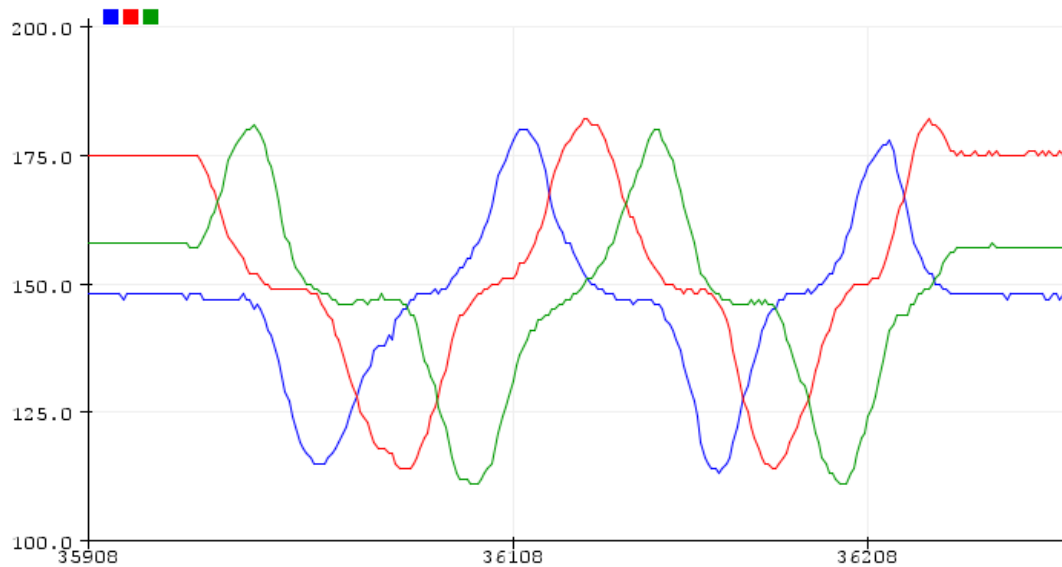
Při následném testování bylo zjištěno, že tento způsob měření je naprosto vyhovující. Hallova sonda spolehlivě zachytí měnící se magnetické pole vytvořené rotujícími magnety a během jedné otáčky vytvoří signál se šesti obdélníkovými pulzy. Díky odstranění statorových pólových nástavců a použití precizního ložiska je odpor kladený rotaci nesrovnatelně menší než v předchozím případě a lopatky se roztáčí už při minimálním větru. Tento způsob snímání byl tedy vybrán pro konstrukci finální verze senzoru rychlosti větru.

4.1.4 Návrh senzoru směru větru

V případě senzoru pro směr větru byl rovněž proveden průzkum trhu a výsledek byl obdobný. Bylo tedy znovu dospěno k závěru, že je potřeba senzor vyrobit. Navíc zde vyvstal nápad, jak by šlo měření směru větru ještě vylepšit. Většina komerčních senzorů totiž měří směr větru na sektory. To znamená, že se pak z měření pouze dozvíme, z jakého sektoru vítr fouká. Nikoliv přesnou hodnotu úhlu. V každém sektoru je pak umístěn jeden senzor polohy, například Hallova sonda. Jeho výstup pouze udává, zdali se magnet v daném sektoru nachází, nebo ne. Podle počtu sektorů je pak dána přesnost měření. Například v případě šesti sektorů při udávaném směru větru 90° může být skutečný směr větru v intervalu $(60^\circ, 120^\circ)$. Chyba je tedy až 30° . Podstata zlepšení je v nahrazení Hallovy sondy s digitálním výstupem sondou s analogovým výstupem. Z analogové hodnoty pak dokážeme vyčíst nejen kdy se magnet nachází v daném sektoru, ale i jeho přibližnou polohu v rámci sektoru a tím i přesnější určení směru větru. Tento princip byl tedy vybrán pro konstrukci senzoru směru větru.

Pro testování byla vytvořena následující sestava. První návrh obsahoval 6 Hallových sond rozmístěných ve stejné vzdálenosti od rotující osičky osazené permanentním magnetem a ve stejných úhlových rozeztupech 60° . Výstupem tedy bylo 6 analogových hodnot ze sond. Posléze byl však návrh upraven na pouze 3 sondy se zachováním 60° rozeztupů tím, že 3 sondy nacházející se na jedné polovině kružnice byly odstraněny. Aby zůstalo však měření úplné, byla osička doplněna druhým magnetem opačné polarity

umístěným přesně o 180° od prvního magnetu. Nyní když se první magnet dostane do oblasti, kde dříve byly zbylé tři sondy, probíhá měření pomocí druhého magnetu v oblasti sond, které nebyly odstraněny. Tím jsou ušetřeny tři výstupy při zachování veškerých informací. V tomto uspořádání bylo provedeno měření výstupů Halloových sond při otáčení osičky. Výstup z měření je na obrázku číslo 17. Každý průběh reprezentuje data z jedné Hallovy sondy. Na svislé ose je uvedena hodnota z AD převodníku. Ten je 10bitový, maximální hodnota je tedy 1023. Jako referenční napětí používá napájecí napětí 5 V.



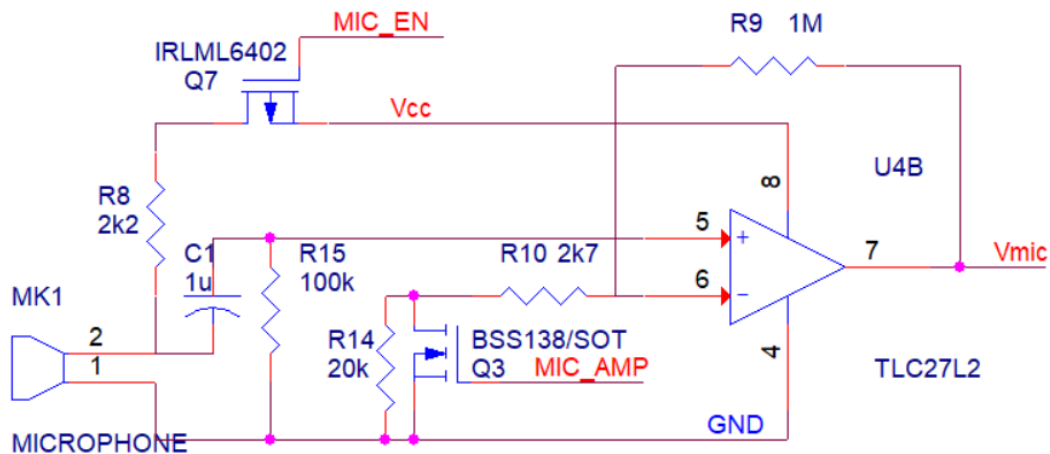
Obrázek 17 - Výstup z Halloových sond senzoru směru větru. Na vodorovné ose je čas(ms), na svislé ose hodnota z ADC(-)

Z naměřených průběhů je patrné, že každá sonda má dvě špičkové hodnoty, jedna odpovídající magnetu natočenému severním pólem a jedna jižním pólem. Z těchto hodnot je už pak získání směru natočení osičky jen otázka zpracování dat. Spodní tři špičky se přes inflexní body převrátí do kladných hodnot a pak se celý 360° rozsah rozdělí na intervaly podle průsečíků průběhů. V každém intervalu má pak jeden průběh vyšší hodnotu než zbylé dva. Ten se ještě dále rozdělí na dvě části podle toho, jestli je hodnota prvního zbývajících průběhů vyšší či nižší než druhého. Tím vznikne poslední interval, který se aproximuje průběhem funkce nejvíce odpovídající jeho průběhu a zkalibruje tak, aby odpovídal hodnotám úhlu jeho úseku jemu příslušícímu.

4.1.5 Návrh senzoru hluku

Senzor hluku se, jak již bylo popsáno výše, realizuje mikrofonem. Nejrozumnější volbou je zde elektretový mikrofon díky jeho jednoduchosti, dostupnosti, ceně a také možnosti napájet ho nízkým napětím s relativně nízkým odběrem.[16] Signál z mikrofonu však nelze přímo snímat analogovým vstupem mikrokontroleru, jelikož se pohybuje pod hranicí 1 mV. Je tedy potřeba ho nejprve zesílit pomocí operačního zesilovače. Schéma zapojení je na obrázku číslo 18. Při měření se nejdříve přivede log. 0 na MIC_EN, čímž se přivede napájecí napětí Vcc přes rezistor R8 do mikrofonu MK1. Přes kondenzátor C1 je pak vedena střídavá složka proudu signálu přes vstupní odpor R15 do země. Napětí na

tomto rezistoru je měřeno operačním zesilovačem zapojeném v neinvertujícím zapojení. Zpětná vazba je tvořena rezistorem R9 a rezistory R10 a R14. V tomto zapojení má zesilovač menší zesílení. Pokud je však signál z mikrofonu příliš malý, lze přivést z mikrokontroleru log. 1 na MIC_AMP, čímž zkratujeme rezistor R14. To zapříčiní zvýšení zesílení, jelikož celková hodnota odporu mezi mínus vstupem OZ a zemí je nyní asi desetinná. Po odměření je pro úsporu energie napájení mikrofonu vypnuto přivedením log. 1 na MIC_EN. Jelikož OZ je nízkopříkonový a jeho spotřeba bez zátěže se pohybuje okolo 20 μ A, není potřeba jej vypínat.



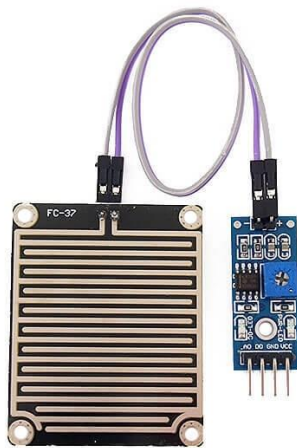
Obrázek 18 - Schéma zapojení zesilovače mikrofonu

4.1.6 Návrh senzoru deště

Jako u výběru ostatních prvků, i u senzoru deště byl proveden průzkum trhu s komerčně dostupnými výrobky. Většina senzorů byla příliš drahá, nicméně nakonec byl nalezen jeden cenově příznivý. Přesto že byl až podezřele moc levný, nakonec byl zakoupen a podroben testování. Jedná se o primitivní senzor deště, jehož snímací část je tvořena deskou plošných spojů. Na ní jsou naneseny dvě poniklované elektrody ve formě hřebenu, které do sebe zapadají, ale nedotýkají se. Fotografie senzoru je na obrázku číslo 19. Princip senzoru spočívá ve spojení elektrod kapkou deště. Každá kapka má nějakou vodivost, a čím více kapek na senzor dopadne, tím vyšší vodivost mezi elektrodami bude. Elektronika senzoru obsahuje pouze několik součástek. Pro analogový výstup je použit běžný odporový dělič, jehož jeden odpor je na desce a druhým odporem je odpor mezi elektrodami, tedy samotné kapky. Senzor má ještě digitální výstup, který je tvořený komparátorem. Ten pouze porovnává napětí na odporovém děliči s přednastaveným napětím z trimru a podle toho dává log. 0 nebo log. 1.

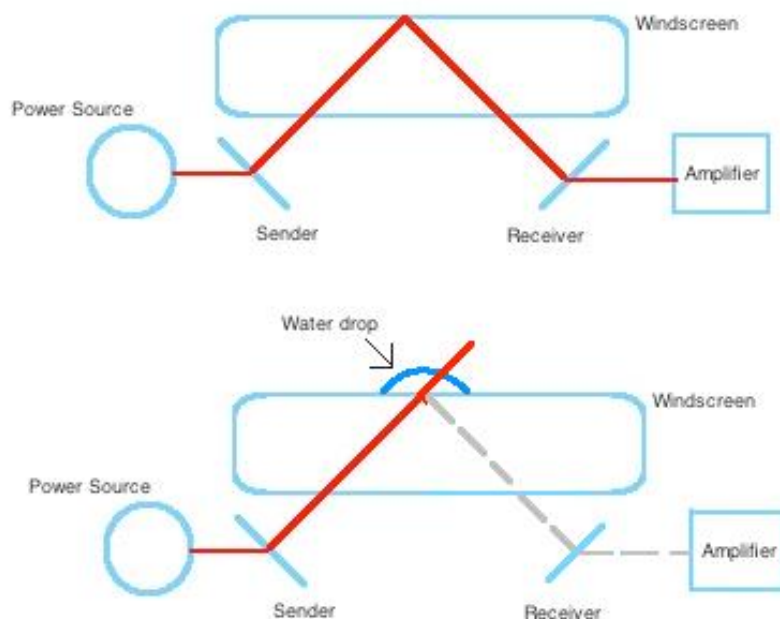
Při měření senzoru byl však objeven jeden jeho nedostatek. Při prvních kapkách dopadajících na suché elektrody skutečně začala hodnota napětí analogového výstupu stoupat, a po nějaké chvíli se dostal do log. 1 i digitální výstup. Když však déšť ustal, kapky na elektrodě zůstaly a senzor tedy dále indikoval déšť. Nepomohl ani sebevětší náklon destičky, kapky na ní stále zůstávaly. Navíc během deště senzor postupně namoká a jeho napětí se zvyšuje až na maximální hodnotu, což však neudává žádnou informaci o aktuální

intenzitě deště. A posledním problémem je fakt, že i přes povrchové ošetření elektrod začnou po nějaké době korodovat a od destičky se odlupovat. Je tedy jasné, že tento senzor je absolutně nepoužitelný. Z toho důvodu bylo i v případě senzoru deště přistoupeno k výrobě vlastního.



Obrázek 19 - Primitivní senzor deště [13]

Nyní tedy bylo potřeba vybrat princip snímání deště. Hlavní požadavek byl, aby senzor uměl měřit i malé srážkové úhrny a dokázal podávat informace o aktuální intenzitě deště. Pro první senzor byl zvolen princip používaný dešťovými senzory na čelním skle v automobilech. Je vyobrazen na obrázku číslo 20. Skládá se z infračerveného vysílače a přijímače, obvykle infra dioda a tranzistor. Dioda vysílá svůj paprsek do čelního skla auta, kde se od vnějšího povrchu skla paprsek odrazí a projde až do tranzistoru, kde je detekován a posléze je vyhodnocena jeho intenzita. Pokud však na sklo dopadne kapka, změní se index lomu venkovního prostředí (dříve vzduch, nyní voda) a část infračerveného paprsku skrz kapku unikne ven. Na tranzistor se tedy dostane paprsek s menší intenzitou a je vyhodnocena přítomnost kapky. S pomocí malé tabulky skla byl tedy tento senzor sestaven. Jako vysílač byla použita infračervená dioda a jako přijímač infračervený fototranzistor. Obě součástky byly přilepeny ke sklu pod úhlem 45° a mezi ně byla vložena světelná clonka tak, aby na sebe přímo neviděly. Princip detekce měl být následovný: skleněná tabulka bude umístěna na dešti se sklonem 45° tak, aby dopadající kapky po ní mohly stékat. Každá kapka, která poteče v dráze snímání bude zaznamenána a podle počtu zachycených kapek v čase bude určena intenzita deště i celkový úhrn srážek. Realita však byla jiná. Vyrobený senzor naprosto selhal. Největší problém byl pravděpodobně v navázání paprsku do skla, jelikož dioda nebyla přímo v kontaktu s ním, ale se vzduchem. Paprsek tak musel nejdříve projít rozhraním pouzdro diody-vzduch a pak rozhraním vzduch-sklo. Zde však docházelo k odrazům a část energie paprsku tak byla ztracena. Obdobně tomu docházelo i při cestě paprsku k fototranzistoru. Další problém byl udržení přesných pozic a úhlů diody a tranzistoru, aby dioda svítila po odrazu přímo do tranzistoru. Kvůli těmto nedostatkům a neschopnosti je spolehlivě vyřešit nemohl být senzor použit.



Obrázek 20 - Princip dešťového senzoru z automobilu [14]

Nyní bylo potřeba přijít s jiným návrhem senzoru deště. Jako jedna z možností se zamlouvalo využití kinetické energie dopadající kapky. Ta by dopadala na membránu, či platformu, která by její energii pohltila a pohnula se. Spodní část membrány by byla opatřena navinutou cívkou, která by se pohybovala v magnetickém poli permanentního magnetu, čímž by vytvářela elektrický signál při dopadu každé kapky. Lze si to v podstatě představit jako reproduktor, který bude fungovat opačně. Ostatně reproduktor byl i využit pro první testování této metody. Na jeho membránu byla přilepena platforma, na kterou kapky dopadaly. Při testování dopadu kapek vytvořených namočením prstu do vody ve skleničce se senzor osvědčil. Na osciloskopu byly naměřeny špičkové hodnoty v jednotkách až desítkách milivoltů. Problém však nastal při testování na reálném dešti. Při mírné intenzitě deště byly kapky vody několikanásobně menší, než při prvním testování a senzor je vůbec nezachytil. Další problém by mohl být i při větší hladině okolního hluku, protože díky podstatě senzoru by ho hluk mohl značně zarušit. Z těchto důvodů bylo od tohoto principu snímání deště upuštěno.

Pro další prototyp senzoru deště byl ve skutečnosti inspirací prvně popisovaný senzor s hřebenovými elektrodami. Ten využíval impedance dešťové kapky pro detekci deště. Problém však byl v setrvávání kapek na elektrodách. Pokud by se tento problém vyřešil, byl by senzor použitelný a dokázal by měřit jak intenzitu, tak celkový úhrn deště. Po delší úvaze byl vymyšlen senzor, který je na obrázku číslo 21. Je tvořen dvěma elektrodami vyrobenými z den dvou plechovek. Ty jsou umístěny nad sebou s malým rozestupem s důraz na jejich vzájemnou izolaci. Jeho princip je jednoduchý. Při dešti dopadají kapky na horní elektrodu a stékají až na její okraj, kde se hromadí do větších kapek. Ty se díky povrchovému napětí drží na okraji až do doby, kde je kapka dostatečně velká. V tu chvíli gravitační síla působící na kapku je větší než síla povrchového napětí držící kapku na okraji. Kapka tedy gravitační síle podlehne a začne skapávat. Při tom se

nejdříve protáhne, v důsledku čehož na chvíli spojí obě elektrody svojí impedancí, aby následně po spodní elektrodě odtekla.



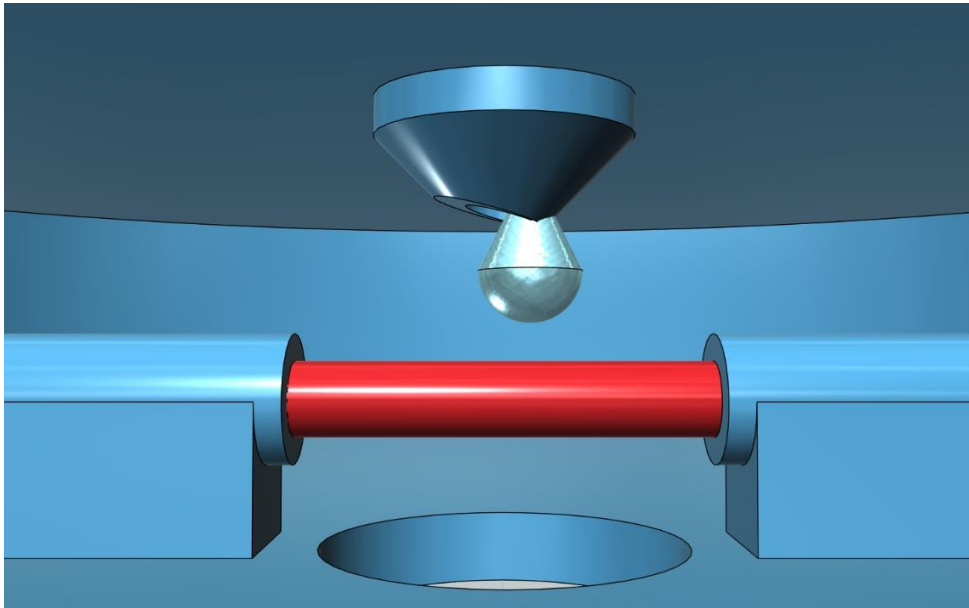
Obrázek 21 - Třetí prototyp senzoru deště

Tato změna impedance mezi elektrodami z nekonečné na konečnou je vyhodnocena pomocí odporového děliče, kde impedance kapky je jedním z odporů, a kapka je tedy zaznamenána v podobě pulzu. Kalibrací lze pak zjistit kolik jedna kapka představuje množství vody a můžeme tímto způsobem měřit jak intenzitu deště, tak celkový úhrn srážek.

Testování potvrdilo funkčnost senzoru a dokázalo i jeho spolehlivost. Jeden problém však senzor měl. Při dopadu kapky na horní elektrodu se větší část kapky rozprskla a na elektrodě zůstala její menší část. Mohlo by se zdát, že tento problém vyřeší kalibrace dat a bude se jednoduše s tímto jevem počítat. Opak je však pravdou. Míra rozprsknutí závisí na velikosti dopadající kapky. Větší kapky se rozprsknou více, kdyžto malé kapky zůstávají téměř celé na povrchu elektrody. Pokud bychom tedy kalibrovali senzor například na rozprsknutí 75 % objemu kapky, tak bychom při slabém dešti a 0 % rozprsknutí naměřili 4x větší úhrn, než by ve skutečnosti byl a naopak. Senzor tedy potřeboval úpravu, která by kapky nejdříve jímala a zpomalila a až posléze je pomalu pouštěla na horní elektrodu. Takovou úpravu by mohl nejlépe zastat trychtýř. Nicméně při použití trychtýře již elektrody nemusí být tak velké ani nemusí mít ten tvar, který mají dosud, ale stačí aby kapka po cestě z trychtýře spojila dvě malé elektrody, které bohatě postačí na její detekci.

Použití trychtýře však umožňuje změnit princip detekce na infračervenou závoru. Ta se umístí přesně pod vyústění trychtýře. Je složená z infračervené fotodiody a fototranzistoru. Za normálních okolností bude tranzistor plně osvětlen diodou. Pokud však nastane déšť, z vyústění trychtýře začnou padat kapky, které vždy na chvíli přeruší infračervenou závoru. Detektor tak bude na chvíli méně osvětlen, na tranzistoru vzroste napětí a kapka bude vyhodnocena. Přiblížený detail infračervené závoru pod vyústěním trychtýře je na obrázku číslo 22. Následný test senzoru potvrdil jeho funkčnost a výborně

detekční schopnosti. Nebyly na něm nalezeny žádné nedostatky, a proto byl tento princip použit pro konstrukci finálního senzoru deště.



Obrázek 22 - Detail infračervené optické závory senzoru deště pod vyústěním trychtýře. Červeně je znázorněn infračervený paprsek, světle modře až stříbrně kapka vody

4.2 Návrh funkčních prvků

4.2.1 Řídicí jednotka

Celý chod meteorologické monitorovací jednotky musí být centrálně řízen jediným obvodem. U velkosériové výroby by se teoreticky mohlo jednat o ASIC čip, nicméně v tomto případě není důvod použití jiného obvodu, než je mikrokontroler. Jedná se o spolehlivý způsob, jak uspokojit veškeré požadavky, které se zde od řídicí jednotky očekávají, a navíc jsou mikrokontrolery většinou cenově dostupné. Výběr mikrokontroleru byl proveden na základě požadavků, které musí splňovat. Jsou jimi:

- **Vybavení pro obsluhu senzorů.** Tím se rozumí alespoň 10 vstupně-výstupních digitálních pinů a 8 vstupních analogových pinů.
- **Možnost převést mikrokontroler do SLEEP módu.** Jedná se o nutnost v případě bateriově napájených zařízení.
- **Podpora datových sběrnic I²C a UART pro komunikaci.**
- **Napájecí napětí v rozmezí 3,3–5 V.** Jedná se o standardní hodnoty pro většinu senzorů, součástek a periférií připojovaných k mikrokontrolerům.

Dále bylo také přihlédnuto k následujícím kritériím výběru, a to:

- **Cena.**
- **Dostupnost.**
- **Uživatelská podpora.**

Jelikož je tato aplikace vcelku nenáročná, vyhovuje pro ni většina dostupných mikrokontrolerů. Není zde potřeba velkého výpočetního výkonu ani vysoké frekvence procesoru. Jelikož první čtyři kritéria splňují také většinou všechny mikrokontrolery, rozhoduje nakonec cena, dostupnost a podpora. V těchto třech kategoriích nakonec vyhraje čip ATMEGA 328P, který je známý především jako vývojový kit Arduino. Exceluje svojí dostupností a uživatelskou podporou. Existuje pro něj nespočet možných knihoven, které značně ulehčují práci při psaní programu. Co se týče ceny je to už horší, za originál si zaplatíte několik set korun. Existují však neoriginální klony, které nabízejí identické hardwarové vybavení za zlomek ceny. Arduino nabízí vlastní IDE s překladačem pro programování. To probíhá přes UART za pomoci převodníku UART-USB. Programování mikrokontroleru je popsáno níže.

4.2.2 Napájení

Při volbě napájení se vycházelo z požadavku na samostatnost jednotky. Musí být tedy energeticky nezávislá. To znamená, že veškerou energii, kterou spotřebuje, si také musí nejdříve vyrobit (ve skutečnosti se jedná o přeměnu energie, nikoliv výrobu). Nejlepší způsob, jak energii získat, je pomocí solárního článku. Ten přeměňuje energii ze slunečního záření na elektrickou energii. Samotný solární článek na napájení systému však nestačí. Jednak slunce svítí pouze ve dne a jednotka musí měřit i v noci, ale také nemusí solární článek zvládnout pokrýt špičkové hodnoty proudu při odesílání dat přes wifi. Z těchto důvodů je potřeba do systému napájení zahrnout médium pro ukládání energie. Jako nejvhodnější varianta je použití dobíjecího akumulátoru. Ten bude hlavním zdrojem energie pro celý systém a pomocí solárního článku bude energie do akumulátoru doplňována.

Výběr solárního článku souvisí s optimalizací spotřeby (ta je popsána v kapitole programování mikrokontroleru). Průměrný proud dodávaný solárním článkem do akumulátoru musí být vyšší než průměrný proudový odběr zařízení. Jak vyplývá z měření (kapitola Proudový odběr zařízení), při nejvyšší frekvenci měření je průměrný proudový odběr 7,7 mA. Při uvážení zimního období, kdy den může trvat pouze 8 hodin a noc 16 hodin by bylo potřeba za den průměrný dobíjecí proud 23,1 mA. To však platí pro nejhorší případy a nejvyšší frekvence měření. S uvážením reálných scénářů by mohl stačit proud nižší. Pro jistotu byl však vybrán solární článek s velkou rezervou ve výkonu. Jedná se o článek s napětím naprázdno 6 V a proudem nakrátko na přímém slunci až 200 mA. Jeho rozměry jsou 150*86 mm. Díky jeho dostatečné rezervě ve výkonu není potřeba používat obvody řídicí dobíjení akumulátoru ze solárního článku (např MPPT obvody) a je možné přímo připojit solární článek na napěťovou sběrnici systému.

Nyní je nutno zvolit baterii, konkrétně její napětí, typ, kapacitu a v případě nutnosti použití více baterií tak jejich sérioparalelní zapojení. Co se týče napětí, vycházíme z napětí, kterým chceme napájet celý systém. Bylo by samozřejmě možné zvolit libovolné napětí akumulátoru a pomocí měničů ho zvyšovat či snižovat. To však s sebou nese jistě nevýhody, a to především ve ztrátách energie v těchto měničích, jelikož nepracují se 100 % účinností. Proč tedy nejít nejjednodušší cestou a nevybrat baterii, jejíž napětí je v požadovaném rozsahu napájecích napětí. To je, jak již bylo výše uvedeno 3,3 - 5 V. Pro tento účel perfektně vyhovují lithiové akumulátory. Jejich nominální hodnota napětí bývá 3,6 – 3,8 V. Plně nabitě mívají okolo 4,2 V a vybité okolo 3 V. Pokud tedy budeme napětí akumulátoru udržovat nad 3,3 V nemělo by být potřeba žádných měničů. Většina použitých

komponent totiž dokáže pracovat s napájením v tomto rozsahu. Jediná výjimka je wifi modul, o kterém je pojednáváno níže.

Dále je potřeba zvolit kapacitu akumulátoru. Jelikož je zařízení koncipováno tak, že se dobíjí vždy, když dopadají sluneční paprsky na solární panel, teoreticky nám stačí, aby akumulátor pokryl noční provoz a přes den se znovu dobila. Pokud budeme uvažovat nejvyšší frekvenci měření, a tedy nejvyšší průměrný proudový odběr 7,7 mA (viz výše), stačila by teoreticky pro nejdélsí noc 16 hodin kapacita 123,2 mAh. Vzhledem však k okolnostem uvedeným v kapitole Proudový odběr zařízení bude skutečný odběr nižší, jelikož s vybíjením akumulátoru bude vzrůstat perioda měření a tím pádem i klesat průměrný odběr. I tak byl ale vybrán akumulátor s mnohem vyšší kapacitou, a to z důvodu kapacitní rezervy a také díky jeho dostupnosti. Jedná se o lithium-iontovou baterii Samsung INR 18650-25R s kapacitou 2500 mAh. Ta bude tedy bez pochyb dostatečná co do kapacity.[15]

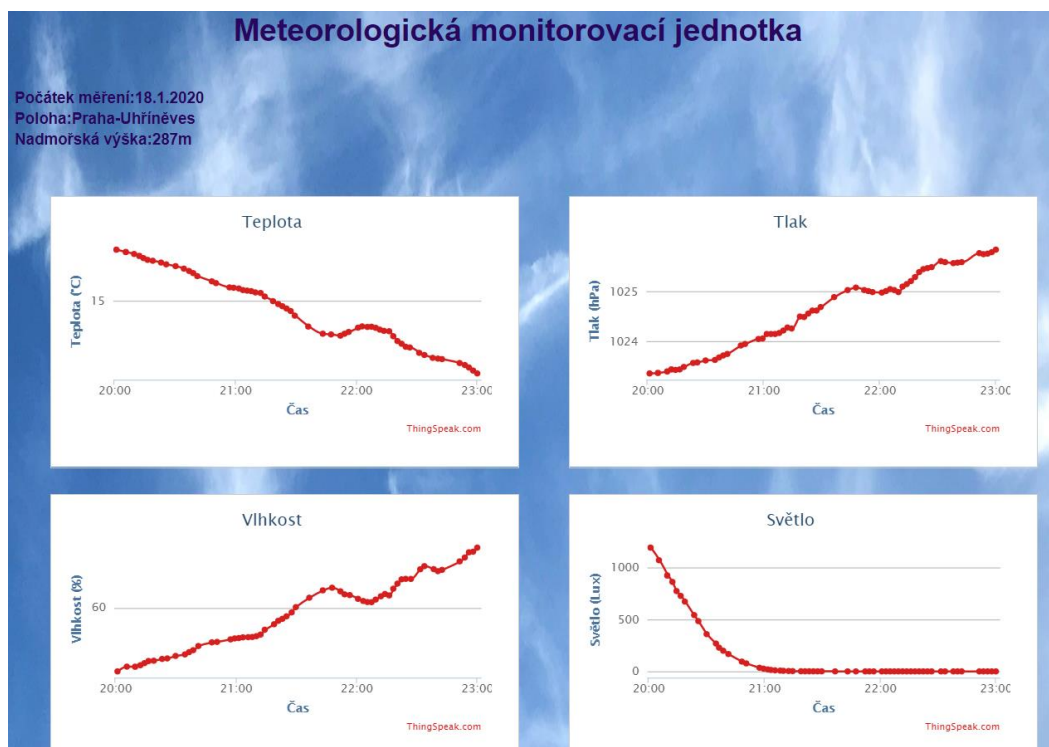
Nedílnou součástí napájení je také ochrana akumulátoru, takzvaná BMS neboli „battery management system“. Ta zajišťuje, aby byl akumulátor provozován za podmínek, ke kterým je určen. BMS poskytuje ochranu proti zkratu, přebití, nadměrnému vybití, přepólování a přetížení. BMS se připojuje přímo na akumulátor a veškeré další obvody jsou k němu připojeny přes ní. Jelikož je odběr BMS v řádu jednotek mikroampér, akumulátor téměř nevybíjí. BMS se vyrábějí podle proudové zatížitelnosti. Jelikož pro tuto aplikaci nepřesahuje maximální proudový odběr ani 0,5 A, postačí nejnižší dostupný model stavěný na 3 A.

4.2.3 Komunikace

Jak již bylo výše zmíněno, pro komunikaci zařízení za účelem odesílání naměřených dat byla zvolena technologie wifi. Co se týče odběru není wifi zrovna „low-power“ komunikačním nástrojem. Mnohem lepší co se týče odběru by zde byla například technologie LoRa nebo BTLE. Proč tedy wifi? Nízký odběr totiž není důvod, proč byla wifi zvolena. Navíc se nepočítá s trvalým navázaným připojením. Jednotka vždy jen naváže připojení, odešle naměřená data a pak hned wifi zase vypne. Tímto způsobem se lze dostat na přijatelné průměrné hodnoty proudového odběru. Skutečný důvod pro výběr této technologie však spočívá v její rozšířenosti. Lokální wifi síť má dnes v domácnosti snad každý. Tím pádem není pro komunikaci s meteorologickou monitorovací jednotkou potřeba instalace dalšího zařízení, které bude obstarávat komunikaci. Postačí pouze umístit meteorologickou jednotku do dosahu již instalované wifi sítě a o komunikaci je postaráno.

Jakožto wifi modul byl vybrán obvod ESP8266-01. Jedná se o obvod typu SoC neboli „System-on-chip“, česky Systém na čipu. Jde o integraci wifi rozhraní, mikrokontroleru a dalších prvků do jediného pouzdra. Obvod má v sobě dokonce zabudovanou i podporu http protokolu. Odesílání dat je pak s ním hračka. Jako jediný obvod v celém systému však vyžaduje pevné napájecí napětí 3,3 V. To je vyřešeno pomocí lineárního regulátoru, který snižuje napětí hlavní napěťové sběrnice na požadovaných 3,3 V. Jelikož má regulátor minimální úbytek 0,4 V, je potřeba, aby napájecí napětí nekleslo pod 3,7 V. Schéma zapojení je na obrázku číslo 23. Způsob, jakým je toho docíleno, je popsán v kapitolách 4.3 Programování mikrokontroleru a 6.3 Proudový odběr zařízení.

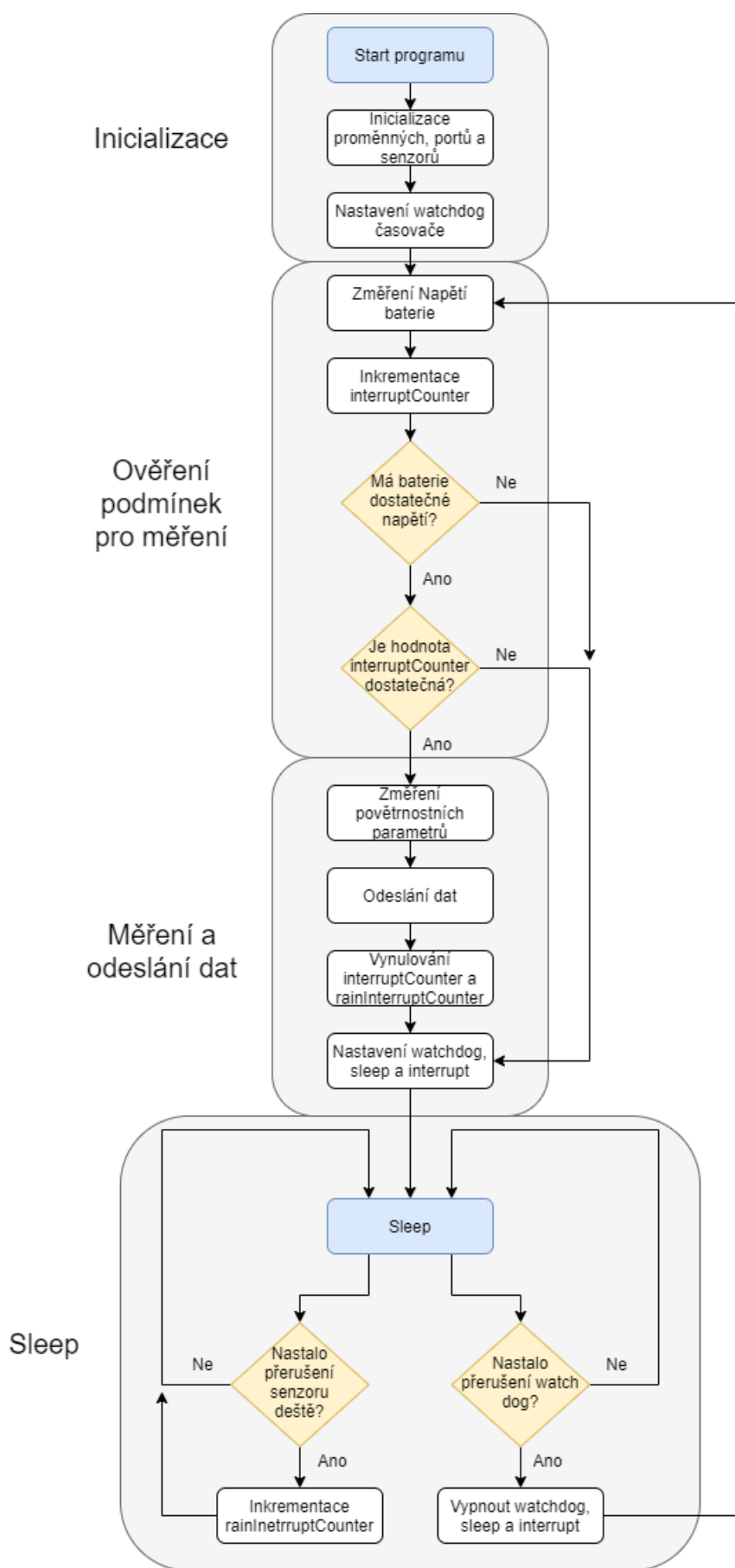
Po vytvoření kanálu je potřeba v něm vytvořit jednotlivá pole, do kterých budou data ukládána. Každé pole pak reprezentuje jeden měřený parametr. Maximum je 8 polí na kanál. Při každém přijetí dat server automaticky zaznamená čas přijetí a spolu s jednotlivými hodnotami zaznamená do jednotlivých grafů. Dále je možné s daty pracovat. K dispozici jsou z dříve zmíněných aplikací například analýzy a vizualizace v Matlabu. Také lze data stáhnout v podobě csv souboru a provést vlastní analýzu například v programu Excel. Kanál může být ponechán privátní, a tedy dostupný pouze pro vlastníka po přihlášení, nebo může být odemknut jako veřejný. Pak do něj může vstoupit kdokoliv, kdo si ho najde v seznamu veřejných kanálů na thingspeak.com nebo kdo má na něj přímo odkaz. Pro zobrazení dat však náhled přímo na serveru thingspeak.com není ideální. Na stránce se kromě grafů s hodnotami nachází i mnoho nepotřebných informací. Z tohoto důvodu byla vytvořena samostatná webová stránka na hostingu ic.cz, která zobrazuje pouze užitečné informace, jimiž jsou grafy s naměřenými hodnotami a základní informace o stanici. Webová stránka je dostupná na adrese mmj.ic.cz. Vzhled stránky je na obrázku číslo 24.



Obrázek 24 - Vzhled webové stránky s naměřenými daty - mmj.ic.cz

4.3 Program mikrokontroleru

Při programování byl kladen důraz na přehlednost a jednoduchost kódu, aby se v něm šlo snadno orientovat a aby mohl být případně v budoucnu upravován a doplňován. Programování probíhalo v jazyce C a bylo k němu použito vývojové prostředí Arduino. Celý kód má necelých 500 řádků. Byl proto umístěn do přílohy práce. Kód lze rozdělit na inicializaci, ověření podmínek pro měření, měření a odeslání dat a sleep. Popis těchto částí následuje. Vývojový diagram programu je na obrázku číslo 25.



Obrázek 25 - Vývojový diagram

Inicializace

První část kódu probíhá pouze jednou, a to ihned po přivedení napájení do mikrokontroleru. Začíná na řádce číslo 1. V této části dochází k definici vstupně-výstupních portů a jejich inicializaci, k založení globálních proměnných, k inicializaci použitých knihoven. Je zde inicializován a nastaven senzor BME280 a softwarový sériový port. Dále je zde přiřazeno přerušení pro senzor deště. To nastane, pokud kapka odkapávající z trychtýře senzoru přeruší infračervenou závoru. Vyhodnocení přes přerušení umožňuje zaznamenat dešťové kapky kdykoliv, ať už procesor spí nebo zrovna provádí jinou akci. Je zde také nastaven onen sleep mód. Pro ten byl vybrán režim „power-down“, což je nejúspornější mód usnutí, ve kterém je většina funkcí mikrokontroleru vypnuta. Přerušení z watch dogu a externí přerušení však procesor dokáže zbudit, a proto jsou také tyto dva způsoby pro probuzení použity.

Ověření podmínek pro měření

Druhá část kódu je obsažena v metodě loop(). Začíná na řádce 121. Veškeré příkazy uvnitř této metody probíhají stále dokola dokud je mikrokontroler pod napětím nebo dokud není resetován. Na začátku je provedeno změření napětí akumulátoru. Podle jeho napětí se pak řídí celý kód. Jeho napětí musí mít minimální hodnotu 3,7 V. To vychází z minimálního potřebného napětí pro wifi modul, což je 3,3 V. Toto napětí však musí být přesné a není povoleno dodávat modulu větší nebo menší napětí. Z toho důvodu byl zvolen lineární regulátor, který stabilizuje napájecí napětí právě na 3,3 V. Stabilizátor má však minimální úbytek napětí 0,4 V. Proto musí být napětí akumulátoru minimálně 3,7 V.

Dále je inkrementována proměnná interrupt_counter. Ta v sobě uchovává počet přerušení watch dogu vykonaných od posledního měření. Watch dog lze totiž nastavit jako časovač s maximálním časem 8 sekund. Po 8 sekundách tedy watch dog vždy způsobí přerušení. S takto velkou frekvencí však nemá smysl měřit a odesílat data. Z toho důvodu je vždy proměnná interrupt_counter inkrementována při tomto přerušení a až při větším počtu těchto přerušení se provede měření.

Proměnná interrupt_counter se vyhodnocuje spolu s napětím akumulátoru. Jedná se o řádku 133. Pokud je napětí akumulátoru nižší, je vyžadována větší hodnota proměnné, což znamená, že se měření provede po delší prodlevě od posledního měření. Snížení frekvence měření ve výsledku znamená snížení spotřeby energie. Čím více je tedy akumulátor vybitý, tím menší frekvence měření je, sníží se odběr a akumulátor má možnost se více dobít. Přesné hodnoty jsou následující: při napětí akumulátoru nad 4 V proběhne měření po 10 přerušeních neboli po 80 sekundách. Pokud napětí klesne pod 4 V, proběhne měření po 30 přerušeních neboli 240 sekundách. Pod 3,9 V je to 50 přerušení a 400 sekund, pod 3,8 V 90 přerušení a 720 sekund a pokud se napětí akumulátoru dostane pod 3,7 V, měření a odesílání dat se úplně zastaví. Toto opatření tak automaticky mění frekvenci měření a odesílání dat tak, aby korespondovala s aktuálním příjmem energie ze solárního panelu.

V letních měsících, kdy jsou dny dlouhé, bude měření téměř stále probíhat s nejvyšší frekvencí. Naopak v zimních měsících, kdy délka dne může dosahovat pouhých osmi hodin a slunce je nízko nad obzorem dosahuje příjem energie ze solárního panelu znatelně nižších hodnot. Z toho důvodu byla implementována další úprava měřicího cyklu. Ta spočívá v měření délky dne pomocí senzoru intenzity světla. Pokud senzor zjistí, že dny se krátí a trvají méně než 11 hodin, přejde režim měření do zimního módu, který má za úkol šetřit energii ještě více. V zimním módu je zakázána nejvyšší frekvence měření po 80 sekundách. Pokud se tedy přes den za slunečného počasí akumulátor dobije na 4 V, nepřejde měření

na 80sekundový interval, ale zůstane na 240 sekundách. To umožní uložení maximálního množství energie do akumulátoru, který pak dovolí větší četnost měření i při následujících dnech se zataženou oblohou.

Měření a odeslání dat

Následuje samotné změřeni povětrnostních parametrů. To začíná na řádce 137. Pro každý senzor byla vytvořena samostatná metoda.

Měření rychlosti větru začíná na řádce 306. Na rozdíl od měření srážek má senzor pro měření rychlosti větru mnohem větší odběr a nemůže tak být zapnut trvale. Měření tedy probíhá jen po určitou dobu, v tomto případě 30 sekund. Je to kompromis mezi proudovým odběrem a přesností měření. V ideálním případě by měření probíhalo neustále a výsledek by byl průměrem za delší časový úsek. Vítr totiž nefouká stále se stejnou intenzitou, ale chvíli fouká slabě nebo i vůbec a pak třeba přijde náraz větru. S kratším časem měření tak lze tyto okamžiky minout a naměřit pak menší rychlost větru. Z toho důvodu byla vyvinuta metoda, jak se reálné rychlosti co nejvíce přiblížit za co nejkratší čas měření. Měření probíhá v 5sekundových intervalech a je opakováno šestkrát za sebou. Za každé 5sekundové měření je vypočítána průměrná rychlost a porovnají se. Nejvyšší hodnota je pak naměřenou rychlostí větru.

Měření směru větru začíná na řádce 343. Stejně jako v případě měření rychlosti větru senzor směru větru spotřebovává relativně velké množství energie. Jedná se o stejný princip snímání, tedy Hallova sonda. Při měření směru větru jsou však použity rovnou tři. Proudový odběr pak dosahuje jednotek mA. Senzor tedy nemůže běžet neustále, ale je potřeba ho vždy zapnout, odměřit, a vypnout. Na rozdíl od rychlosti větru však při jediném měření vždy nějaký směr větru naměříme. Samozřejmě by i zde bylo lepší měřit směr větru delší dobu a následně ho zprůměrovat, nicméně i kvůli snížení spotřeby bylo zvoleno jediné měření i za cenu větší chyby. Nejdříve jsou odečteny hodnoty z AD převodníku odpovídající napětím z Hallových sond. Poté jsou po odečtení střední hodnoty záporné průběhy přepočítány na kladné a jednotlivé úseky rozděleny, viz. vysvětlení u kapitoly 3.2.4. Vzniklé úseky jsou aproximovány lineární funkcí a přepočteny do 30stupňových intervalů. I když lineární aproximace přesně nekopíruje skutečný průběh funkce, byla přesto zvolena díky své jednoduchosti a faktu, že chyba v měření dosahuje maximálně 10 stupňů. Nakonec jsou případné hodnoty větší než 360 a menší než 0 stupňů přepočteny zpět do rozsahu, je přidán úhel kalibrující skutečné natočení senzoru oproti světovým stranám a znovu je úhel přepočten zpět do rozsahu. Výsledkem je pak skutečný směr větru.

Samotné vyhodnocení měření deště začíná na řádce 298. Jak již bylo zmíněno, dešť se však měří neustále, čímž lze zachytit veškeré spadené dešťové kapky s maximální přesností. To je umožněno nízkým odběrem senzoru, který se pohybuje pod hranicí 0,5 mA. Při každé zachycené kapce a jí vytvořeném přerušení se inkrementuje proměnná `rainInterruptCounter`. Při vyhodnocení je pak potřeba vydělit napršené množství časem, během kterého měření probíhalo. Ten reprezentuje proměnná `interrupt_counter`. Udává totiž počet přerušení, které vyvolal `watch dog`. A jelikož tato přerušení nastávají pravidelně po 8 sekundách, vynásobením proměnné osmi dostaneme skutečný čas. Zbývá vynásobení kalibrační konstantou, viz kapitola Kalibrace senzorů.

Měření intenzity osvětlení je oproti předešlým už jednoduchá záležitost. Kód začíná na řádce číslo 282. S pomocí datového listu fotorezistoru [12] a napěťového děliče byla vypočítána aproximace funkce, která ze vstupní hodnoty AD převodníku vypočítá hodnotu intenzity osvětlení v lux, viz kapitola Kalibrace senzorů. Jak již bylo výše zmíněno, použitím prostého odporového děliče sice nezískáme dobré rozlišení v celé měřené oblasti,

ale volbou vhodné hodnoty rezistoru dokážeme oblast s dobrým rozlišením umístit do oblasti, jež nás zajímá nejvíce, a tím tuto nevýhodu potlačit. Součástí výpočtu osvětlení je i výpočet délky dne pro vyhodnocení zimního období a úpravu frekvence měření v tomto období. Pokaždé, když hodnota osvětlení klesne pod 200 lux, je vyhodnocen konec dne, a každé, když následně hodnota osvětlení vystoupá nad 400 lux, je vyhodnocen začátek dne. Hystereze o velikosti 200 lux zajistí potlačení falešného vyhodnocení. Při vyhodnocení konce dne je zároveň spočítána délka dne, a pokud je kratší než 11 hodin (vychází přibližně na období listopad až únor), je den považován za zimní. V zimních dnech je pak za účelem úspory energie snížena maximální frekvence měření.

Měření hluku začíná na řádce 444. Jak již bylo popsáno v kapitole Návrh senzoru hluku, operační zesilovač zesilující signál z mikrofonu je opatřen dvěma stupni zesílení kontrolovanými mikrokontrolerem. Většinou je potřeba zvuk zesílit větším zesílením. Nejdříve tedy proběhne zapnutí napájení k mikrofonu, následované zapnutím většího zesílení. Měření zvuku je pak provedeno 30x za sebou s odstupem 1 ms a hodnoty jsou zprůměrované. Pokud se zjistí, že hodnoty jsou příliš velké, zmenší se zesílení a měření se opakuje. Nakonec je výsledná hodnota kalibrována, aby odpovídala stupnici dB, viz kapitola Kalibrace senzorů.

Nakonec je provedeno měření teploty, tlaku a vlhkosti, které je co do kódu nejjednodušší. Jeho kód začíná na řádce 274. Jelikož je k senzoru k dispozici knihovna, je jeho obsluha zajištěna pomocí ní. Všechny tři „read“ příkazy provedou jedno měření daného parametru a senzor následně převedou zpět do úsporného módu. Teplota a vlhkost jsou rovnou použitelné hodnoty, nicméně tlak je skutečná hodnota tlaku na stanici. V meteorologii se však atmosférický tlak udává přepočtený na hladinu moře, proto je tlak přepočten. Tím je měření všech parametrů ukončeno.

Nyní nastává čas pro odeslání dat na server. To je obstaráno metodou sendData(). Její tělo začíná na řádce 222. Nejdříve je zapnuto napájení lineárního regulátoru, který obstarává napětí 3,3 V pro wifi modul. Dále je zapnut softwarový sériový port pro komunikaci. Prvním poslaným příkazem je samotný příkaz „AT“. Ten pouze zjišťuje dostupnost zařízení. Po odpovědi je modul restartován příkazem „AT+RST“. Poté je pomocí příkazů „AT+CIPMUX“ a „AT+CIPMODE“ nastaven normální mód a vícenásobné připojení. Následně je vytvořen řetězec odesílaných dat „send_string“ obsahující naměřená data. Příkazem „AT+CIPSTART“ je navázáno spojení se serverem, pomocí „AT+CIPSEND“ je posláno info o posílaných datech a pak data samotná. Sever nakonec potvrdí přijatá data uzavřením spojení. Zbývá vypnout napájení wifi modulu, vypnout softwarový sériový port a odeslání dat je hotovo.

Sleep

Když je odměřeno, zbývá vykonat už jen pár příkazů. Čas uplynulý od posledního měření je připočten do délky dne, jsou vynulovány obě proměnné počítající přerušení a je nastaven a spuštěn watch dog. Dále je povolen sleep mód a zařízení je usnáváno. Probuzením zařízení pomocí watch dogu se pak spustí kód obsažený v loop() od znova. Pokud však v době usnávání přijde přerušení od senzoru deště, je nežádoucí, aby kód pokračoval od znova. To vyřeší while cyklus na řádce 158. Ten zařízení znovu usnává každé, když je wdt_flag roven 0. A wdt_flag na hodnotu 1 nastaví pouze přerušení od watch dogu.

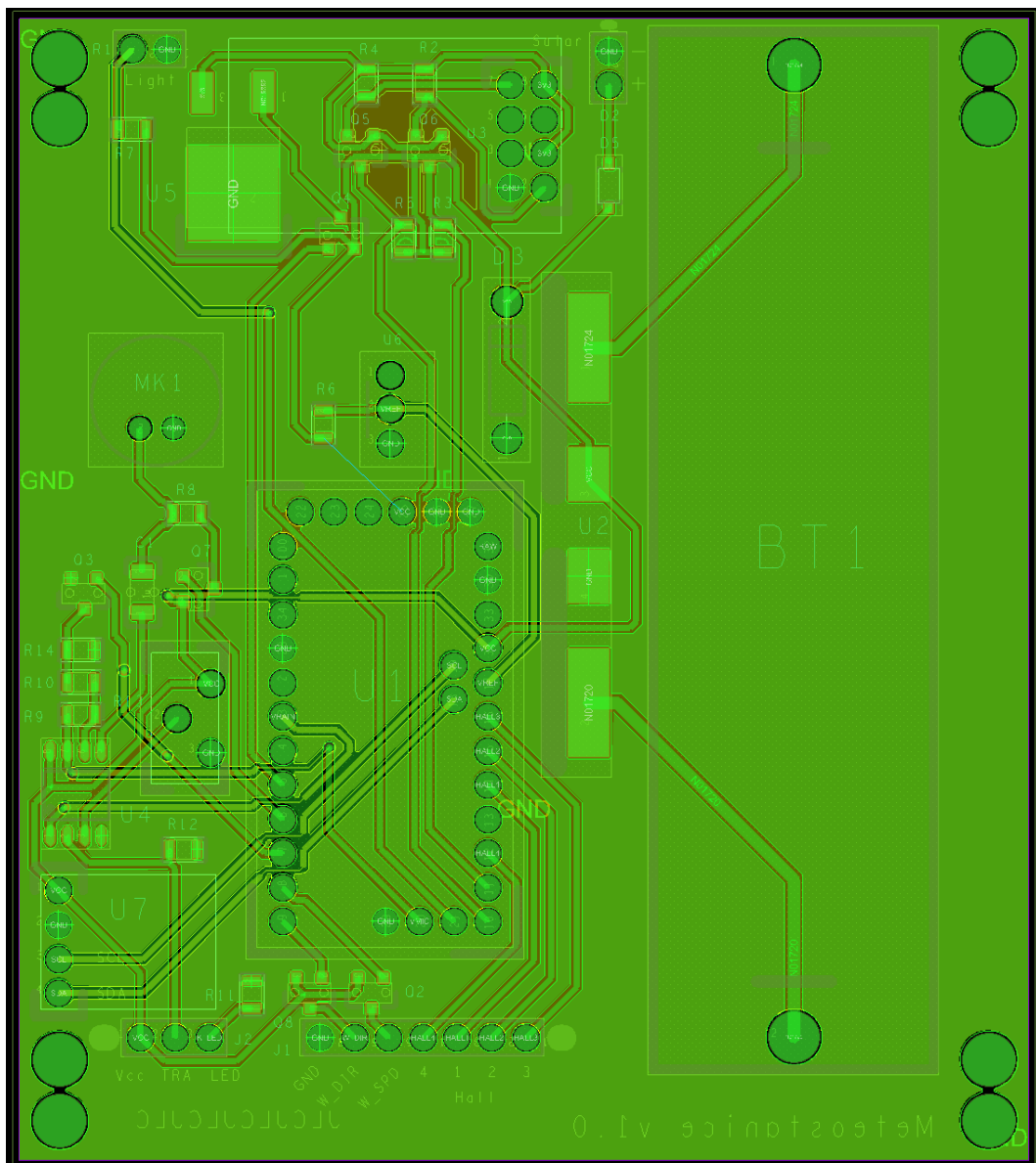
5 Konstrukce funkčního prototypu

5.1 Zapojení v nepájivém poli

Pro vývoj meteorologické monitorovací jednotky bylo použito nepájivé kontaktní pole. Celý obvod v něm byl zapojen a testován až do doby, kdy byla známa jeho finální podoba. V tu chvíli byla vytvořena deska plošných spojů a obvod byl na ní přenesen. Největší výhodou kontaktního pole je rychlost a flexibilita konstrukce obvodů. Nevýhodou však je fakt, že v nepájivém poli lze použít pouze součástky s THT technologií. Při přenosu obvodu na DPS bylo tedy potřeba nákupu nových součástek v SMT provedení. Druhou variantou bylo použití již dostupných THT součástek. S nimi však nelze dosáhnout tak malých velikostí výsledné desky, jako u SMT součástek. Tato varianta byla tedy zavrhnuta, jelikož velikost a kompaktnost výsledného zařízení hraje velkou roli.

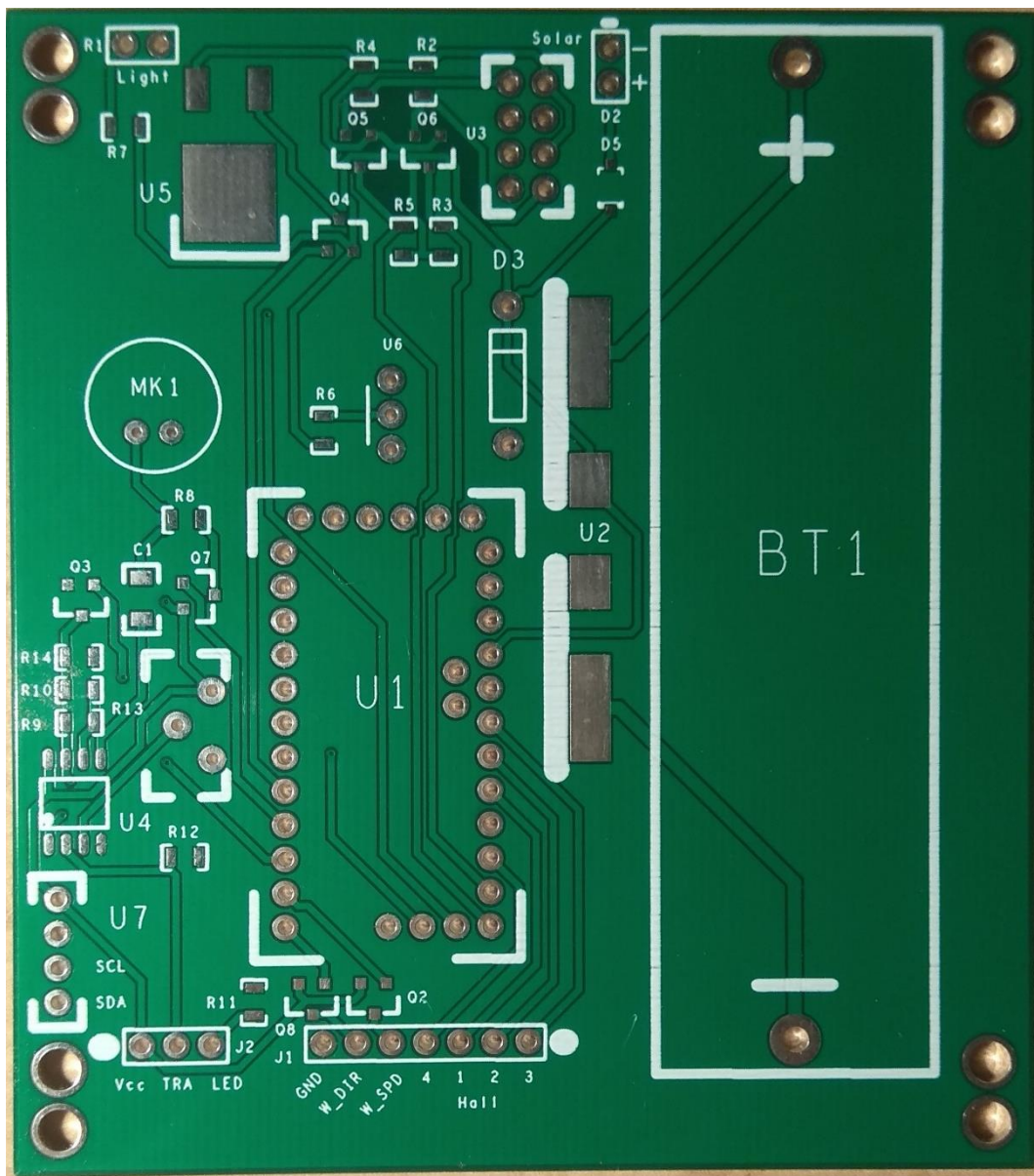
5.2 Deska plošných spojů

Pro vývoj desky plošných spojů byl použit návrhový software OrCad PCB editor. Nejdříve však bylo třeba vytvořit schéma v programu OrCad Capture CIS. Ne všechny součástky však byly v databázi. Pro některé atypické tak bylo potřeba vytvořit vlastní schematickou značku. Celé schéma obvodu je uvedeno v příloze A. Ze schématu pak byl vytvořen netlist, pomocí kterého bylo schéma přeneseno do PCB editoru. Tomu však předcházelo vytvoření „PCB footprintu“ všech součástek, udávající fyzické pozice pinů součástek, jejich velikost a další parametry potřebné pro tvorbu desky. Při návrhu desky bylo třeba dbát na umístění komponent podle jejich funkce. Senzor teploty, talku a vlhkosti je třeba dát co nejdále od potenciálních zdrojů tepla a zároveň co nejnižší ve výsledné krabici, jelikož se ve vrchní části krabice může hromadit vlhkost. Byl tedy umístěn co nejvíce ke spodnímu okraji desky, protože deska bude umístěna v krabici na stojato se spodní částí ve spod. Potenciální zdroje tepla jako je lineární regulátor a wifi modul jakožto komponenta s největším odběrem proudu byly naopak umístěny co nejvíce nahoru, jelikož teplo stoupá vzhůru. Z hlediska rušení byla také snaha umístit citlivé komponenty pracující s nízkým napětím, především operační zesilovač, co nejdále od wifi modulu, pracujícího s relativně velkými proudy. Pro další minimalizaci rušení byla deska opatřena z obou stran rozlitou mědí připojenou na zem. Návrh desky v programu OrCad PCB editor je na obrázku číslo 26 a reálný vzhled desky na obrázku číslo 27.



Obrázek 26 - Návrh desky plošných spojů v programu OrCad PCB editor

Osazení desky probíhalo ručně pomocí kontaktní pájecí stanice. Osazovat je potřeba součástky od nejmenší po největší. Pokud by byly osazeny nejdříve ty velké, nemusel by být dobrý přístup k těm nejmenším. První byly tedy osazeny rezistory v pouzdrech 0805, potom tranzistory v pouzdrech SOT23 následované zbylými SMT součástkami. Poté bylo pokračováno menšími THT součástkami a na úplný závěr bylo usazeno pouzdro na baterii. Nakonec byla deska očištěna isopropanolem od tavidla a nečistot. Osazená deska již v krabičce je na obrázku číslo 34.



Obrázek 27 - Vzhled hotové desky plošných spojů

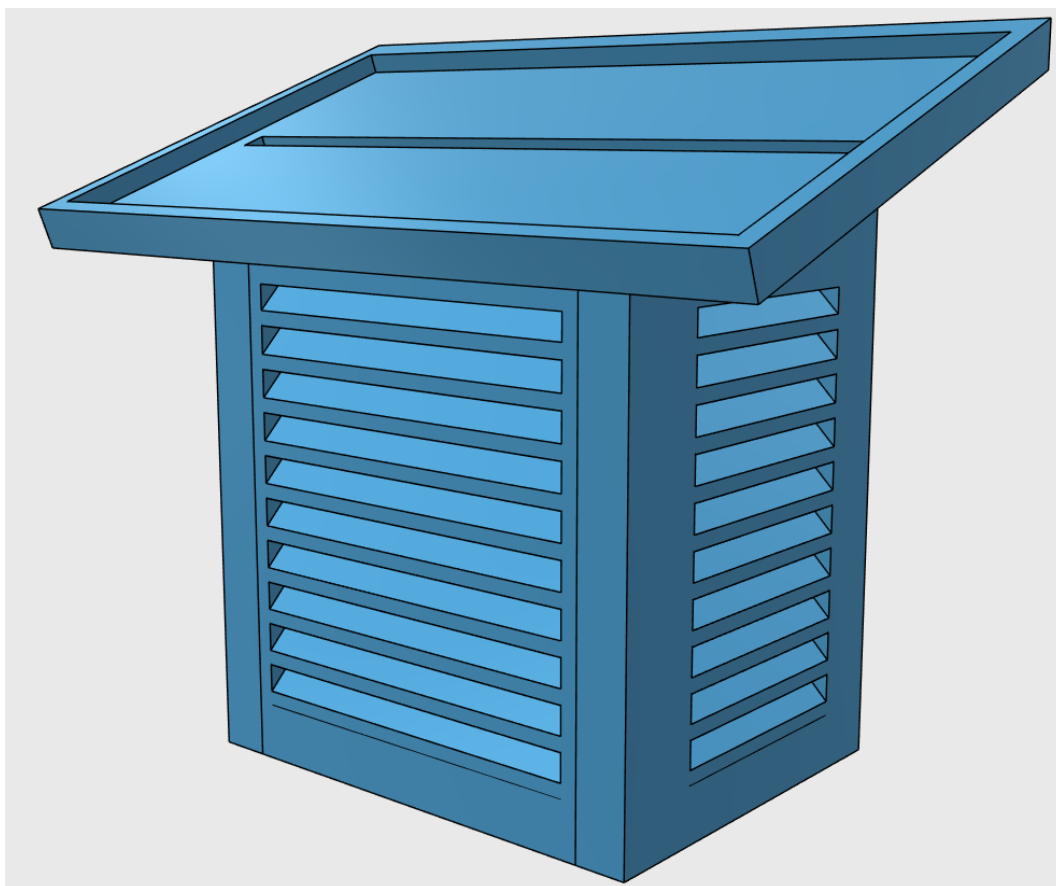
5.3 Konstrukce mechanických prvků

Když byla hotová deska plošných spojů, bylo potřeba zamyslet se, jak bude celá stanice vypadat a jak budou její jednotlivé komponenty vzhledem k sobě umístěny. Větší část systému je přítomna na desce plošných spojů, ke které jsou připojeny pomocí kabelů senzory. Logickým řešením je tedy umístit do centra hlavní jednotku s touto deskou a okolo popřipojovat senzory. Byla tedy navržena montáž hlavní jednotky na vrchní konec svislé hliníkové tyče. Jelikož by senzor rychlosti a směru větru měl být co nejdále od překážek ovlivňující proudění větru, byla kolmo na svislou tyč na její vrchní konec v místě instalace hlavní jednotky připevněna další hliníková tyč o délce jeden metr. Na její jeden konec bude namontován senzor pro rychlost a směr větru a na její druhý konec senzor deště. Hlavní jednotka bude opatřena na vrchní straně solárním panelem. Zbývá už jen umístit senzor světla. Pro něj bylo vybráno místo na samém vrcholu svislé tyče. Jelikož je senzor zalitý

v pryskyřici, není potřeba jej dále chránit proti dešti. Duté tyče mají tu výhodu, že v nich mohou být vedeny kabely k sensorům a jsou tak chráněny před povětrnostními vlivy.

5.3.1 Krabička řídicí jednotky

Nyní bylo potřeba navrhnout a zkonstruovat krabičku, v níž se bude nacházet deska plošných spojů. Vycházelo se z velikosti desky. Bylo by zbytečné, aby krabička byla mnohem větší než samotná deska, jelikož se v ní už nic jiného nenachází. Zároveň však musel být brán zřetel na to, aby se dala deska do krabičky pohodlně vložit. Dalším požadavkem bylo, aby senzor teploty, vlhkosti a tlaku uvnitř měl přístup k okolnímu vzduchu, což je důležité zvláště v případě měření teploty a vlhkosti. Zároveň však musela být elektronika dobře chráněna před proniknutím vody při dešti. Se zvážením těchto dvou kritérií byly stěny vytvořeny z lamel natočených pod úhlem 45 % směrem ven. Tím by se mělo docílit kontaktu senzoru s vnějším prostředím a zároveň zabránění proniknutí vody dovnitř. Krabička také musí obsahovat uchycení desky. To je nejlépe provedeno zacvaknutím desky na připravenou pozici, případně dodatečným zajištěním vruty v případě vůle. Poslední požadavek byla možnost umístění solárního panelu na vrchol krabičky.



Obrázek 28 - 3D model hlavní krabičky

Podle všech těchto požadavků byl vytvořen v programu 123D Design 3D model krabičky, který byl později vytištěn pomocí 3D tiskárny. 3D model je na obrázku číslo 28 a vytištěná krabička na obrázku číslo 29. Jako materiál byl použit termoplast ASA v bílé

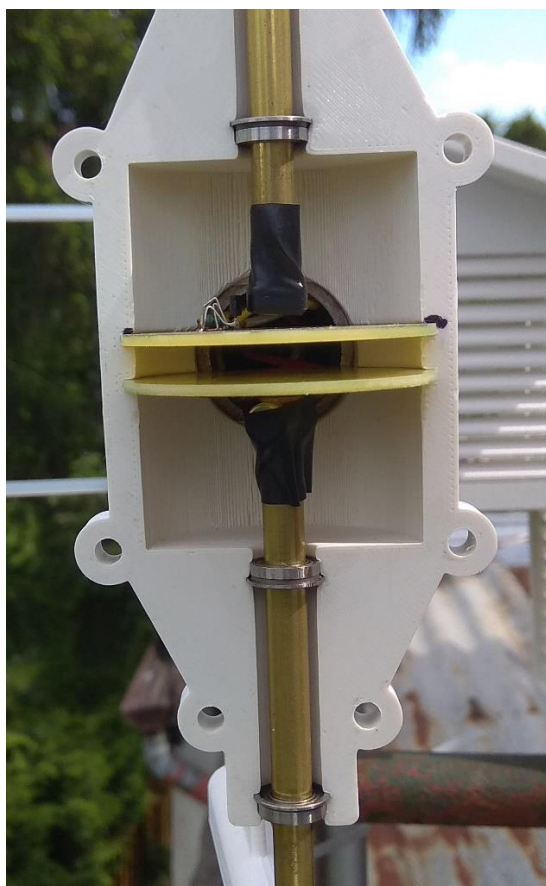
barvě. Byl použit z důvodu dobré odolnosti proti UV záření a dobré mechanické pevnosti. Je tedy vhodný pro venkovní použití. Bílá barva navíc minimalizuje absorpci slunečního záření a tím i nežádoucí ohřívání. Tloušťka vrstvy při tisku byla nastavena na 0,2 mm a výplň na 15 %. Veškerá tato nastavení byla použita i pro zbylé výtisky.



Obrázek 29 - Vytisknutý model hlavní krabičky

5.3.2 Senzor rychlosti a směru větru

Při konstrukci uložení senzoru rychlosti větru a senzoru směru větru bylo rozhodnuto umístit je do jednoho pouzdra. Oba senzory snímají pohyb rotující osičky. Jejich princip je vysvětlen výše v kapitole Návrh senzorů. Pro senzor rychlosti větru byla vyhrazena vrchní část pouzdra a pro senzor směru větru spodní část. Vyhodnocovací elektronika tedy musí být nainstalována uprostřed mezi nimi. Hlavní mechanickou součástí senzoru rychlosti větru je rotující osička. Ta musí být opatřena dvěma ložisky pro umožnění rotace s co nejmenším odporem. Je tedy potřeba do pouzdra zakomponovat uložení těchto ložisek. Na vrchním konci osičky se bude nacházet větrník s lopatkami, do kterých se bude opírat vítr a roztáčet je. Větrník musí být u ukotvení opatřen ochranným prstencem, který brání v proniknutí vody do senzoru okolo osičky. Spodní konec osičky bude osazen dvěma magnety, jejichž pole bude snímáno Hallovy sondami. Magnety budou orientovány stejnou polaritou ven. Konstrukce senzoru směru větru, která se nachází ve spodní části pouzdra, je obdobná. Osička je znovu uložena v ložiscích. Spodní konec osičky je nyní osazen směrovkou, která se v proudu větru natáčí po jeho směru. Vrchní část je také osazena dvěma magnety, nyní jsou však orientované opačnými polaritami ven. Podle těchto požadavků byl vytvořen a vytisknut 3D model pouzdra pro tyto dva senzory. Otevřený je vidět na obrázku číslo 30. Pro snímací část obou senzorů byla navržena kruhová deska plošných spojů. Byla vyrobena ve dvou kusech, pro každý senzor tedy jedna. Na ní byly osazeny Hallovy sondy a desky byly vloženy do středové části pouzdra. Od nich pak vedou kabely ke hlavní jednotce. Celkový pohled na pouzdro senzoru větru je na obrázku číslo 31.



Obrázek 30 - Vnitřní uspořádání senzoru rychlosti a směru větru



Obrázek 31 - Senzor rychlosti a směru větru

5.3.3 Senzor deště

Z mechanických prvků zbývá navrhnout senzor deště. Jeho hlavní částí jsou trychtýř a infračervená optická závora, viz popis z kapitoly Návrh senzorů. U trychtýře je nejdůležitější se rozhodnout, jak velkou plochu hrdla bude mít. Čím větší plocha hrdla bude, tím více srážek dokáže zachytit a tím přesnější měření bude. Nesmí však být příliš velká. Při dešti mírné intenzity dopadají kapky do trychtýře a stékají do jeho vyústění. Tam se hromadí do jedné velké kapky, dokud nemá dostatečný objem na to, aby se uvolnila. Při jejím pádu protne infračervenou závoru, která vygeneruje pulz a kapka je vyhodnocena. Pokud by však byl trychtýř příliš velký a nastal by prudký déšť, do trychtýře by se dostávalo velké množství vody a z jeho vyústění by voda místo odkapávání tekla proudem. Ten by však na rozdíl od kapek nevytvářel na závoře pulzy a déšť by byl chybně vyhodnocen. Trychtýř tedy nesmí být ani příliš velký.

Co se týče infračervené závory, je potřeba ji umístit přesně pod vyústění trychtýře tak, aby kapky padající z trychtýře paprsek závory vždy protnuly. Dále je potřeba myslet na fakt, že detektor nebude přijímat pouze signál z vysílače, ale veškeré infračervené záření na něj dopadající. Největším problémem tak je sluneční záření, které infračervenou složku obsahuje. Je tedy potřeba optickou závoru co nejvíce odstínit od pronikajícího slunečního záření uzavřením do krytu. Úplně to však nelze, jelikož k závoře musí vést vyústění trychtýře, kterým se tam dostávají kapky. Zároveň je potřeba zajistit odvod kapek vody po jejich průchodu optickou závorou. Tím vzniknou dva otvory, jimž do systému bude pronikat sluneční záření. Pro ještě lepší odstínění by bylo vhodné kryt vyrobít z černého plastu, který omezí odrazení paprsků. Černá barva by však zvenku dobře absorbovala sluneční záření a plast by se zahříval a rychle degradoval. Z tohoto důvodu bude ponechána barva bílá.



Obrázek 32 - Stříška nad vyústěním trychtýře senzoru deště

Poslední věcí, na kterou je při návrhu senzoru deště třeba dbát, je spojená s jeho principem. Kapky protínající optickou závoru se uvolňují z vyústění trychtýře vždy při dosažení stejného objemu. Je toho docíleno, jak již bylo zmíněno, stékáním menších kapek po stěnách trychtýře do vyústění a hromaděním se do jedné větší. Pokud by však nějaká kapka padala přesně středem trychtýře přímo do jeho vyústění, nezpomalila by se o jeho stěnu a mohla by díky své kinetické energii uvolnit nashromážděnou kapku nacházející se ve vyústění ještě před dosažením požadovaného objemu. Menší kapka by tak byla zaznamenána a započítána jako větší. Nejednalo by se o velkou chybu, přesto je potřeba ji ošetřit. Jako nejlepší řešení se jeví udělat těsně nad vyústěním stříšku, která všechny kapky mířící přímo do něj přesměruje nedrůve na stěnu, ze které tam již dotečou s menší rychlostí.

Podle všech těchto požadavků byl navrhnut a vyroben 3D model senzoru deště. Uspořádání optické závoru je vidět na obrázku číslo 22, stříška nad vyústěním je na obrázku číslo 32 a hotový senzor deště je na obrázku číslo 33.



Obrázek 33 - Hotový senzor deště

5.4 Problémy při konstrukci

První problém při konstrukci nastal po vytištění 3D modelu pro senzor větru. Jelikož není 3D tisk vždy úplně přesný, nepasovala ložiska do pozice pro ně určené. Vytištěný slot pro ně byl asi o 1,5 mm menší z každé strany. A jelikož má ložisko 1 cm v průměru, byl to docela problém. Řešení bylo několik. Model mohl být znovu nechán vytisknut na přesnější tiskárně nebo jinou, přesnější metodou. To by se však značně prodražilo. Další varianta byla sehnat ložiska, která by do prostoru seděla. To však nebylo příliš reálné, jelikož slot byl zdeformován nepravidelně. Zvolena byla tedy poslední varianta, a to úprava stávajícího modelu tak, aby ložiska seděla. Pro tento účel bylo využito horkovzdušné pájky. Ta byla nastavena na teplotu 200 °C. Vždy bylo pomocí horkého vzduchu zahřáto místo, kam ložisko patří, a pak tam bylo vtlačeno, čímž se nahřátý plast zformoval do požadovaného tvaru. Tím byl tento problém vyřešen.

Další problém podobného charakteru nastal při usazování desky plošných spojů do hlavní krabičky. Znovu byl výtisk o něco větší, a tak se deska do připraveného místa nevešla. Bylo tedy potřeba okrajové části plastu v uložení lehce zbrousit. Poté už šla deska na místo zacvaknout a nemusela se ani přichytit vruty.

Následující problém se týkal vývoje obvodu v nepájivém poli. Komplikace nastaly při provozu wifi modulu. Ten je napájen 3,3 V a při navazování wifi připojení má špičkový odběr až 200 mA. Problém zde tkví v samotném principu kontaktního pole. Vývody součástek jsou zde zasouvány do řad plíšků tvořící kontaktní spojení mezi nimi. Jenže ne vždy je tento kontakt ideální a tvoří se zde nezanedbatelné přechodové odpory, dosahující klidně hodnot kolem 10 Ω . Pokud nám pak tímto kontaktem poteče zmíněný proud 200 mA, vznikne nám zde úbytek napětí 2 V. A to je při napájecím napětí 3,3 V obrovský úbytek. Z kontaktního pole se tak stává spíše pole nekontaktní. Vytvořit tedy spolehlivé a funkční zapojení byla občas výzva.

Poslední problém se týkal senzoru deště. Jelikož byla konstrukce vytištěna na 3D tiskárně, jsou na jeho povrchu patrné vrstvy materiálu, po kterých se díl tiskne. To způsobí, že jeho povrch není dokonale hladký a menší kapky dopadající na jeho povrch ihned nesklouznou až do vyústění, ale zůstanou na místě dopadu. To způsobí, že prvotní kapky deště nejsou naměřeny ihned, ale až když začne pršet více. Jedná se však o minimální chybu, která je přítomna pouze u prototypu. V případě sériové výroby by plastové díly byly vyráběny lisováním do formy a jejich povrch by tedy byl hladký.

6 Ověření funkčnosti a měření

6.1 Prvotní zapojení

Při přenesení obvodu z nepájivého pole na desku plošných spojů bylo nejdříve potřeba předefinovat vstupně-výstupní piny. Zapojení na desce bylo totiž odlišné od toho, které bylo použito při vývoji v nepájivém poli. Poté nastala chvíle oživení obvodu. Nejdříve byly z desky rozpojeny veškeré konektory a vyndány veškeré odnímatelné komponenty. Tímto opatřením se zajistí, že při případné chybě v zapojení nedojde k poškození většího počtu komponent. Místo akumulátoru byl připojen laboratorní zdroj s proudovým omezením na 20 mA a byl zapnut. Po zapnutí si zdroj udržel nastavené napětí 4 V. To znamenalo, že v obvodě není zkrat. Dále bylo změřeno napětí hlavní napájecí sběrnice. Očekávaná hodnota byla 4 V, stejně jako na zdroji. Naměřená hodnota však byla pouze 2 V. Někde tedy byla chyba. Jelikož mezi baterií a hlavní napájecí sběrnicí je pouze obvod ochrany akumulátoru, musel být problém v něm. Byl proveden test „tvrdosti“ oněch naměřených 2 V na hlavní napájecí sběrnicí zatížením 100 k Ω odporem, při kterém toto napětí kleslo téměř na nulu. Napětí akumulátoru bylo tedy téměř izolováno od zbylého obvodu. Nepomohla ani změna napětí na laboratorním zdroji v rozmezí 3-4,2 V. Ochranný obvod akumulátoru se zdál být vadný. Byl tedy vypájen a nahrazen novým obvodem. S ním byl proveden stejný test se stejným postupem znovu. K velkému překvapení však chování nového obvodu bylo naprosto stejné jako starého obvodu. To vedlo k zamyšlení, že se asi nejedná o chybu obvodu ale o jiný problém. Po zkontrolování všech zúčastněných vodivých spojení na desce a vyloučení jejich příčiny byla pozornost opět obrácena k ochrannému obvodu jako k jediné zbývající možné příčině.

S pomocí druhého vypájeného obvodu byla nakonec zjištěna příčina tohoto chování a odhalena chyba v konstrukci tohoto obvodu. Jak již bylo dříve uvedeno, obvod disponuje ochranou před nadměrným vybitím akumulátoru. Ta však nepochopitelně spočívá v monitorování napětí na odběrové straně ochranného obvodu, nikoliv na akumulátoru samotném. Pokud zde napětí klesne pod dovolenou hodnotu, dojde k odpojení akumulátoru od zátěže a tím její ochraně před nadměrným vybitím. Při dobíjení akumulátoru je do tohoto místa připojeno dobíjecí napětí, obvod zvýšení napětí zaznamená, otevře se a probíhá dobíjení. Pokud má však obvod bez připojeného akumulátoru podlimitní napětí na svém výstupu (je tedy rozpojený) a připojíme dobíjecí akumulátor, napětí zůstane nízké a obvod zůstane rozpojený, i když je akumulátor nabit. Obvod je tedy potřeba „nastartovat“ přiložením napětí v povolené mezi na jeho výstup při připojení baterii. Tím se obvod sepne a dále již pracuje, jak má. Tím byl problém s ochranným obvodem akumulátoru vyřešen.

Dalším krokem byla kontrola přítomnosti napětí na patici pro mikrokontroler. Kontrolován byl nejen napájecí pin, ale také zda se nevyskytuje napětí na výstupních pinech. Kontrola proběhla bez chyby a mikrokontroler mohl být vložen do své patice.

Dále byl do mikrokontroleru nahrán testovací software, který zajistil neustálý přívod napájení do všech senzorů a komponent. Na jejich pinech a paticích byla dále ověřena přítomnost potřebných napětí. Největší pozornost byla věnována wifi modulu, protože je jako jediný napájen nižším napětím, a to 3,3 V. Měření potvrdilo tuto hodnotu. I datová komunikace do modulu UART probíhala na 3,3voltové úrovni. Tím bylo oživení ukončeno. Veškeré komponenty byly zapojeny, místo laboratorního zdroje byl do patice vložen akumulátor a do mikrokontroleru byl nahrán správný program pro chod jednotky. Systém pak již pracoval dle očekávání a začal pravidelně měřit a odesílat data.



Obrázek 34 - Osazená deska plošných spojů uvnitř krabičky hlavní jednotky

6.2 Kalibrace senzorů

Po prvotním zapojení a oživení již tedy byla meteorologická monitorovací jednotka funkční, nicméně data, která posílala, nebyla zkalibrována. Bylo tedy přistoupeno ke kalibraci.

Senzor teploty, tlaku a vlhkosti

Jak již bylo popsáno výše, měření teploty, tlaku a vlhkosti probíhá pomocí jediného senzoru, který integruje měření těchto tří veličin na jeden čip. Jedná se o komerčně dostupný senzor, který je již z výroby kalibrován. O to byla práce lehčí. Jedinou veličinou, která potřebovala kalibraci, byl tlak. Ne však z důvodu, že by byly hodnoty chybné, ale z důvodu, že měří skutečný tlak v místě senzoru. V meteorologii se však obvykle tlak uvádí přepočtený na hladinu moře. Přepočet je proveden podle následujícího vztahu:

$$p_0 = \frac{p}{\left(1 - \frac{0,0065 * h}{t + 0,0065 * h + 273,15}\right)^{5,257}}$$

5.2.1

Kde $p_0(hPa)$ je výsledný tlak přepočtený na hladinu moře, $p(hPa)$ je skutečný tlak v místě stanice, $h(m)$ je nadmořská výška stanice a $t(^{\circ}C)$ je teplota vzduchu na stanici.

Senzor intenzity osvětlení

Intenzita osvětlení je měřena pomocí fotorezistoru. V jeho datovém listu [12] je uveden průběh hodnot jeho odporu v závislosti na hodnotě osvětlení. S pomocí tohoto grafu byla učiněna aproximace funkce, která převádí přečtenou hodnotu z AD převodníku na hodnotu osvětlení v lux. Její tvar je:

$$E = \frac{11220}{\left(\frac{20}{1024 - ADC} - 1\right)^{1,35}}$$

5.2.2

Senzor rychlosti větru

Nekalibrovaná data ze senzoru rychlosti větru udávají, kolik půlotáček lopatky senzoru udělají za 5 sekund. Kalibrací bylo potřeba tuto hodnotu převést na skutečnou rychlost větru. Kalibrace výpočtem by v tomto případě byla velice složitá až nemožná, jelikož v ní hraje roli spousta proměnných. Z toho důvodu probíhala kalibrace měřením. Senzor větru byl vystrčen z okna jedoucího auta. Byla zaznamenávána rychlost auta v 10 km/h krocích a příslušná hodnota naměřená senzorem. Hodnoty byly posléze porovnány a výsledkem byla kalibrační konstanta, kterou se data ze senzoru přenásobila. Pak už senzor měřil skutečnou rychlost větru.

Senzor směru větru

Kalibrace senzoru směru větru byla relativně jednoduchá. Senzor již udává úhel natočení směrovky v celém 360stupňovém rozsahu. Ten je však relativní ke konstrukci meteorologické jednotky. Kalibrace tak spočívá v přičtení nebo odečtení úhlu, který je rozdílem nulového úhlu v rámci jednotky a skutečného nulového úhlu, tedy severu. Jelikož je solární panel instalován pevně na jednotce a pro nejvyšší účinnost musí být natočen na jih, musí s ním být natočena i celá jednotka, a tedy i senzor větru. Tím se zajistí správná orientace senzoru.

Senzor hluku

Nekalibrovaná data ze senzoru hluku udávají naměřenou zesílenou průměrnou aktuální hodnotu napětí střídavé složky signálu z mikrofonu. Kalibrace výpočtem by zde byla znovu příliš složitá. Nejen že se z datového listu mikrofonu nedozvíme amplitudu signálu při snímání zvuku dané frekvence o dané hlasitosti, ale musela by se uvážit poloha mikrofonu v krabičce, kde se zvuk odráží a také snížení hlasitosti zvuku vstupem do krabičky. Z těchto důvodů byla kalibrace rovněž provedena měřením. Zařízení bylo vystaveno hluku typu bílý šum o hlasitostech se skokem 10 dB a byla snímána naměřená hodnota mikrofonem. Ta pak byla porovnána se skutečnou hlasitostí a podle ní zkalibrována.

Senzor deště

Kalibraci senzoru deště lze provést jak výpočtem, tak měřením. Obě metody byly vyzkoušeny. Kalibrace výpočtem je založena na objemu vody v kapce, která se uvolňuje z vyústění trychtýře a je zachycena optickou závorou a započítána. Tyto kapky se uvolňují vždy při dosažení stejného objemu, jak již bylo popsáno výše. Spočítáním tohoto objemu kapky a vynásobením počtem zaznamenaných kapek pak dostaneme celkový objem napršené vody do trychtýře. Přepočtem přes plochu hrdla trychtýře na jeden metr čtvereční pak dostaneme výšku vodního sloupce v mm a podělením časem v hodinách, kdy pršelo, dostaneme i intenzitu deště v mm/h. Problém této metody je přesné určení objemu kapky při uvolnění.

Kalibrace měřením spočívá v umístění nádoby o známé ploše hrdla do blízkosti senzoru a nechá se do ní napršet voda. Po skončení deště se množství vody napršené do nádoby změří (nejpřesnější je zvážení) a přepočtením přes plochu hrdla nádoby se zjistí napršené množství vody na metr čtvereční. Naměřená data počtu kapek ze senzoru se přepočítají přes jeho plochu hrdla také na metr čtvereční a podělí se jimi skutečný srážkový úhrn. Vznikne kalibrační konstanta, kterou přenásobíme data ze senzoru a získáme skutečný srážkový úhrn. Porovnáním s kalibrací výpočtem pak bylo zjištěno, že se výpočet lišil téměř o jeden řád od skutečné hodnoty. Tím byla kalibrace dokončena.

6.3 Proudový odběr zařízení

Důležitým měřeným parametrem byla spotřeba zařízení. Jelikož má být zařízení energeticky nezávislé a veškerou spotřebovanou energii si také musí vyrobit, je potřeba s ní šetřit. Proto je potřeba vždy vypínat všechny nepotřebné komponenty, aby zbytečně

nespotřebovaly energii. Jako cíl byla stanovena spotřeba celého systému při nečinnosti do 1 mA. Níže jsou popsány spotřeby jednotlivých komponent.

Mikrokontroler

Už při výběru mikrokontroleru bylo na spotřebu dbáno. Jedno z kritérií byla přítomnost sleep módu. Vybraný mikrokontroler ATMEGA 328P byl vybrán s vývojovým kitem Arduino pro mini. To na rozdíl třeba od Arduino nano nemá zabudovaný převodník UART-USB, který zbytečně spotřebovává proud. Stále je však osazen lineárním regulátorem napětí a LED signalizující napájení čipu. I když je mikrokontroler napájen přímo, lineární regulátor přesto spotřebovává nějakou energii. Byl tedy spolu s LED odstraněn z desky pro minimalizaci spotřeby. Ve sleep módu mikrokontroler spotřebovává 23 μA a při provozu s periferiemi popsány v kapitole 4.3 Program mikrokontroleru 1,5 mA.

Wifi modul

Většina energie, kterou meteorologická jednotka spotřebuje, končí ve wifi modulu. Komunikace přes wifi je energeticky náročná, a proto je potřeba ji zkrátit na nejnutnější minimum. Po většinu doby komunikace si modul drží odběr 100 mA, avšak při navazování spojení je tento odběr 200 mA po dobu 0,5 s. Komunikace obvykle trvá mezi 4–8 s. Při vypnutí modulu pomocí MOSFETu je jeho odběr nulový.

Senzor teploty, tlaku a vlhkosti

Tento trojitý senzor je přímo dělaný pro bateriové napájení. Umí se při nečinnosti uvést do sleep módu, ve kterém spotřebovává neuvěřitelných 100 nA. Dokonce při měření všech tří veličin s frekvencí 1 Hz má průměrnou spotřebu pouhých 3,6 μA . To však ani není tento případ. Zde probíhá měření nejčastěji jednou za 2 minuty. Jeho spotřeba je tak vůči ostatním součástkám zanedbatelná.

Senzor hluku – mikrofón

Mikrofón lze rovněž zapínat a vypínat pomocí MOSFETu. Jeho odběr v zapnutém stavu při napájení 4 V je 0,91 mA a vypnutý nespotřebovává žádnou energii.

Senzor světla

Fotorezistor, který snímá intenzitu osvětlení, mění svůj odpor v závislosti na osvětlení, a tím i tedy svoji spotřebu. Kvůli přesnému měření je v provozu neustále. Jeho odběr však nemusí dělat vrásky na čele. Když je hodně osvětlen, má vyšší odběr. To ale zároveň znamená, že je i hodně osvětlen solární článek a do systému vstupuje mnohem víc energie, než senzor spotřebuje. Za tmy má odpor v řádu megaohm a nespotřebovává tedy skoro nic.

Senzor rychlosti větru

Také je opatřen MOSFETem, a tedy je možné jej vypínat. Jedná se o Hallovu sondu, která má odběr 4 mA. Měření rychlosti větru probíhá 30 sekund. Při vypnutí je odběr nulový.

Senzor směru větru

Další senzor opatřený MOSFETem pro vypínání. Při měření, trvajícím 50 ms, jeho Hallovy sondy spotřebovávají dohromady 20 mA. Při tak krátkém čase měření je to však odběr zanedbatelný.

Senzor deště

Aby bylo měření deště co nejpřesnější a byla zachycena každá kapka, je senzor deště v provozu nepřetržitě. Tomu byla také přizpůsobena spotřeba. Ta je tvořena především odběrem infračervené diody, která svítí neustále. Její příkon však nemohl být zredukován příliš, protože by pak na fototranzistor dopadalo jen minimum záření, které by bylo těžké detekovat. Spotřeba celého senzoru je asi 0,5 mA. Je však v provozu neustále, čímž tvoří největší část odběru zařízení při nečinnosti a vyčerpává celou polovinu stanoveného cílového limitu 1 mA.

Napět'ová reference

Pro měření napětí akumulátoru je v zařízení přítomna napět'ová reference 2,5 V, která je v provozu neustále. Pro spolehlivou činnost potřebuje proudový odběr 75 μ A.

Ochranný obvod akumulátoru

I takzvaný BMS spotřebovává nějakou energii. Hodnota proudového odběru je však menší než 6 μ A, lze ji tedy v porovnání s ostatními odběry zanedbat.

Odběr při nečinnosti

Odběr při nečinnosti neboli když je mikrokontroler ve sleep módu a všechny vypnutelné komponenty jsou vypnuty, je velmi malý. Jak již bylo zmíněno, nejvíce energie spotřebovává senzor deště, a to 0,5 mA. Sečtením odběrů zbylých komponent vyjde hodnota 130 μ A. Dohromady tedy systém při nečinnosti odebírá 0,63 mA, což je méně, než stanovený cílový maximální odběr 1 mA.

Odběr při měření a odesílání dat.

Zde už bude odběr složitější a je potřeba jej pečlivě vypočítat. Skládá se z trvalého odběru 1,5 mA mikrokontroleru, odběru wifi modulu průměrně 100 mA po dobu 5,5 s a 200 mA po dobu 0,5 s, odběru mikrofónu 0,91 mA po dobu 630 ms, odběru senzoru rychlosti větru 4 mA po dobu 30 s, odběru senzoru směru větru 20 mA po dobu 50 ms a trvalý odběr ostatních komponent, které běží i při nečinnosti 0,6 mA. Výpočet průměrného proudu při měření pak vypadá takto:

$$I = 1,5 + 0,6 + \frac{100 * 5,5 + 200 * 0,5 + 0,91 * 0,63 + 4 * 30 + 20 * 0,05}{5,5 + 0,5 + 0,63 + 30 + 0,05} mA$$

$$I = 23,14 mA$$

Průměrná proudová spotřeba za 36,63 s měření tedy vychází 23,14 mA.

Průměrná proudová spotřeba za celý cyklus obsahující jedno měření a 80sekundovou prodlevu pak je:

$$I = \frac{23,14 * 36,63 + 0,63 * 80}{36,63 + 80} mA = 7,7 mA$$

Pro 240sekundovou prodlevu:

$$I = \frac{23,14 * 36,63 + 0,63 * 240}{36,63 + 240} mA = 3,61 mA$$

Pro 400sekundovou prodlevu:

$$I = \frac{23,14 * 36,63 + 0,63 * 400}{36,63 + 400} mA = 2,52 mA$$

Pro 720sekundovou prodlevu:

$$I = \frac{23,14 * 36,63 + 0,63 * 720}{36,63 + 720} mA = 1,72 mA$$

Z dat je patrná postupná konvergence průměrného proudového odběru při zvyšování prodlevy až k hodnotě odběru při nečinnosti, které by bylo dosaženo při nekonečné prodlevě. Zároveň je však úctyhodné, že i při nejvyšší frekvenci měření s periodou 80 sekund je průměrný proudový odběr pouhých 7,7 mA. Pro udržitelnost tohoto módu, a tedy energetickou soběstačnost by tak bylo potřeba dobíjet baterii ze solárního článku průměrným proudem 7,7 mA (při uvážení bezztrátovosti nabíjení). Za předpokladu stejně dlouhého dne a noci by pak musel solární článek přes den dobíjet baterii proudem 15,4 mA, což vybraný solární článek zvládne i při polojasné obloze. Zařízení je tedy s velkou rezervou energeticky soběstačné.

7 Prototyp meteorologické monitorovací jednotky

Postavený prototyp meteorologické monitorovací jednotky je prototypem chytré meteostanice. Jedná se o samostatnou kompaktní jednotku, umístěnou na střeše domu, která měří povětrnostní parametry a v reálném čase naměřená data odesílá na server v internetu. Měřenými parametry jsou teplota, tlak, vlhkost, intenzita osvětlení, rychlost větru, směr větru, hluk a intenzita srážek. Měřená data jsou odesílána pomocí technologie wifi a na server v internetu putují skrz lokální wifi síť. Pro základní prohlížení dat využívá webového rozhraní, které čerpá data z onoho serveru. Při další potřebě práce s daty a jejich analýze je možné využít webové aplikace nabízené poskytovatelem serveru, nebo data stáhnout a analyzovat je offline na osobním počítači. Meteorologická monitorovací jednotka je energeticky soběstačné zařízení. Je napájena z lithiového akumulátoru, který je dobíjen solárním článkem. Jeho výkon je dostatečný na to, aby udržel jednotku v chodu i za nepříznivých světelných podmínek. K tomu mu pomáhá i chytrý systém optimalizace spotřeby, který v případě zhoršených světelných podmínek zajistí snížení proudového odběru zařízení. Pohled na celou jednotku je na obrázku číslo 35.



Obrázek 35 - Prototyp meteorologické monitorovací jednotky

7.1 Potřebné úpravy pro sériovou výrobu

Jak již bylo řečeno, postavená meteorologická monitorovací jednotka je pouze prototypem zařízení. Pokud by se mělo přejít k její sériové výrobě, bylo by nutné udělat několik úprav a také změn postupů. Zde je uvedeno několik z nich.

- **Lisování plastových dílů.** Všechny plastové komponenty v prototypu byly vytištěny na 3D tiskárně. Je to nejjednodušší způsob, jak prototyp vytvořit. V sériové výrobě by však byl nepoužitelný hlavně kvůli vysoké ceně tisku, dlouhé době tisku a také jeho nepřesnosti, viz kapitola Problémy při konstrukci. Z těchto důvodů by musely být plastové komponenty vyráběny lisováním do formy.
- **Ochrana hlavní jednotky proti dešti.** I když byla hlavní jednotka v prototypu navržena s ohledem na ochranu před vniknutím vody použitím lamel na její stěny, nemusí být tato ochrana dostatečná. Lamely zabrání vniknutí vody při běžném dešti, jelikož voda po nich steče. Při prudkém dešti a silném větru však voda může zafouknout po lamelách a dostat se tak až do zařízení. Tomu by zabránila síťka instalovaná na vnitřní část lamel přes celou stěnu. Na síťce by se případná voda zachytila a stekla by po ní na dno, odkud by již otekla výtokovým otvorem. Další ochranou, která by byla potřeba zavést, je ochrana desky plošných spojů před korozí. Veškeré části desky kromě senzorů by musely být zality do pryskyřice a veškeré konektory a kontakty by musely být pozlacené, aby nedocházelo k jejich korozi a ke vzniku přechodového odporu.
- **Ochrana senzorů před hmyzem.** Jelikož se jedná o venkovní zařízení, mohlo by sloužit jako úkryt hmyzu, především pavoukům. Nejnáchylnější by pak byl senzor deště, který má v sobě dva otvory, jimiž by se mohli pavouci dostat dovnitř. Navíc je zde zdroj infračerveného záření, které by je mohlo přitahovat. Jako opatření by tedy bylo potřeba instalovat na senzor do obou otvorů mřížku s dostatečně malými oky, aby pavouk neprošel ale zároveň dostatečně velkými oky, aby nebránila průchodu vody. V hlavní jednotce by mřížka chránící před vniknutím vody zároveň mohla chránit i před hmyzem.

- **Automatizace osazování desky plošných spojů.** K úpravě by muselo dojít i u DPS. I když byla již v prototypu navržena s většinou SMT součástek, v sériové výrobě by musely být odstraněny všechny moduly a počet SMT součástek maximalizován. To by umožnilo automatizované osazení desky a tím i rychlejší a levnější výrobu.

8 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a zkonstruovat prototyp meteorologické monitorovací jednotky, která bude měřit teplotu, tlak, vlhkost, rychlost větru, směr větru, hluk a intenzitu deště.

Nejdříve jsem popsal principy měření jednotlivých povětrnostních parametrů a uvedl, které se v meteorologii nejvíce používají.

Z nabytých poznatků jsem navrhnul koncept meteorologické monitorovací jednotky. Návrh jsem rozdělil na dílčí návrhy jednotlivých částí, které jsem podrobněji popsal a tvořily funkční celek. Zvláštní pozornost jsem věnoval návrhu senzorů.

Pomocí tohoto konceptu jsem zkonstruoval funkční prototyp meteorologické monitorovací jednotky. Popsal jsem tvorbu desky plošných spojů, konstrukci mechanických dílů a vzniklé problémy při konstrukci a jejich řešení.

Na závěr jsem otestoval funkčnost zkonstruovaného prototypu a zkalibroval senzory. Důraz jsem také kladl na změření spotřeby jednotlivých prvků zařízení. Dosažené parametry prototypu se shodovaly s komerčními výrobky a v mnohých směrech je i předčily.

Mohu konstatovat, že jsem všechny body zadání splnil i přes malé problémy, které se při konstrukci objevily.

9 Použitá literatura

- [1] Vojáček Antonín, Přehled principů el. Měření teploty – 1. díl [Online] <https://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil>, 24.6.2014
- [2] Kadlec Karel, Kmínek Miloš, Měřicí a řídicí technika [Online] <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4k43-tepl.htm>, VŠCHT v Praze, únor 2005
- [3] Stříteská Renata, Moderní metody měření teploty [Online] <https://is.muni.cz/th/e7v94/TISK1.txt>, Masarykova univerzita v Brně, 2010
- [4] Jakubec Jan, Měření tlaku [Online] https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16195, VUT v Brně, 2010
- [5] Formánek Josef, Podklady k principu měření tlaku (podtlak, přetlak) [Online] <http://home.zcu.cz/~formanek/mmvvyuka/Data/ivk-mt-soubory/10-F.pdf> [cit. 20.5.2020]
- [6] Redakce HW serveru, Vlhkoměry [Online] <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vlhkomery.html-0>, 10.1.2004
- [7] Bajgar Jiří, Luxmetr [Online] <https://core.ac.uk/download/pdf/30282016.pdf>, VUT v Brně. 2013
- [8] Ratica Lukas, Rozdělení mikrofonů [Online] <https://www.fi.muni.cz/lemma/referaty/10/18.pdf> [cit. 20.5.2020]
- [9] Kresta Daniel, Měření okamžité hodnoty intenzity deště akustickou metodou [Online] <https://core.ac.uk/download/pdf/30282512.pdf>, VUT v Brně, 2014
- [10] BOSCH, Humidity sensor [Online] <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/> [cit. 20.5.2020]
- [11] BOSCH, Combined humidity and pressure sensor, datový list [Online] https://aebst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BME280-DS002.pdf [cit. 20.5.2020]
- [12] GL55 Series Photoresistor, datový list [Online] <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.520-083.1.pdf> [cit. 20.5.2020]
- [13] Continental Electronics, Rain sensor [Online] <https://www.continental.sg/sensor/products/rain-sensor> [cit. 20.5.2020]
- [14] Automotive Electronics, Rain Sensors [Online] <https://cecas.clemson.edu/cvel/auto/sensors/rain-sensor.html> [cit. 20.5.2020]
- [15] SAMSUNG INR18650-25R, datový list [Online] <https://www.powerstream.com/p/INR18650-25R-datasheet.pdf> [cit. 20.5.2020]
- [16] Electret condenser microphone OA67PF583C2PER, datový list [Online] <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.643-028.1.pdf> [cit. 20.5.2020]
- [17] Meteostanice Emos E8860 [Online] <https://www.alza.cz/emos-e8860-d5223222.htm> [cit. 20.5.2020]
- [18] Meteostanice Sencor SWS 9700 [Online] <https://www.alza.cz/sencor-sws-9700-d5077471.htm> [cit. 20.5.2020]

- [19] Meteostanice Eurochron EIWS 1 [Online] <https://meteorologicke-stanice.heureka.cz/eurochron-eiws-1/> [cit. 20.5.2020]
- [20] Encyklopedie fyziky, Seebeckův jev [Online] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/910-seebeckuv-jev> [cit. 20.5.2020]
- [21] Bejček Ludvík, Vaculík Jan, Snímače tlaku [Online] https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/42719.pdf, časopis Automa č. 2,7,10 a 11/2007
- [22] Fotoelektrické snímače [Online] <http://352lab.vsb.cz/Podklady/ST/FotoSnimace.pdf> [Cit. 20.5.2020]
- [23] Řehout Josef, Optický snímač [Online] http://www.spspb.cz/wp-content/uploads/dumy/ele/VY_32_INOVACE_RE_ELT_08.pdf, 12.6.2013
- [24] Dynamický mikrofon [Online] <http://www.muzikus.cz/getfile.php?picid=136753&big=1>
- [25] ADM Magazín, Typy mikrofonů [Online] <https://admmagazin.cz/mikrofony-01-typy-mikrofonu/> 25.3.2017
- [26] Profi elektrika, Hallova sonda [Online] <https://elektrika.cz/data/clanky/clanek.2006-04-01.2480110481> 4.4.2006
- [27] Vojáček Antonín, Rotační enkodéry pro řízení pohonu a pohybu [Online] <https://automatizace.hw.cz/rotacni-enkodery-pro-rizeni-pohonu-a-pohybu.html> 30.4.2017
- [28] Dyacon, Tripping bucket rain gauge [Online] <https://dyacon.com/product/rgtb-4/> [Cit. 20.5.2020]
- [29] Operační zesilovač TLC27L2, datový list [Online] <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.925-015.1.pdf>

10 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Jednoduchá meteostanice s měřením teploty a vlhkosti[17]	12
Obrázek 2 - Meteostanice s předpovědí počasí měřící vnitřní a venkovní teplotu a vlhkost, tlak, rychlost a směr větru [18]	13
Obrázek 3 - Chytrá meteostanice s wifi připojením.....	13
Obrázek 4 - Porovnání citlivosti kovových a polovodičových tepelných senzorů [1].....	16
Obrázek 5 - Seebeckův jev [20]	16
Obrázek 6 - Řez piezorezistivním snímačem[21]	17
Obrázek 7 - Odporové vlhkoměry[6].....	18
Obrázek 8 - Fotorezistor(nahoře), fototranzistor(vlevo) a fotodioda(vpravo)[23].....	19
Obrázek 9 - Princip elektretového mikrofonu.....	20
Obrázek 10 – Princip elektrodynamického mikrofonu[24].....	20
Obrázek 11 - Princip optické závory [27]	21
Obrázek 12 - Příklad senzoru s principem překlápěcích vaniček[28].....	23
Obrázek 13 - Vnitřní blokové zapojení meteorologické monitorovací jednotky	24
Obrázek 14 - Senzor teploty, tlaku a vlhkosti BME280[10].....	25
Obrázek 15 - Senzor intenzity osvětlení – fotorezistor[12]	26
Obrázek 16 - Druhý prototyp senzoru rychlosti větru.....	26
Obrázek 17 - Výstup z Hallových sond senzoru směru větru	28
Obrázek 18 - Schéma zapojení zesilovače mikrofonu	29
Obrázek 19 - Primitivní senzor deště [13]	30
Obrázek 20 - Princip dešťového senzoru z automobilu [14].....	31
Obrázek 21 - Třetí prototyp senzoru deště	32
Obrázek 22 - Detail infračervené optické závory senzoru deště	33
Obrázek 23 - Schéma zapojení wifi modulu	36
Obrázek 24 - Vzhled webové stránky s naměřenými daty - mmj.ic.cz.....	37
Obrázek 25 - Vývojový diagram.....	38
Obrázek 26 - Návrh desky plošných spojů v programu OrCad PCB editor.....	43
Obrázek 27 - Vzhled hotové desky plošných spojů	44
Obrázek 28 - 3D model hlavní krabičky	45
Obrázek 29 - Vytisknutý model hlavní krabičky	46
Obrázek 30 - Vnitřní uspořádání senzoru rychlosti a směru větru.....	47
Obrázek 31 - Senzor rychlosti a směru větru	47
Obrázek 32 - Stříška nad vyústěním trychtýře senzoru deště	48
Obrázek 33 - Hotový senzor deště	49
Obrázek 34 - Osazená deska plošných spojů uvnitř krabičky hlavní jednotky	51
Obrázek 35 - Prototyp meteorologické monitorovací jednotky	57

11 Seznam příloh

A Celkové schéma zapojení

B Datový nosič

- Kompletní program v jazyce C `program.c`
- Celkové schéma zapojení `design.dsn`
- Návrh desky plošných spojů `board.brd`
- 3D model hlavní jednotky `box_main.stl`
- 3D model dvířek hlavní jednotky `box_panel.stl`
- 3D model vrchní části senzoru deště `senzor_deste_top.stl`
- 3D model spodní části senzoru deště `senzor_deste_bot.stl`
- 3D model stříšky senzoru deště `senzor_deste_striska.stl`
- 3D model levé části senzoru větru `senzor_vetru_left.stl`
- 3D model pravé části senzoru větru `senzor_vetru_right.stl`
- 3D model lopatek senzoru větru `lopatky.stl`
- 3D model směrovky senzoru větru `smerovka.stl`

Příloha A

