



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

# METEOSTANICE PRO ODLEHLÉ LOKALITY

WEATHER STATIONS FOR OUTLYING LOCATIONS

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Babovák

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Heriban, Ph.D.

BRNO 2024



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky  
Student: **Adam Babovák**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Aplikovaná informatika a řízení  
Vedoucí práce: **Ing. Pavel Heriban, Ph.D.**  
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Meteostanice pro odlehlé lokality

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro sledování počasí v odlehlých lokalitách, které jsou obtížně dostupné a kde není k dispozici ani napájení ani běžná síťová konektivita, je vhodné mít k dispozici meteostanice, které budou mít minimální rozměry a hmotnost a dokážou i v období s omezeným slunečním svitem díky své minimální spotřebě pracovat dlouho dobu na baterie a pro komunikaci budou používat nízkoenergetické datové spojení.

### Cíle bakalářské práce:

- Charakteristika sledování počasí, metody měření sledovaných veličin
- Průzkum vhodných hw platforem a dalších komponent pro vybudování meteostanice s minimální spotřebou
- Volba vhodných technických a programových prostředků pro realizaci meteostanice
- Sestavení a zprovoznění meteostanice, která bude získaná data pravidelně předávat na server, kde je bude možné vhodným způsobem zobrazit, případně je poskytovat pro další zpracování.

### Seznam doporučené literatury:

HARRISON, Giles. Meteorological Measurements and Instrumentation. Wiley-Blackwell, 2015. ISBN 978-11-1874-580-9.

SKŘIVÁNEK, Vojtěch. Programujeme STM32: nízkoříkonové aplikace. TZ-one, 2022. ISBN: 999-00-036-0404-0

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Pavel Heriban, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá realizací meteostanice pro odlehlé lokality pomocí Arduino Nano mikrokontroleru a senzorů na měření teploty, tlaku, vlhkosti, srážek, rychlosti a směru větru. Dále se práce zaměřuje na spotřebu součástek a na zajištění napájení pomocí solárního panelu a baterie. Rešeršní část práce se zaměřuje na popis metod měření sledovaných veličin v meteorologii, na problematiku bezdrátové komunikace v odlehlejších lokalitách a na průzkum vhodných součástek a jejich charakteristik.

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with the implementation of a weather station for remote locations using an Arduino Nano microcontroller and sensors for measuring temperature, pressure, humidity, precipitation, and wind speed and direction. Additionally, it focuses on the consumption of components and on providing power supply using solar panel and battery. The research part of the thesis focuses on the description of the measurement techniques in meteorology, on the issue of wireless communication in remote locations, and on the research of suitable components and their characterization.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Meteorologie, meteostanice pro odlehlé lokality, Arduino mikrokontrolery, meteorologické měřicí techniky

## **KEYWORDS**

Meteorology, weather stations for remote locations, Arduino microcontrollers, meteorological measuring techniques





ÚSTAV AUTOMATIZACE  
A INFORMATIKY



2024

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BABOVÁK, Adam. *Meteostanice pro odlehlé lokality*. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157982>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Pavel Heriban.



## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu práce, panu Ing. Pavlu Heribanovi, Ph.D., za odborné vedení práce, cenné rady, ochotu a tipy při výběru součástek a realizace stanice. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Tomášovi Holoubkovi za pomoc při 3D tisku.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že, že tato práce je mým původním dílem, vypracoval jsem ji samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

Jako autor uvedené práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestně právních důsledků.

V Brně dne 23. 5. 2024

.....

Adam Babovák



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>METEOROLOGICKÁ MĚŘENÍ.....</b>	<b>17</b>
2.1	Měřicí zařízení a jeho výběr .....	17
2.1.1	Výkonnostní vlastnosti .....	17
2.1.2	Zdroje chyb .....	18
2.2	Tlak .....	19
2.2.1	Atmosférický tlak .....	19
2.2.2	Přímé měření tlaku.....	19
2.2.3	Nepřímé měření tlaku .....	20
2.3	Teplota .....	20
2.3.1	Tepelná roztažnost .....	20
2.3.2	Termoelektrické senzory .....	21
2.3.3	Teploměry využívající elektrický odpor.....	21
2.3.4	Vystavení teplotního senzoru .....	22
2.4	Vlhkost.....	23
2.4.1	Metody měření vlhkosti.....	23
2.5	Vlivy větru .....	24
2.5.1	Miskové a lopatkové anemometry.....	25
2.5.2	Větrná směrovka.....	25
2.5.3	Odvod tepla.....	25
2.5.4	Rychlost zvuku .....	25
2.6	Srážky .....	26
2.6.1	Bodové měření srážek .....	26
<b>3</b>	<b>BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE .....</b>	<b>29</b>
3.1	Internet věcí .....	29
3.1.1	Technické překážky u IoT .....	30
3.2	Možnosti bezdrátového připojení .....	30
<b>4</b>	<b>DOSTUPNÉ HW A SW PROSTŘEDKŮ.....</b>	<b>33</b>
4.1	Připojení k internetu .....	33
4.1.1	Sigfox.....	33
4.1.2	LoRa .....	33
4.1.3	Narrowband IoT .....	34
4.1.4	LTE-M .....	34
4.2	Přehled dostupných komponentů.....	34
4.2.1	Vývojové desky .....	34
4.2.2	Senzor teploty, tlaku a vlhkosti .....	36
4.2.3	Anemometry .....	38
4.2.4	Senzory směru větru .....	39

4.2.5	Srážkoměry .....	40
4.2.6	Připojení .....	40
4.2.7	RTC Hodiny .....	40
4.2.8	Napájení .....	41
4.2.9	Kryt na senzory .....	43
<b>5</b>	<b>VLASTNÍ ŘEŠENÍ .....</b>	<b>45</b>
5.1	Zvolené komponenty.....	45
5.1.1	Aktivní součástky.....	45
5.1.2	Pasivní součástky .....	48
5.2	Programová část .....	51
5.2.1	Prvotní nastavení.....	51
5.2.2	Práce meteostanice .....	54
5.3	Fyzická realizace .....	57
5.3.1	Umístění BME280 senzoru.....	58
5.3.2	Finální podoba stanice .....	59
5.4	Test úspornosti meteostanice .....	60
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>67</b>
	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ.....</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>71</b>

# 1 ÚVOD

V dnešní době se objevuje snaha získávat různorodé údaje o reálném prostředí. Od vlastností samotného prostředí, jako může být jeho teplota, po chování prostředí, jako může být například odezva objektu na namáhání. Pro získávání těchto informací je důležité vědět, jak se tyto informace měří, čím se měří, jaké mohou být výhody určitých principů a jaké způsoby měření jsou přesnější. Senzory, které provádějí měření, nejsou jedinou částí měřicích systémů. Získané údaje jsou obvykle upravovány na vhodnější použití. Buďto je výsledná hodnota zobrazována na místě, nebo může být informace odeslána z měřicího zařízení.

Získané informace mohou vytvářet digitální reprezentaci fyzického světa. V tomto digitálním světě plném informací je potřeba umět informace zpracovat a použít. Odlišné aplikace vyžadují různé množství dat. U jednoduchých aplikací, které pracují s jednou měřenou veličinou, nebývá se zpracováním problém. S růstem měřicích zařízení ale roste i objem naměřených hodnot a tím i množství dat, které musí být zpracováno.

Například v meteorologii se zpracovávají různé objemy dat. Od jednotek informací o jedné konkrétní lokalitě měřené jednou meteorologickou stanicí po velké množství dat o naší planetě. V profesionálním prostředí se používá velké množství meteorologických stanic. Tyto stanice měří meteorologické údaje a poté je odesílají na externí servery ke zpracování. Naměřené údaje se hydro-meteorologickými ústavy používají například pro předpověď počasí, ke zkoumání kvality ovzduší a v globálním měřítku mohou být využity ke zkoumání vývoje globálního oteplování.

Protože je na některé meteostanice kladen důraz, aby měřily nepřetržitě, je potřeba zajistit stabilní napájení. Ve městských lokalitách je snadné zajistit napájení stanice, ale v odlehlejších lokalitách se může napájení stát významným problémem.

Měření meteorologických veličin může být prováděno různě. Záleží na principu, který byl k měření veličiny použit. V metrologii existuje více postupů ke změření jedné veličiny. Proto je v rešeršní části popisováno více principů pro jednu veličinu.

V závislosti na druhu stanice se u ní využívá celé řady přístrojů. Od profesionálních senzorů po méně profesionální, spíše více univerzální, vývojové desky s mikrokontrolery, které slouží k ovládání stanice. Práce se ale zaměřuje především na domácí meteostanice. Proto je tomu uzpůsobena i rešeršní část, která pojednává především o mikrokontrolerech a veřejnosti dostupných vývojových deskách.

Dále se práce zaměřuje na výběr vhodných HW součástek pro sestavení meteostanice do odlehklých lokalit. Bylo předpokládáno, že stanice nebude mít zajištěné stabilní napájení, proto byla hlavní otázkou úspornost stanice. Kvůli možnému špatnému připojení byla v práci také řešena otázka stabilní a energeticky nenáročné komunikace s vnějším světem. Záměrem bylo meteostanici sestavit a otestovat její úspornost při simulovaném výpadku napájení.



## 2 METEOROLOGICKÁ MĚŘENÍ

Naším hlavním zájmem je spodní vrstva atmosféry Země. „Děje, které v ní probíhají, podmiňují i to, čemu říkáme počasí“ [1]. Pokud by se fyzikální stav atmosféry neměnil, byl by stejný v každém místě a ve všech časech, žádný pojem „počasí“ bychom v našem jazyce neznali. Tímto pojmem rozumíme stav atmosféry, který je charakterizovaný souhrnem hodnot meteorologických veličin a atmosférickými jevy v určitém místě a čase. Počasí můžeme charakterizovat souborem okamžitých hodnot především teploty, tlaku vzduchu, atmosférických srážek, směru a rychlosti větru, oblačností apod. [1]

Měření jsou nutná k získávání kvantitativních dat o naší atmosféře. Znaky dobrého měřicího systému, takového, který poskytuje vysoko kvalitní informace, jsou popsány v následující podkapitole [2].

### 2.1 Měřicí zařízení a jeho výběr

Měřicí zařízení je přístroj, který je složen z více konstrukčních celků. Obsahuje nejméně senzor, zařízení pro úpravu a převod signálu a vyhodnocovací zařízení. Kromě toho může obsahovat analogově-digitální převodník, prvek pro přenos dat a možnost jejich ukládání, mikroprocesor a zobrazovací zařízení (displej). Senzor je jeden z nejdůležitějších prvků měřicího zařízení, protože přímo nebo nepřímo interaguje s fyzikální veličinou a převádí ji na vhodnou měřicí veličinu, obvykle elektrický signál, který je proporcionální k měřené fyzikální veličině.

Pro bližší pochopení senzoru musíme prozkoumat konstrukci senzoru a jeho interakci s měřenou fyzikální veličinou. Je dostupná široká škála různých senzorů pro měření například teploty, tlaku, vlhkosti a dalších [2].

#### 2.1.1 Výkonnostní vlastnosti

Výkonnost senzoru lze charakterizovat pomocí standardizovaného souboru charakteristik. Tyto charakteristiky jsou používány kupujícími jako nákupní specifikace a především výrobcí k popisu přístrojů a jejich chování [2].

##### Statické

Statické vlastnosti popisují závislost výstupní veličiny na veličině vstupní v ustáleném stavu. *Citlivost* je jedna ze statických vlastností senzoru. Vykreslením výstupních hodnot jako funkce hodnot vstupních vzniká statická charakteristika.

*Necitlivost* je další statická vlastnost, která popisuje určitou oblast, ve které se výstupní veličina nebude měnit, i přestože vstupní veličina kolísá. Například u anemometru, který měří rychlost větru, to může být hranice, za kterou se anemometr nebude otáčet, i když na něj bude působit síla větru (myšleno spodní hranice).

Poté se u senzorů stanovuje jejich *pracovní rozsah*, který určuje rozdíl mezi nejmenší a největší hodnotou, ve kterém je přístroj schopen pracovat s danou přesností.

Například rozsah teplot, při kterých přístroj pracuje s danou přesností. *Přesnost* je schopnost přístroje udávat za stanovených podmínek korektní výsledky [2; 3].

### **Dynamické**

Dynamické vlastnosti definují odezvu senzoru na měnící se vstup [2].

#### **2.1.2 Zdroje chyb**

V souvislosti s meteorologickými měřicími zařízeními se objevují čtyři druhy chyb. Statické, dynamické, drift (volně přeloženo jako unášení) a chyba způsobená vystavením [2].

#### **Statické chyby**

Statické chyby ovlivňují měřenou výstupní hodnotu a zjišťují se při neměnnosti vstupu, poté, co se výstup prakticky ustálí a zůstává konstantní. Statická chyba je tedy rozdíl mezi ustálenou výstupní hodnotou a ideální skutečnou výstupní hodnotou. Statická chyba přetrvává i poté, co se výstupní hodnota upraví podle kalibračních údajů.

Jedny ze statických chyb jsou chyby deterministické, které mohou být způsobeny hysterezí, nelinearitami nebo i citlivostí na jiné fyzikální jevy, například vliv teploty na měřenou veličinu. Mezi statické chyby se řadí i nahodilý šum [2].

#### **Dynamické chyby**

Tyto chyby vznikají při dynamicky se měnících vstupních hodnotách. Dynamické chyby se postupně zmenšují, pokud je vstup dostatečně dlouho konstantní. Výstup se tedy také ustálí a stane se konstantním [2].

#### **Drift**

Chyba způsobená fyzickými změnami se nazývá drift. Tyto chyby bývají ve většině měřicích přístrojích obtížněji zjiřitelné. Pravidelná kalibrace měřicího zařízení je nejjednodušší cesta, jak drift kompenzovat. U senzorů, u kterých bývá drift lineární je možno způsobenou chybu snáze kompenzovat. Drift se ale může měnit náhle [2].

#### **Chyby způsobené vystavením**

Tyto chyby vznikají v důsledku nedokonalé vazby mezi senzorem a měřenou veličinou. Například při měření teploty vzduchu teploměrem nebude mít senzor nikdy stejnou teplotu jako okolní vzduch. Tyto chyby se projevují jako dynamické chyby. Tedy po delší době se naměřená hodnota přiblíží té skutečné. Mohou se učinit opatření, která zajistí menší rozdíl teplot mezi senzorem a okolním vzduchem. Například foukání vzduchu na senzor nebo stínění proti záření mohou rozdíl teplot ovlivnit. Tento typ chyb není součástí testů v kalibračních laboratořích, proto tyto chyby nebývají uvedeny v seznamu specifikací senzorů. Chyby vystavením se mohou v kvalitně navrženém, správně kalibrovaném a udržovaném měřicím systému stát dominantními a velikostně přesáhnout ostatní typy chyb.

Obecně, měřicími senzory jsou především měřeny jejich vlastní stavy, což neznamená, že je takový i stav atmosféry. Miskový anemometr udává frekvenci otáčení samotného kola s polokoulemi, a ne aktuální rychlost větru. Při dobrém stavu ložisek

a stabilní rychlosti větru je získán vztah mezi frekvencí otáčení a rychlostí větru, který se určí kalibrací.

Statické a dynamické chyby se mohou změřit v laboratoři během testování a mohou být zdokumentovány mnohem lépe než drift a chyby vystavení [2].

## 2.2 Tlak

V meteorologii je cílem měřit statický tlak způsobený atmosférou. Tlak je definován jako síla působící kolmo na rovinnou plochu. Statický tlak je síla působící na rovinnou plochu při absenci pohybu vzduchu. Je to izotropní skalární veličina. Dynamický tlak se vyjadřuje jako síla způsobená pohybem vzduchu [2].

### 2.2.1 Atmosférický tlak

Tlak vyvinutý Zemskou atmosférou na jednotkovou plochu se nazývá atmosférický tlak. Je roven hmotnosti vertikálního sloupce vzduchu na jednotkový povrch. Protože vzduch je tekutina, síla působí rovnoměrně ve všech směrech. Statický tlak působící na plochu je dán vztahem

$$p(0) = \int_0^{\infty} g(z) \rho(z) dz, \quad (1)$$

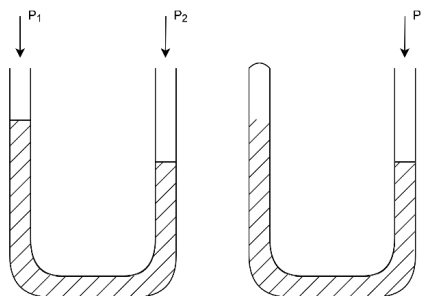
kde  $g(z)$  je zrychlení způsobené gravitací ve výšce  $z$  nad úrovní moře, udávaná v  $\text{m s}^{-2}$  a  $\rho(z)$  je hustota vzduchu v závislosti na výšce udávanou v  $\text{kg m}^{-3}$ . Jednotkou tlaku je jeden Pascal. V meteorologii se využívá jednotka hPa [2].

### 2.2.2 Přímé měření tlaku

Metody přímého měření tlaku jsou založeny na principu vyvážení sil při působení atmosférického tlaku na sloupec rtuti nebo pružinu.

#### Rtuťový barometr

Nejjednodušší měřič tlaku, který využívá rtuť, se nazývá *manometr*. Pod pojmem manometr si lze představit trubice, ve které se nachází rtuť. Používají se dva způsoby měření tlaku, které jsou zobrazeny na obr. 1. S oběma otevřenými konci, kdy se měří rozdíl dvou tlaků působících na koncích (levý manometr), nebo s jedním koncem uzavřeným, pomocí kterého se měří absolutní tlak (pravý manometr) [2].



Obr. 1: Jednoduché zobrazení dvou manometrů. Překresleno z [2].

### **Aneroidní barometr**

Aneroidní barometr se skládá z vyprázdněné komory s pružnou membránou, která se pohybuje v závislosti na působícím tlaku. Obnovovací síla se tvoří pružinou, která může být součástí samotné membrány. Pohyb pružiny je poté interpretován jako tlak [2].

#### **2.2.3 Nepřímé měření tlaku**

Technika měření tlaku bývá označována jako nepřímá, pokud přímo nereaguje na sílu způsobenou atmosférickým tlakem, ale reaguje na veličinu, která je na tlaku závislá [2].

#### **Teplota varu kapaliny**

Teplota varu kapaliny je závislá na kapalině samotné, ale také na atmosférickém tlaku. Tento princip se dá využít na nepřímé měření tlaku. Přístroj využívající tohoto principu se nazývá *hypsometr*. Skládá se z baňky s hypsometrickou kapalinou, která se zahřívá tak, aby se udržoval kontinuální bod varu a teplotního čidla pro měření teploty bodu varu. Se známou závislostí teploty varu na tlaku u této kapaliny se dá zjistit výsledný atmosférický tlak, kterému byla kapalina vystavena [2].

### **2.3 Teplota**

Teplota vzduchu je jednou z nejdůležitějších měřených veličin v meteorologii a denně ovlivňuje naše životy. Po několik staletí byla teplota vzduchu měřena různými technikami. Bylo používáno několik způsobů pro přesné měření teploty vzduchu, ale v závislosti na omezeních, jako například spotřeba energie, cena, a další se používají metody měření teploty, které neměří se stejnou přesností jako jiné.

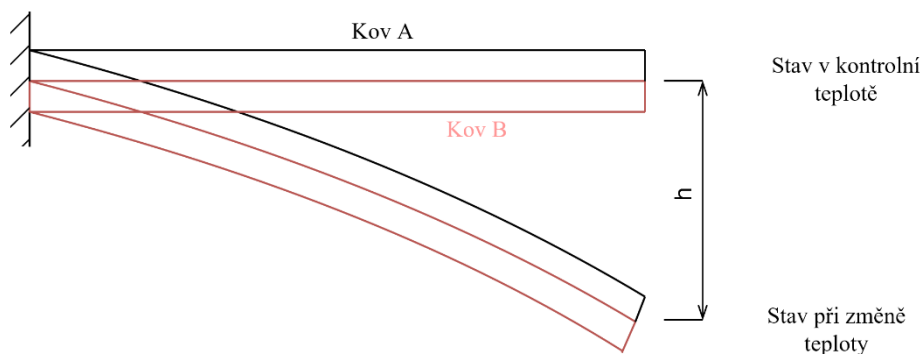
Teplotní senzory se dělí do kategorií podle fyzikálních principů, které k měření využívají. Je možné využít tepelné roztažnosti, termoelektrického jevu, změny elektrických vlastností a dalších. Přímé indikační přístroje, například ty využívající bimetalové pásky, se mohou umístit přímo na požadované místo měření teploty. Jiné, například senzory navržené tak, aby se výstup senzoru transformoval na vhodný signál, například na napětí, potřebují pro práci i jiné elektronické součástky [2].

#### **2.3.1 Tepelná roztažnost**

Jedním ze způsobů, kterým se tepelná roztažnost určitých materiálů využívá k měření teploty, je pomocí bimetalových pásek. Jako další se mohou využívat teploměry s kapalinou ve skle. V obou případech se využívá závislosti mezi teplotou materiálu a jeho objemovou změnou [2].

## Bimetalové pásy

Bimetalový pás se skládá ze dvou kovů s rozdílným koeficientem tepelné roztažnosti, které jsou vzájemně spojeny. Při kontrolní teplotě, při které byly pásy spojeny, nabývají původního tvaru. Když se změní teplota, pásy se ohýbají v kruhovém oblouku vlivem rozdílné teplotní roztažnosti dvou kovů. Ukázka principu fungování je na obr. 2. [2]



Obr. 2: Bimetalový pásek ze dvou kovů s různým koeficientem tepelné roztažnosti. Při změně teploty se pásky ohnou o určitou vzdálenost. Překresleno z [2].

## Dilatační teploměry

Skleněná trubice s baňkou naplněnou kapalinou na jednom konci a s upevněnou stupnicí. Kapalinou bývala obvykle rtuť, ale v dnešní době se používá líh. Teploměr využívá tepelné roztažnosti indikační kapaliny.

Jedním ze způsobů klasifikace těchto teploměrů bývá potřebné ponoření. Při částečném ponoření se baňka a menší část trubice teploměru ponoří do tekutiny, u které se měří teplota. U teploměrů s totálním ponořením se pro měření teploty ponoří baňka i s větší částí trubice, která obsahuje indikační kapalinu. U teploměrů s celkovým ponořením se celý teploměr, baňka i s celou skleněnou trubicí, ponoří do měřené tekutiny. Tento typ se využívá pro měření teploty vzduchu [2].

### 2.3.2 Termoelektrické senzory

Spojením dvou odlišných kovů vzniká termočlánek. Když mají oba spoje odlišnou teplotu, vzniká mezi nimi napětí. Změřením rozdílu napětí dokážeme odvodit rozdíl teplot na spojích. Pokud je předem známá teplota jednoho spoje, lze spočítat teplotu druhého [2].

### 2.3.3 Teploměry využívající elektrický odpor

Elektrický odporový sensorový teploměr je takový teploměr, jehož změna odporu odpovídá změně teploty [2].

## Odporové teplotní snímače

Platina bývá často používána pro přesné odporové měření teploty, protože má vysokou odolnost proti korozi, vysoký bod tání a nejstabilnější závislost mezi teplotou a odporem. Nevýhodou platiny je, že může být snadno ohnuta, což může ovlivnit měření a výslednou hodnotu [2].

## Termistor

Termistory jsou polovodiče citlivé na teplotu. Charakteristické bývají větší nelineární citlivostí na teplotu [2].

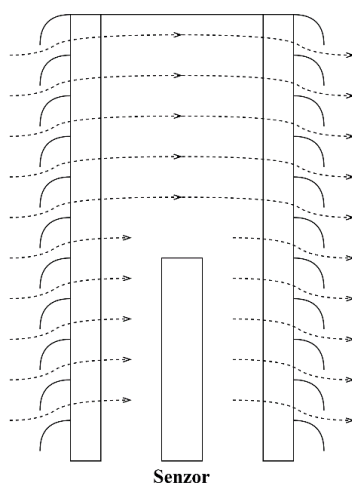
### 2.3.4 Vystavení teplotního senzoru

Pro měření teploty vzduchu musí být teplotní senzor vystaven vlivu okolního vzduchu. Teplota udávaná senzorem se může lišit od aktuální skutečné teploty okolního vzduchu, protože teplo proudí kolem senzoru a vzduch je špatným vodičem tepla.

Senzor bývá většinou umístěn v prostředí zamořeném tepelnou radiací. Například v noci se senzor ochlazuje a předává teplo do okolí. Totéž se stává se zahřátými objekty. Ohřáté objekty, které se nacházejí v blízkosti senzoru se budou snažit povrch senzoru zahřívát. Totéž platí o slunečním záření dopadajícím na povrchy, které bude zahřívát. Pro správné měření teploty vzduchu se musí senzor nacházet v přímém kontaktu s měřenou látkou. To vyžaduje proudění vzduchu kolem senzoru, ale také ochranu senzoru proti okolnímu tepelnému záření, například proti slunci.

Obecně se nejlepší cestou, jak měřit teplotu vzduchu, stalo měření s použitím radiačního štítu. Štít chrání senzor před deštěm, před mechanickým poškozením a částečným nechtěným tepelným zářením. V některých případech je použito další zařízení, které zajišťuje cirkulaci vzduchu okolo senzoru, například větrák.

Použití pasivního radiačního štítu, kde není využito žádného dalšího zařízení pro zajištění proudění vzduchu, se nabízí u aplikací, kde je jedním z omezení cena nebo spotřeba energie. Pasivní radiační štít je zobrazen na následujícím obrázku.



Obr. 3: Jednoduchý pasivní radiační štít s pasivním prouděním vzduchu kolem senzoru. Překresleno z [2].

Design radiačního štítu, který by blokoval všechno přicházející tepelné záření, by také zablokoval veškeré přirozené proudění vzduchu. Tepelné záření, které by zasáhlo radiační štít, by bylo štítem buď odraženo, absorbováno nebo by zasáhlo senzor. Absorpce tepla štítem by vedlo k jeho zahřátí, což by vedlo k ohřátí vzduchu proudícího k senzoru, a to by vedlo k zahřátí senzoru a k nepřímému ovlivnění naměřené teploty. Proto by teplota naměřená za klidného slunečného dne byla vyšší než aktuální teplota vzduchu [2].

## 2.4 Vlhkost

Cílem v meteorologii je určit množství vodních par ve vzduchu. Absolutní vlhkost vzduchu je hmotnost vodních par v 1 m<sup>3</sup> vzduchu. Relativní vlhkost vzduchu se určí poměrem absolutní vlhkosti vzduchu a absolutní vlhkosti vzduchu nasyceného vodními parami při dané teplotě. Relativní vlhkost je udávána v procentech [2].

### 2.4.1 Metody měření vlhkosti

K měření vlhkosti vzduchu se využívá různých principů. Měřit vlhkost se dá odvodem vodní páry ze vzduchu, ale i sycením vzduchu vodními parami. Absorpci vlhkosti dochází ke změnám vlastností materiálů, jako například elektrického odporu, které jsou poté využívány ke měření vlhkosti vzduchu [2].

#### Odvod vodní páry z vlhkého vzduchu

Odstraňování vodní páry z vlhkého vzduchu je docíleno za využití vysoušeče k pohlcování vodní páry. Po oddělení vodní páry se analyzuje oddělené množství vodní páry a pozůstalý vzorek vzduchu. Po vyhodnocení se určí vlhkost [2].

#### Sycení vzduchu

Dalším způsobem měření vlhkosti je měření množství vodní páry, které musí být do vzduchu přidáno, k dosažení kompletní saturace vzorku vzduchu. Tento způsob je především laboratorní metoda, ale existují měřicí techniky, které využívají principu úpravy vlhkosti vzduchu vodními parami.

Psychrometrie je metoda sycení vzduchu vodními parami, kde se ale nedosahuje kompletního nasycení měřeného vzduchu. Vlhkost se určuje podle relativního ochlazování mokrého teploměru v porovnání s teploměrem suchým, který měří teplotu vzduchu. *Psychrometr* tedy obsahuje dva teploměry, suchý a mokrý, které na sobě nezávisle měří dvě rozdílné teploty. Teploměry jsou vystaveny proudění vzduchu. Jeden teploměr měří teplotu vzduchu. Zatímco druhý, který je pokrytý vypařující se kapalinou, měří ochlazování v závislosti na odpařování kapaliny [2].

## Absorpce vodní páry

Vodní pára interaguje s různými materiály. Může ovlivňovat jejich fyzické vlastnosti, například rozměry, nebo i jejich fyzikální vlastnosti, jako například změna odporu nebo kapacity. K měření vlhkosti se používají materiály, které podstupují vratnou změnu v závislosti na vlhkosti.

Mezi mechanické vlhkoměry patří *dilatační vlhkoměr*. K měření vlhkosti těmito vlhkoměry se využívá změna rozměrů určitých organických látek vlivem vlhkosti. Například lidské vlasy se prodlužují při změně relativní vlhkosti.

Elektrické vlhkoměry zase mohou využívat změnu odporu či kapacity materiálu v závislosti na vlhkosti. *Kapacitní vlhkoměr* obsahuje dvě zlaté elektrody a mezi nimi dielektrikum. Sorpce malého množství vodní látky dielektrikem mezi deskami ovlivní kapacitu. *Odporový vlhkoměr* se skládá ze dvou elektrod, ve tvaru hřebínků a nevodivého substrátu. Změnou vlhkosti se zajistí změna elektrického odporu. V závislosti na změně elektrického odporu se může změřit relativní vlhkost, kde s rostoucí vlhkostí odpor klesá [2].

## Měření fyzikálních vlastností vlhkého materiálu

Dalším principem měření vlhkosti je zjišťování změn fyzikálních vlastností při změně vlhkosti. Může se jednat například o reflexní index, absorpci záření, tepelnou vodivost, viskozitu, hustotu a další.

Jedním z vlhkoměrů, které pracují na tomto principu může být vlhkoměr využívající *metodu infračervené absorpce a reflexe*. Analyzátor vlhkosti pracuje v blízkém infračervené oblasti. Zdroj infračerveného záření vyše paprsek na měřený vzorek. Molekuly vody ve vzorku absorbují infračervené elektromagnetické záření, zbylé záření se odrazí od vzorku do detektoru. Přítomnost vody ve vzorku je tedy určena podle intenzity odraženého záření [2; 4].

## 2.5 Vlivy větru

V meteorologii, především když je měřen efekt větru blízko země, si můžeme vítr představit jako dvourozměrný horizontální vektor, protože vertikální složka bývá blízko povrchu malá. V případech, kdy je vertikální složka důležitá, bývá uvažován trojrozměrný vektor. Funkcí anemometru a větrné směrovky je měřit složky těchto vektorů. Pomocí těchto senzorů můžeme místo dvojrozměrného vektoru uvažovat směr a rychlost větru. U vertikální složky by byl navíc měřen elevační úhel.

Rychlost větru je velmi proměnlivá. Proto Světová meteorologická organizace, *World Meteorological Organization* WMO, definuje průměrnou hodnotu rychlosti větru jako průměr za 10 minut [2].

### 2.5.1 Miskové a lopatkové anemometry

*Miskový anemometr* obsahuje většinou tři misky, které jsou rozmístěny a otáčejí se kolem vertikální osy. Vlivem větru se anemometr roztočí, protože koeficient odporu vnitřní strany misky je větší než odpor vnější (zakulacené) strany. Hrubým výstupem anemometru je tedy mechanické otáčení. Otáčením se může spínat magnetický kontakt a vysílat tak pulzy při sepnutí.

*Lopatkový anemometr* obsahuje lopatky, které se otáčejí okolo horizontální osy při působení větru. Zatímco miskový anemometr se otáčí především okolo vertikální osy, lopatkový anemometr může být součástí konstrukce větrné směrovky. Kde se lopatky otáčejí okolo horizontální osy, zatímco celá konstrukce se vlivem větru otáčí okolo vertikální osy a snímá i směr větru. Otáčením celé konstrukce se zajistí natočení lopatek vždy kolmo ke směru větru [2].

### 2.5.2 Větrná směrovka

Větrná směrovka zjišťuje směr větru. Jednoduchý senzor směru větru si můžeme představit jako plochou desku, která se otáčí okolo vertikální osy podle směru proudícího větru. Jednoduchý senzor směru větru může měnit svůj elektrický odpor v závislosti na otočení a tím ovlivňovat výstupní elektrické napětí. Tedy podle změny výstupního napětí se určí výsledný směr. Je nezbytná přesná instalace [2].

### 2.5.3 Odvod tepla

Další metoda měření rychlosti větru je založena na odvodu tepla. Využívá se ochlazování žhavého materiálu pro určení rychlosti větru. Vlivem proudícího větru se žhavený materiál (drát nebo fólie) ochlazuje. Ochlazení je tedy závislé na proudícím vzduchu kolem. Drátkové senzory reagují na proudící vzduch více, díky své tenkosti a materiálu drátku. Tyto senzory jsou ale drahé a energeticky náročnější.

### 2.5.4 Rychlost zvuku

Pro určení rychlosti větru měří sonické anemometry čas potřebný pro přenos akustického signálu prostorem. Prostor je předem definován a má jasné rozměry. Využívají se především ultrazvukové signály.

Senzor obsahuje přijímač a vysílač signálu. Vysílač pravidelně vysílá zvukové pulzy, které putují určitou oblastí. Pokud mezi přijímačem a vysílačem nefouká žádný vítr, je přesně daný čas, za který přijímač signál přijme. Pokud ale mezi nimi vítr fouká, tento čas je ovlivněn. Buď se čas zmenší, pokud vítr fouká směrem k přijímači od vysílače, nebo se čas zvětší, pokud fouká směrem od přijímače k vysílači. Pokud se použije dvojice přijímačů a vysílačů, tak může být změřena rychlost i směr větru [2].

## 2.6 Srážky

Množství průtok kapalné nebo pevné vody vodorovnou oblastí za určitý čas lze pojmenovat jako množství srážek. Srážky se měří za určitý čas, obvykle se měří množství srážek za hodinu nebo za den. Množství srážek se dá také definovat jako hloubka, do které by byla pokrytá plocha ponořena, pokud by žádná voda neunikla nebo by se nevypařila [2].

### Metody měření srážek

Srážky se měří různými metodami. Jednou z nich je technika bodového měření, která zahrnuje měření nasbíraného množství deště nebo měření některých vlastností padajícího deště, například jeho optických účinků. Jako druhý princip se využívá dálkového snímání, obvykle radarem, ke zjištění srážek na větší ploše. Pozemní i vesmírné radary se využívají pro měření srážek [2].

#### 2.6.1 Bodové měření srážek

Srážkoměry mohou být jednoduché nádoby, které sbírají déšť nebo sníh. Nicméně tato metoda není nejvhodnější pro přesná měření kvůli vlivu větru a nepřesné reprezentaci srážek na větší oblasti [2].

#### Akumulační srážkoměry

Akumulačními měřidly se shromažďuje dešťová voda, která se uchovává, dokud není vyprázdněna, buď manuálně, nebo automaticky. Tyto srážkoměry mohou množství vody zaznamenávat nebo nezaznamenávat. K záznamu množství vody dochází až při pravidelném vyprázdnění.

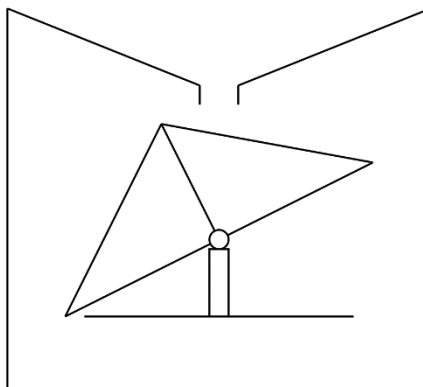
Existují akumulace srážkoměry, které jsou schopny samostatného vyprazdňování. Patří mezi ně tlakový měřič, sifonové měřidlo a měřič s kyvným kbelíkem.

U *tlakového srážkoměru* se využívá principu měření tlaku, který je vynaložen určitým množstvím kapaliny. Tlakový senzor je umístěn na dně nádoby, která shromažďuje kapalinu. Aby byl senzor plně automatický, musí se zajistit vyprazdňování nashromážděné kapaliny. V některých případech se využívá mikroprocesor, který monitoruje množství kapaliny a v určitém momentu se nádobka automaticky vyprázdní. V mrazivých oblastech se musí zajistit, aby kapalina v nádobce nezmrzla.

Sifonového efektu se využívá u *sifonových měřidel*, kde se voda po dosažení určité výšky hladiny sama vyprázdní. Může být využito kapacitních senzorů pro měření množství nashromážděné vody. Tyto senzory neobsahují žádné pohyblivé části. Kapacitní senzor může být umístěn uprostřed nádoby, aby se vliv naklonění nádoby projevoval na naměřené hodnotě co nejméně.

U měřidel srážek s *kyvným kbelíkem* se využívá plastového nebo kovového kyvného zařízení, které se po naakumulování určitého množství vody překlopí a voda se vyprázdní. Jednoduchý srážkoměr založený na tomto principu je zobrazen na obr. 4. Přicházející voda bude plnit jednu stranu tohoto kyvného mechanismu až do překlopení, kdy se začne

plnit strana druhá. Při překlopení může být sepnut elektrický obvod a mikroprocesor může změnu stavu zaznamenat.



Obr. 4: Jednoduchý srážkoměr s kyvným kbelíkem. Překresleno z [2].

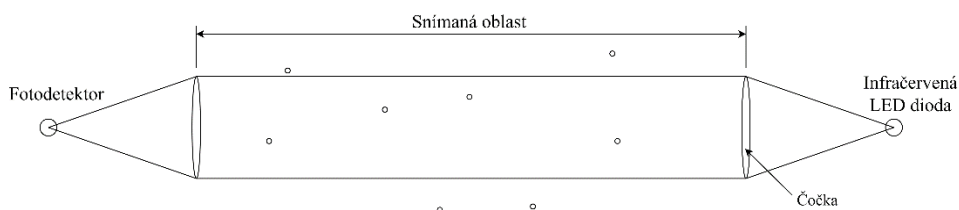
Tento typ senzoru se snáze automatizuje, protože je potřeba pouze počítat pulzy za určitý čas [2].

### Sněhová měřidla

I když by byla ohřívána, tak již zmíněná měřidla s kyvným kbelíkem nebo hmotnostní měřidla pro snímání srážek nebudou fungovat u sněhu. Sníh by mohl měřidlo ucpat a obecně je náchylnější na vlivy větru. Sněhové pravítko bývá používáno pro měření hloubky sněhové vrstvy, ale pro automatizované měření se využívá dalších speciálně upravených měřidel. Některé pracují na principu ohřevu naakumulovaného sněhu v nádobě a poté se změří množství rozpuštěného sněhu. Další princip se zaměřuje na měření hmotnosti napadaného sněhu v určité oblasti. Ultrazvukové zařízení, které vysílá a přijímá ultrazvukové vlny, může být využito na zjištění hloubky napadaného sněhu. Vyslaná vlna se odrazí od povrchu země [2].

### Optické senzory srážek

U těchto srážkoměrů se využívá optických technik detekce částic sněhu nebo deště procházející skrz paprsek světla. Dioda vyzařující infračervené záření se využívá jako zdroj světla. Zdroj je modulovaný, což znamená, že se napájí zdrojem napětí, který osciluje při frekvenci několik desítek kHz. Infračervené záření nejprve prochází skrz čočku, která paprsky usměrní. Poté prochází snímanou oblastí, a nakonec je další čočkou zaostřeno na fotodetektor. Jednoduché zobrazení principu je vyobrazeno na obr. 5.



Obr. 5: Princip fungování optického srážkoměru. Překresleno z [2].

Při srážkách procházejí srážkové částice, kapky deště nebo sníh, snímanou oblastí. Průchodem skrz paprsek bude způsobena rychlá, mírná fluktuace paprsku světla na detektoru. Amplituda a frekvence kolísání jsou závislé na velikosti kapky, rychlosti pádu a počtu kapek v detekční zóně. Frekvence kolísání je závislá na velikosti a množství kapek [2].

## 3 BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE

Různé aplikace mají odlišné nároky. Odlišné nároky na pokrytí, cenu nebo omezení zdroje energie. Především nároky z hlediska nízké spotřeby energie bývají typické pro aplikace využívající nízkoenergetickou síť pro vzájemnou komunikaci zařízení s velkým dosahem, „*Low power wide area networks*“, dále označovanou jako LPWAN.

### 3.1 Internet věcí

Internet věcí neboli „*Internet of Things*“, dále označovaný jako IoT, se zabývá problematikou připojení fyzických zařízení na internet, přístup ke vzdáleným informacím ze senzorů a vzdálenou kontrolou a řízením fyzického světa. Existuje jiná využívaná technologie, která nám může připomínat vizi IoT. A to technologie identifikace na rádiové frekvenci, dále označovaná jako RFID technologie, přeloženo z *Radio Frequency Identification*. RFID technologie může být považována za technologii rozšiřující funkci čárových kódů, které jsou všudypřítomné a jsou využívány pro jednoduchou identifikaci fyzických objektů, například v potravinářském průmyslu při prodeji produktů. RFID technologie vyžaduje připevnění chytrého, nízko-nákladového elektronického štítku (tzv. „ID-tag“) na předmět pro umožnění vzdálené identifikace. Oproti čárovým kódům není potřeba čtecí zařízení, které by vyžadovalo necloněnou cestu čtecího paprsku na čárový kód. Při správném využití ID štítků v řídicích systémech mohou být takto označené předměty považovány za chytré objekty. Vize IoT tedy nespočívá v nových technologiích, ale v nasazení inteligentních objektů do reálných aplikací.

Za posledních několik desítek let došlo k exponenciálnímu růstu Internetu. Následující a stále přítomná miniaturizace a snížení ceny elektronických komponentů umožnily nové nasměrování, a to k chytrým objektům. Malé elektronické zařízení, připevněné k fyzickému objektu, překlenuje mezeru mezi fyzickým a informačním světem. Novinkou v IoT je práce s větším množstvím připojených zařízení. Problémy se zpracováním velkého množství dat přicházejí při připojení několika tisíc a milionů zařízení. Především pokud se přístroje podílejí nebo spolupracují na stejné aplikaci. Jeden z problémů takového množství zařízení může být identifikace jednotlivých přístrojů, autonomní práce nebo autonomní reorganizace sítě, pokud se přístroje na komunikační síti aktivně podílejí. Nezávislost zařízení závisí na tom, zda se zařízení chová více autonomně nebo jestli je závislé na komunikaci s vnějším řídicím systémem. U autonomních přístrojů nastává bezpečnostní riziko, především u systémů ovlivňujících fyzický svět. Například řízení dopravní infrastruktury.

S nástupem bezdrátové komunikace s nízkou spotřebou bylo umožněno spojení s chytrými objekty bez fyzického připojení. S pomocí globálního družicového polohového systému, *Global Positioning System*, dále označovaného GPS, je možné sledování mobilních chytrých objektů pohybujících se ve fyzickém prostoru. Bez ztráty informací o jejich umístění a času [5].

### 3.1.1 Technické překážky u IoT

#### Internetová integrace

V závislosti na výpočetních možnostech a dostupných zdrojích energie mohou být chytré objekty připojeny na internet přímo nebo nepřímo. K nepřímému připojení se využívá stanice, která je k internetu připojena a se kterou přístroje komunikují. Nepřímé připojení bývá zvoleno, pokud je vyžadována nízká spotřeba energie nebo pokud je potřeba připojit větší množství přístrojů, které jsou rozesety v určité oblasti [5].

#### Identifikace

Jeden z problémů, který nastává při připojení milionů IoT chytrých objektů k internetu, je jejich identifikace a pojmenování. Jedno z univerzálních a používaných pojmenování je *Electronic Product Code* (EPC), což je přístup zvolený RFID komunitou, která má za cíl přiřadit unikátní identifikátor ke všem fyzickým chytrým objektům. Jeden z dalších používaných identifikátorů je identifikátor IMEI, zkratka z *International Mobile Equipment Identity*. Zjednodušeně se jedná o unikátní číslo přidělené výrobcem mobilním telefonům a komunikačním zařízením. Jako například IMEI číslo později zmiňovaného NB-IoT modulu, který se v meteostanici použije [5; 6].

#### Rozhodnutí o místě na provedení výpočetní operace

Zařízení, která mají připojení na internet, mají možnost využít služby nabízené cloudem a mohou být zvýhodněna. Zda práci provede zařízení nebo cloud se rozhoduje v závislosti na spotřebě energie a bezpečnosti. Pokud energie spotřebovaná na provedení úkolu lokálně je větší než energie potřebná na poslání dat, například na server, kde se zpracují, tak je úkol výhodnější provést externě. Nicméně existují aspekty, které toto rozhodnutí ovlivňují. Jedním z těchto aspektů jsou například autonomie zařízení, doba odezvy, bezpečnost a spolehlivost [5].

## 3.2 Možnosti bezdrátového připojení

Druhy používaných bezdrátových připojení pro IoT aplikace se odlišují rozdílným pokrytím. Existují *Wireless Personal Area Networks*, volně přeloženo jako bezdrátová osobní síť, nadále označované zkratkou WPAN. Mezi tyto sítě patří i síť, které jsou založeny na tzv. radiofrekvenční identifikaci, v originále *Radio Frequency Identification* (RFID), a na komunikaci v blízkém poli, v originále *Near Field Communication* (NFC). Tyto typy komunikačních sítí se označují jako „*near-me area network*“ a jsou určeny pro komunikaci mezi zařízeními na velmi krátké vzdálenosti.

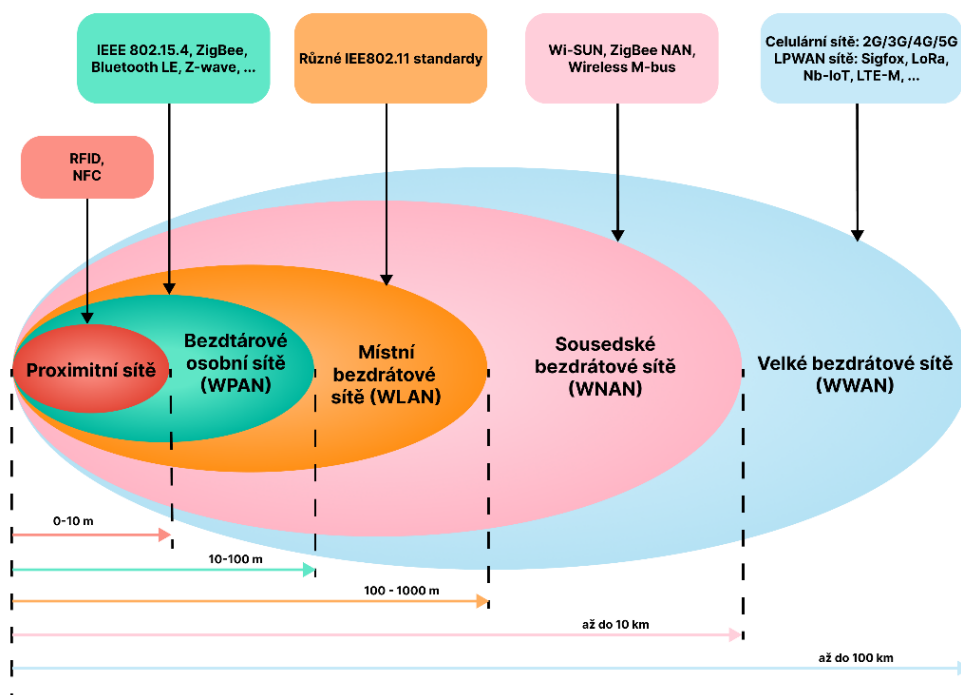
WPAN sítě jsou určeny pro posílání dat mezi skupinou přístrojů, které se komunikace účastní, na krátké vzdálenosti, bez potřeby vybudování složité infrastruktury. Tyto sítě mohou být za pomoci centralizovaného zařízení nebo serveru připojeny k internetu. Většina přístrojů, které využívají síť spadající do kategorie WPAN jsou navrženy pro nízké rychlosti přenosu dat, energetickou efektivitu a krátké vzdálenosti. Tato řešení patří mezi levné varianty. Mezi významné WPAN technologie patří ZigBee, WirelessHart, Bluetooth low energy (BLE), Z-wave a další.

Další skupinou jsou bezdrátové místní sítě, volně přeloženo z *Wireless Local Area Networks* (WLAN), které jsou především navrženy pro vysokorychlostní komunikaci mezi připojenými zařízeními s relativně velkou plochou pokrytí, omezenou na několik stovek metrů. Mezi WLAN technologie patří i některé IEEE 802.11 standardy.

Větší vzdáleností se vyznačují bezdrátové sousedské sítě, v originále *Wireless Neighborhood Area Networks* (WNAN). Vyvinuly se jako nový architektonický systém pro širokopásmové bezdrátové místní distribuční aplikace. Pokrývají oblasti menší než metropolitní, ale větší než WLAN sítě. Tyto sítě mohou být použity v rezidenčních, školních nebo pouličních prostředích jako řešení pro veřejné služby. Mezi zástupce WNAN technologie patří Wi-SUN, ZigBee NAN a Wireless M-bus. [7]

Velké bezdrátové sítě, přeloženo z *Wireless Wide Area Networks* (WWAN), jsou navrženy především pro pokrytí větších oblastí, ve srovnání s WLAN a WNAN sítěmi. Různé standardy berou ohled na různé potřeby aplikací, jako je například pokrytí, spotřeba, množství dat, jednoduchá rozšiřitelnost sítě a potřebné prostředky pro vybudování sítě. Sítě WWAN lze obecně rozdělit na celulární a LPWAN sítě.

Celulární sítě, jako například 3G, 4G nebo i 5G, jsou primárně navrženy pro vysokorychlostní přenos velkého objemu dat na několik desítek kilometrů. Tyto sítě jsou přizpůsobeny možnosti pohybujících se zařízení, která pomocí takovéto sítě komunikují.



Obr. 6: Skupiny sítí a jejich orientační dosah. Přeloženo z [7].

Na obr. 6 jsou porovnávány skupiny jednotlivých sítí a jejich orientační dosah. Hlavním zájmem práce budou WWAN sítě, přesněji LPWAN sítě.

LPWAN jsou bezdrátové technologie, navržené pro komunikaci na velké vzdálenosti s nízkou spotřebou energie, nízkou cenou a pro nízké objemy přenášených dat. Byly navrženy a používají se především v IoT a M2M aplikacích. Typické pro LPWAN řešení je větší množství koncových přístrojů menších rozměrů, typicky senzory, které vyžadují nízkou spotřebu energie. Typické je pro ně také to, že si vystačí s nepravidelným posíláním nízkého objemu dat a nejsou závislé na zpoždění mezi koncovými účastníky komunikace [7].

## 4 DOSTUPNÉ HW A SW PROSTŘEDKŮ

Byla provedena rešerše dostupných prostředků. V této kapitole jsou popisována dostupná řešení bezdrátového připojení meteostanice. Dále je zde vyjmenováno několik dostupných komponentů, které by byly vhodné pro sestavení meteostanice. Jsou zde především zmiňovány mikrokontrolery a senzory.

### 4.1 Připojení k internetu

Bylo rozhodnuto, že meteostanice bude využívat některou z dostupných LPWAN sítí v České republice. LPWAN sítě byly vybrány z důvodu velkého pokrytí a nízké energetické náročnosti na komunikaci.

Nejpřednější používaná řešení mohou být rozdělena do dvou skupin. Patentovaná řešení a řešení založená na síťových standardech [7].

#### 4.1.1 Sigfox

Jednou z patentovaných technologií je Sigfox. „Je to ultra úzkopásmová technologie, která využívá pomalou modulaci k dosažení většího dosahu [7].“ Původně byla touto technologií podporována pouze jednosměrná komunikace směrem od vysílače (senzoru), ale později byla přidána možnost obousměrné komunikace. Sigfox využívá bezlicenční ISM pásmo. V porovnání s ostatními LPWAN technologiemi Sigfox podporuje velmi nízkou míru přenášených dat. Pro zajištění spolehlivosti jsou zprávy přenášeny několikrát, což vede k větší spotřebě energie. Pokrytí ve venkovských oblastech dosahuje od 30 do 50 km a pouze 3 až 10 km ve městských oblastech [7].

#### 4.1.2 LoRa

LoRa je technologie fyzické vrstvy. Pracuje v nelicencovaném průmyslovém, vědeckém a lékařském pásmu (ISM). Podporuje různé ISM frekvence, tj. 868 MHz v Evropě a 915 MHz v Severní Americe. Je založena na technice *Chirped Spread Spectrum* (CSS). LoRa je v podstatě technologie s jediným skokem, která přenáší zprávy ze sensorů na centrální server prostřednictvím bran. K branám jsou senzory připojeny a brány jsou zase připojeny k internetu.

Kvůli podpoře LoRa sítě na internetu byla vyvinuta LoRaWAN síť, která zahrnuje funkce síťové a nadřazené vrstvy. Tato síť řeší různé požadavky široké škály aplikací na internetu věcí.

Jedním z hlavních rozdílů mezi technologiemi LoRa a Sigfox je, že Sigfox je nasazován operátory, zatímco LoRa může být nasazena jako nezávislá síť [7].

### 4.1.3 Narrowband IoT

Narrowband IoT, neboli NB-IoT, je technologie, která využívá malé části dostupného spektra v pásmech LTE. Může koexistovat s globálním systémem mobilních komunikací (GSM) a LTE v licencovaných frekvenčních pásmech 700 MHz, 800 MHz a 900 MHz. NB-IoT podporuje obousměrnou komunikaci. Technologie NB-IoT je navržena tak, aby mohla být používána pro zřídka datové přenosy a s nízkými nároky na výkon. Podporuje tedy nízké objemy dat a zřídka frekvenci posílání dat. Podporovaná rychlost přenosu dat je 200 kb/s pro downlink a 20 kb/s pro uplink [7].

### 4.1.4 LTE-M

LTE-M je rovněž technologie pracující v licencovaném spektru LTE a je kompatibilní se sítěmi LTE. Podporuje připojení pro provoz *Machine to machine* (M2M). Poskytuje rozšířené pokrytí ve srovnání s LTE sítěmi. LTE-M se zaměřuje na proměnlivou rychlost přenosu dat a podporu aplikací v reálném čase. Podporuje aplikace s nízkou latencí i aplikace, kde může docházet k větším zpožděním, až několik sekund. U LTE-M jsou nízké požadavky na spotřebu energie. Jelikož je tato technologie odvozena od LTE, základem je také podpora mobility [7].

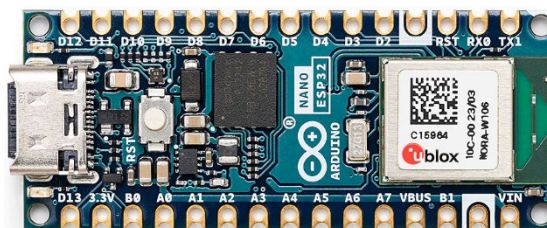
## 4.2 Přehled dostupných komponentů

### 4.2.1 Vývojové desky

Při výběru vývojové desky byla hlavním kritériem její spotřeba. Kompaktnost a rozměry desky byly jedním z dalších kritérií při výběru. Všechny níže zmíněné desky byly navrženy výrobcem jako kompaktní řešení řídicích mikrokontrolerů. Jeden z hlavních zástupců kompaktních vývojových desek je výrobce Arduino a jeho desky patří do tzv. „Nano family“ řady. Na trhu se vyskytuje i celá řada tzv. „Arduino klonů“, které se zakládají na Arduino vývojových deskách, ale nejsou vyráběny stejným výrobcem. Jedním z dalších zástupců kompaktních vývojových desek je zde deska Raspberry Pi Pico, od výrobce, který se především specializuje na minipočítače.

#### Arduino Nano ESP32

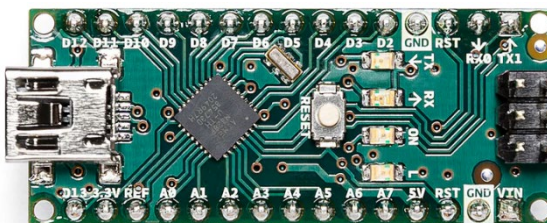
Arduino deska na obr. 7 osazená mikrokontrolerem ESP32-S3, která je součástí Arduino nano family. Deska disponuje USB-C konektorem pro rychlé připojení a napájení. Obsahuje 14 digitálních vstupních/výstupních portů a 8 vstupních/výstupních analogových portů. Mikroprocesor umožňuje bezdrátové připojení pomocí Wi-Fi nebo Bluetooth. Mikrokontroler podporuje komunikační sběrnice typu UART, I<sup>2</sup>C a SPI. Napájecí napětí se může pohybovat od 5 do 21 V a napětí logických obvodů je 3,3 V. Mikrokontroler obsahuje 384 kB ROM paměti, 512 kB SRAM a 128 Mbit (16 MB) programovatelné paměti [8].



Obr. 7: Ilustrační obrázek desky Arduino ESP32 [8].

### Arduino Nano

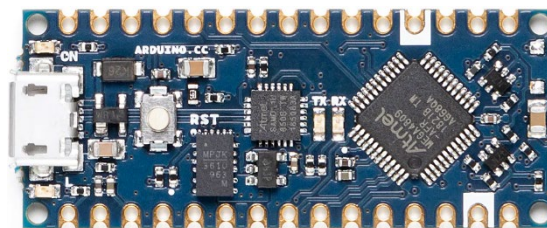
Deska osazená ATmega328 mikrokontrolerem s Mini-B USB konektorem. Deska obsahuje 22 digitálních vstupních/výstupních portů a 8 vstupních/výstupních analogových portů. Napájecí napětí se může pohybovat od 7 do 12 V a operační napětí je 5 V. Mikrokontroler disponuje 2 kB SRAM a 32 kB Flash paměti [9].



Obr. 8: Ilustrační obrázek Arduino nano desky [9].

### Arduino Nano Every

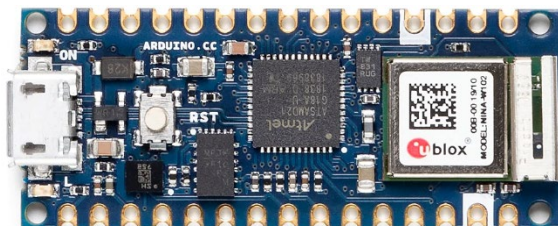
Vývojová deska osazená ATmega4809 mikrokontrolerem s možností připojení k desce pomocí Mikro USB konektoru. Napájecí napětí se může pohybovat v rozmezí od 7 do 12 V a operační napětí je 5 V. Deska obsahuje 22 digitálních vstupních/výstupních portů a 8 analogových. Možnost využití UART, SPI nebo I<sup>2</sup>C sběrnice pro komunikaci s externími zařízeními. Čip disponuje 6 kB SRAM a 48 kB Flash paměti [10].



Obr. 9: Ilustrační obrázek Arduino Nano Every [10].

### Arduino nano 33 IoT

Deska vybavená Arm® Cortex®-M0 32-bit SAMD21 mikrokontrolerem s možností připojení pomocí Micro USB konektoru. Deska obsahuje 14 digitálních vstupních/výstupních portů a 8 analogových vstupních/výstupních portů a jeden analogový výstupní port. Napájecí napětí se může pohybovat od 4,5 do 21 V a operační napětí je pouhých 3,3 V. Možností je také využití UART, SPI nebo I<sup>2</sup>C sběrnice pro připojení a komunikaci s externími zařízeními. Mikrokontroler obsahuje 32 kB SRAM a 256 kB Flash paměť [11].



Obr. 10: Ilustrační obrázek Arduino Nano 33 IoT desky [11].

### Raspberry Pi Pico

Deska osazená RP2040 mikrokontrolerem s možností připojení pomocí USB typu A. Vývojová deska obsahuje 26 multifunkčních univerzálních vstupních/výstupních portů, s možností využití I<sup>2</sup>C, SPI a UART sběrnice pro komunikaci s externími zařízeními. Čip disponuje 264 kB SRAM a 2 MB Flash paměti [12; 13].



Obr. 11: Ilustrační obrázek desky Raspberry Pi Pico [13].

## 4.2.2 Senzor teploty, tlaku a vlhkosti

Spousta modulů pro měření teploty, tlaku nebo vlhkosti umožňují měření dvou nebo i tří z těchto veličin. Například níže zmiňovaný BME280 senzor měří tlak, teplotu i vlhkost. Proto byly tyto tři skupiny spojeny do jedné kategorie.

Hlavními rozhodovacími parametry jsou napájení, spotřeba, měřené veličiny a jejich pracovní rozsah a také přesnost.

### BME280

BME280 senzor je určen pro měření teploty v pracovním rozsahu  $-40$  až  $+85$  °C, vlhkosti v rozsahu 0 až 100 % a tlaku v rozsahu od 300 do 1100 hPa. Rozsah napájecího napětí je od 1,8 V až do 3,6 V. Napájecí napětí je typicky 3,3 V. Pro komunikaci s řídicím mikroprocesorem používá komunikaci po SPI nebo I<sup>2</sup>S sběrnici. Senzor má relativně nízkou spotřebu a umožňuje přepnutí do režimu s nižší spotřebou energie [14].



Obr. 12: Ilustrační foto samotného BME280 senzoru [14].

### **BMP280**

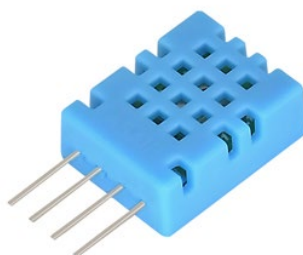
Senzor je určen pouze pro měření teploty a tlaku. Pracovní rozsah teploty je od  $-40$  do  $+85$  °C. Rozsah pro měření tlaku je 300 až 1100 hPa. Napájen může být napětím od 1,8 V až do 3,6 V. Typickým napájecím napětím je 3,3 V. Obdobně jako předešlý senzor využívá pro komunikaci s řídicím mikrokontrolerem SPI nebo I<sup>2</sup>C sběrnici. Senzor disponuje relativně nízkou spotřebou energie [15].



Obr. 13: Ilustrační foto samotného BMP280 senzoru [15]

### **DHT11**

Senzor určený pro měření teploty s pracovním rozsahem 0 až 60 °C a vlhkosti s pracovním rozsahem 20 až 95 %. Je možné se pohybovat s napájecím napětím tohoto senzoru od 3,5 V až do 5,5 V. 1-Wire komunikace [16].



Obr. 14: Ilustrační foto samotného DHT11 senzoru [16].

### **BME688**

Senzor určený pro měření teploty, vlhkosti, tlaku a kvality vzduchu. Pracovní rozsah pro měření teploty je  $-40$  až  $+85$  °C, pro vlhkost 0 až 100 % a pro měření tlaku je pracovní

rozsah 300 až 1100 hPa. Pracovní rozsah pro měření kvality vzduchu je 0 až 500 IAQ. Senzor využívá I<sup>2</sup>C a SPI sběrnice pro komunikaci s řídicím zařízením [17].



Obr. 15: lustrační foto samotného BME668 senzoru [17].

### 4.2.3 Anemometry

Na trhu se vyskytují různé druhy senzorů rychlosti větru. Od jednoduchých miskových anemometrů, přes lopatkové anemometry až po ultrazvukové anemometry. Ultrazvukové anemometry nebyly z důvodu kompatibility a napájení zahrnuty ve výběru i přes jejich vysokou přesnost a rozsahy měření.

#### QS-FS01

Miskový anemometr s pracovním rozsahem od 0,2 do 32,4 m s<sup>-1</sup>. Napájecí napětí tohoto senzoru se může pohybovat v rozmezí od 12 do 24 V. Výstupem je analogové napětí v rozsahu 0 až 5 V.

Rychlost větru  $v$  se poté z výstupního napětí vypočítá jako:

$$v = \frac{(V_{\text{out}} - 0,4)}{1,6} \cdot 32,4, \quad (2)$$

kde  $V_{\text{out}}$  odpovídá výstupnímu napětí senzoru [18; 19].



Obr. 16: Ilustrační foto QS-FS01 anemometru [19]

Anemometr na obr. 16 je dostupný i ve variantách, kdy je výstupem proud v rozmezí od 4 do 20 mA nebo impulzy, které odpovídají pracovnímu rozsahu 0 až 60 m s<sup>-1</sup> [18].

**WH-SP-WS01**

WH-SP-SW01 je miskový anemometr, který pracuje na mechanickém principu. Tento anemometr měří rychlost větru spínáním kontaktu pomocí magnetického spínače. Frekvence sepnutí jednou za sekundu odpovídá rychlosti větru  $2,4 \text{ km h}^{-1}$ . Senzor má kabel zakončen konektorem RJ11 [20].



Obr. 17: Ilustrační obrázek anemometru WH-SP-WS01 [21].

**4.2.4 Senzory směru větru****WH-SP-WD**

Tento senzor směru větru pracuje na mechanickém principu. Senzor má osm magnetických spínačů. Spínače jsou připojeny k rezistorům s odlišnou hodnotou odporu. Při otáčení lopatky může magnet sepnout jeden nebo dva spínače současně. Spínání umožňuje indikaci až šestnácti různých poloh. S využitím externího odporu lze vytvořit dělič napětí, kde mikrokontroler bude měřit změnu hladiny elektrického napětí [20; 22]



Obr. 18: Ilustrační obrázek snímače směru větru WH-SW-WD [21]

## 4.2.5 Srážkoměry

### MS-WH-SP-RG

Senzor pracující na principu samo vyprazdňovacího výklopného sběrače srážkové vody. Každých 0,2794 mm srážek způsobí jedno sepnutí magnetického snímače. Ze senzoru je vyveden kabel zakončený RJ11 konektorem. [20]



Obr. 19: Ilustrační foto MS-WH-SP-RG srážkoměru [21]

## 4.2.6 Připojení

### SIM7020E

Modul, umožňující připojení v GSM neboli celulárních sítích. Napájecí napětí je 5 V, ale pracovní napětí může být 5 nebo 3,3 V. Spotřeba se liší v závislosti na aktuálním režimu. Čip podporuje režim spánku. Pracovní teplota se pohybuje od  $-40$  až do  $85$  °C. Komunikace skrze sériové rozhraní UART prostřednictvím AT příkazů. Komunikace probíhá prostřednictvím LWM2M / CoAP / MQTT / TCP / UDP / HTTP / HTTPS protokolů. Modul disponuje slotem pro SIM kartu [23].



Obr. 20: SM7020E modul [23]

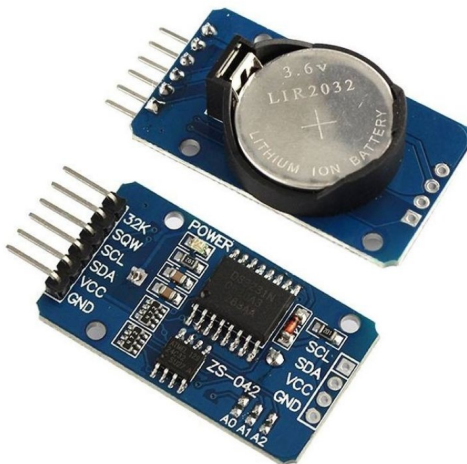
## 4.2.7 RTC Hodiny

Hodiny reálného času byly použity pro přesné načasování měření, které se provádí pravidelně v určitých intervalech.

### DS3231 AT24C32

RTC modul, který využívá tepelně kompenzovaný krystalový oscilátor pro přesné měření času. Napájecí napětí modulu je 3,3 nebo 5 V. Obsahuje baterii, pomocí které se udržuje

čas i při výpadku externího napájení. Využití I<sup>2</sup>C sběrnice pro komunikaci s mikrokontrolerem. Integrovaná AT24C32 paměť. Možnost nastavení alarmu a aktuálního času, obsahuje korekci přestupného roku a měsíců s různým počtem dnů. Operační teploty od −40 až do 85 °C [24; 25].



Obr. 21: DS3231 AT24C32 RTC modul [24]

#### 4.2.8 Napájení

Kvůli možnému umístění meteostanice do lokalit, kde nebude možnost jednoduchého a neustálého napájení meteostanice ze sítě bude meteostanice napájena solárním panelem.

Na trhu se vyskytují panely různých rozměrů a parametrů, které by byly vhodné jako napájecí zdroj meteostanice. Energie ze solárního panelu bude předávána do manažeru solární energie. Manažer energie bude energii distribuovat do baterky a popřípadě k mikrokontroleru. Energie se bude ukládat do baterie a energie z baterie se bude zase využívat k napájení mikrokontroleru za nepříznivých podmínek pro solární panely. Například v noci či pokud bude zataženo.

## Solární panel

Byl vybrán solární panel s výstupním napětím 5 V, s čtyřwattovým výkonem a s výstupním proudem 600 mA. Vyvedený kabel z panelu zakončen Micro USB konektorem, popřípadě je dostupný USB-C adaptér [26].



Obr. 22: Solární panel [26]

## Manažer solární energie

Výběr manažeru solární energie se především odvíjel od zvoleného mikrokontroleru a solárního panelu. Protože byla zvolena vývojová deska s napájecím napětím 5 V, musel být tomuto výběru přizpůsoben i power manager. Proto byl vybrán *DFRobot Solar Power Manager* s čipem CN3065.



Obr. 23: DFRobot Solar Power manager [27]

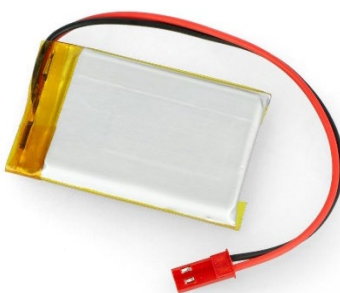
Tento vysoce výkonný modul je určen pro správu sluneční energie 5V solárních panelů. Tedy vstupní napětí by se mělo pohybovat v rozmezí od 4,5 do 6 V. Modul může poskytnout nabíjecí proud 900 mA pro 3,7V lithium-polymerové nebo lithium-iontové baterie. Výstupem modulu je 5 V a 1 A pomocí USB typu A. Pracovní teplota tohoto modulu se pohybuje od  $-40$  až do  $85$  °C. Modul obsahuje určité bezpečnostní prvky.

Ochranu proti přebití či vybití, ochrana proti zkratu, přepět'ovou ochranu a ochranu proti přehřátí [27].

### **Baterie**

Byla zvolená lithium-polymerová baterie Akyga. Má napětí 3,7 V s kapacitou 900 mAh. Rozsah pracovních teplot se může pohybovat od -20 až do 60 °C [28].

Zvolený modul pro správu solární energie má zabudovanou ochranu Li-Pol baterií. Ochrana baterií spočívá v automatickém odpojování při nabíjení či vybíjení baterie. Při nabíjení se proces automaticky přeruší, pokud elektrické napětí baterie dosáhne 4,3 V. Při přerušení je baterie stále zapojena a modul baterii umožňuje vybíjení. Baterie je při vybíjení odpojována, pokud její elektrické napětí klesne pod 2,4 V. Při dalším vybíjení nebo přebití by mohlo dojít k trvalému poškození baterie [29].



Obr. 24: Lithium-polymerová baterie [28]

### **4.2.9 Kryt na senzory**

Při vystavení modulu na měření teploty slunečnímu záření, budou výsledné naměřené hodnoty zkresleny. Z tohoto důvodu se celý modul s teploměrem umístí do radiačního štítu. Tento štít bude zajišť'ovat dostatečné proudění vzduchu kolem senzoru a dostačující ochranu před slunečním zářením [2]. Venkovní rozměry zvoleného krytu jsou  $\varnothing 70 \times 145$  mm. [30].



Obr. 25: Radiální senzor.



## 5 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

V této kapitole se popisuje účel zvolených komponent meteostanice. Popis jejich vlastností, které jsou v samotné meteostanici využity. Následně se zde bude pojednávat o programovém i fyzickém řešení. Především o principu fungování stanice a práci, která byla odvedena při zapojování senzorů.

### 5.1 Zvolené komponenty

Účelem meteostanice je pracovat v odlehлых lokalitách. Z tohoto důvodu byl finální výběr komponent a senzorů ovlivněn jejich spotřebou. Dalším kritériem při výběru byl způsob jejich práce a pokud se dají aktivní komponenty přepnout do úsporného režimu. Omezení napájení vychází především z volby vývojové desky. Zvolená vývojová deska má odlišné vstupní napájecí napětí a napětí logických obvodů.

#### 5.1.1 Aktivní součástky

Za aktivní součástky zde jsou předpokládány ty, které větší mírou přispívají ke spotřebě. Při výběru těchto součástek byl kladen důraz na možnosti přepnutí do úsporného režimu.

##### Arduino Nano ESP32

Byla zvolena vývojová deska z rodiny Arduino Nano. Přesněji Arduino Nano osazená mikrokontrolerem *u-blox® NORA-W106 (ESP32-S3)*. Daný mikrokontroler byl zvolen především kvůli možnosti přepnutí do úsporného režimu a nízké spotřeby energie. Dalším důvodem bylo jeho nízké napájecí napětí.

Mikrokontroler umožňuje nižší spotřebu energie v tzv. „spánkových režimech“. Nižší spotřebu energii zajišťují *deep sleep mode* a *light sleep mode*, hluboký a lehký spánek. V hlubokém spánku nejsou mikrokontrolerem vykonávány žádné výpočetní procesy a spotřeba energie klesne na  $7 \mu\text{A}$ . V režimu lehkého spánku mohou být mikrokontrolerem vykonávány jednoduché výpočetní procesy, zpravidla takové, které nejsou závislé na výpočetním čase a externích zařízeních. Při takovémto režimu klesne spotřeba energie na  $240 \mu\text{A}$ .

V hlubokém spánku je velká část paměti neaktivní. Všechna uložená data jsou ztracena. Jednou z napájených částí mikrokontroleru jsou jeho RTC hodiny a jejich paměť. Přesněji *RTC Slow Memory* a *RTC Fast Memory*. Slow memory slouží jako paměť pro globální proměnné využívané programem. Do této části paměti může být uloženo omezené množství dat před hlubokým spánkem a data po probuzení zpět získat.

Mikrokontroler disponuje několika způsoby probuzení. Jednou z těchto metod je probuzení pomocí časovače. Před usmáním mikrokontroleru se nastaví, za jak dlouho má být probuzen. Další metody probuzení využívají externího přerušujícího signálu. Signál je z externího zařízení, například v našem případě může probuzení způsobit sepnutí senzoru srážek. Zbývající metodou probuzení je využití koprocesoru s nízkou spotřebou

energie, dále označovaného jako *ULP Coprocessor*. ULP Coprocessor má možnost být stále aktivní i v hlubokém spánku mikrokontroleru. Má možnost monitorovat vstupní elektrické napětí, v omezeném režimu provádět výpočetní operace a popřípadě probudit mikrokontroler ze spánku.

Mikrokontroler rozlišuje dva typy probuzení využívající externí signál. Pomocí prvního typu, *ext0*, může být pro probuzení využit jeden konkrétní port. Tento typ rozlišuje, zda na portu je nebo není elektrické napětí, tzv. *HIGH* nebo *LOW* stav napětí. Jakmile je dosažen požadovaný stav, je mikrokontroler probuzen. U druhého typu, *ext1*, je možné využít více portů, ale podmínky pro probuzení jsou odlišné. Je možné nastavit, aby byl mikrokontroler probuzen pouze pokud je na všech hlídaných portech najednou *LOW* stav napětí, nebo pokud je na některém z hlídaných portů *HIGH* stav napětí [31].

### RTC Hodiny

Zvolený *DS3231 AT24C32* RTC modul slouží především pro zachování časové informace. RTC hodiny udržují informaci o čase i aktuálním datu. Datum se automaticky upraví pro měsíce, které mají méně než 31 dní. V hodinách jsou zabudovány i úpravy času pro přestupné roky. Díky vybavené baterii se čas uchovává i při výpadku napájení. RTC hodiny disponují možností nastavit dva alarmy, které mohou sloužit jako budící signál pro mikrokontroler [25].

### SIM7020E

Byl zvolen komunikační modul se *SIM7020E* čipem a podporou NB-IoT. Modul disponuje na zadní straně slotem pro SIM kartu, která je využita pro NB-IoT bezdrátovou komunikaci se serverem. V meteostanici byl využit především HTTP protokol pro posílání dat na server, ale modul podporuje další komunikační protokoly jako TCP, UDP, HTTPS, LWM2M, CoAP či MQTT [23].

UART se využívá pro komunikaci a konfiguraci modulu mikrokontrolerem. Využívá se tzv. „AT“ příkazů, které jsou posílány modulu z mikrokontroleru. Některé využití AT příkazy jsou uvedeny v následující tabulce.

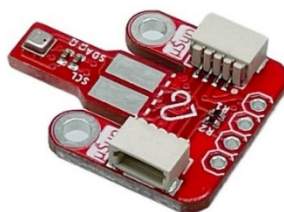
Tab. 1: Ukázka využitých AT příkazů [32]

AT příkaz	Popis
AT+CGSN	Příkazem se zjistí IMEI číslo modulu
AT+CCLK?	Příkazem se zjistí UTC čas ve formátu YY/MM/DD,HH24:mm:ss
AT+CHTTPCREATE	Vytvoří se HTTP nebo HTTPS instance klienta pomocí URL adresy.
AT+CHTTPCON	Příkazem modul použije vytvořenou HTTP instanci k připojení k cílovému hostiteli.
AT+CHTTPSEND	Příkazem se odešle HTTP/HTTPS balíček na připojenou instanci. Modul podporuje HTTP metody get, post, put a delete. Pokud od cíle přijde odpověď, automaticky se pošle mikrokontroleru.
AT+CHTTPDISCON	Příkazem se modul odpojí z připojené HTTP instance.
AT+CHTTPDESTROY	Příkazem modul odstraní vytvořenou HTTP instanci.
AT+CPSMS	Příkaz na ovládání úsporného režimu PSM

Modul umožňuje přepnutí do několika pracovních režimů. Zajímají nás především úsporné režimy. V PSM režimu, *Power Saving Mode*, bude snížena spotřeba energie, ale modul bude stále udržovat připojení a kontrolovat příchozí komunikaci. Příchozí komunikace bude tedy úspěšně přijata a předána pomocí UART sběrnice mikrokontroleru. Do tohoto pracovního režimu je modul přepnut. Režim eDRX, *Extended Discontinuous Reception*, umožní modulu vstoupit do hlubokého spánku, zatímco udržuje své připojení v síti. Příchozí komunikace v tomto režimu není přijímána [23; 33].

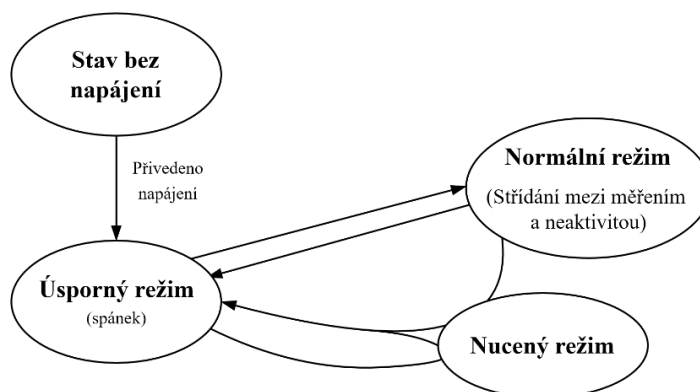
### BME280

Byl zvolen senzor teploty, tlaku a vlhkosti v jednom. Senzor pracuje jako podřízené zařízení. Senzor využívá I<sup>2</sup>C komunikační protokol pro komunikaci s mikrokontrolerem. Senzor předává naměřené hodnoty pouze v případě, kdy je o to požádán, ale měření mohou probíhat nezávisle na mikrokontroleru. Senzor je součástí celého modulu, viz obr. 26.



Obr. 26: Modul s BME280 senzorem [34]

BME280 senzor nabízí tři pracovní režimy. Normální pracovní režim, úsporný režim a nucený režim (volně přeloženo z *forced mode*). V úsporném režimu nejsou senzorem prováděny žádné operace, je snížena spotřeba energie, ale senzor přesto reaguje na příchozí komunikaci. V normálním režimu senzor automaticky přepíná mezi měřeními a neaktivními obdobími. Naměřené hodnoty pouze dočasně ukládá, ale předává je mikrokontroleru pouze, pokud o ně požádá. V nuceném režimu senzor provede pouze jedno měření. V tomto režimu musí být senzor aktivován mikrokontrolerem. Naměřené hodnoty jsou uloženy a odeslány. Následně se senzor přepne zpět do režimu spánku [15]. Přepínání mezi pracovními režimy je zobrazeno na obr. 27.



Obr. 27: Diagram pracovních režimů BME280 senzoru. Přeloženo z [14]

Jak bylo zmíněno, senzor je určen pro měření teploty, vlhkosti a tlaku. Měření vlhkosti, tlaku a teploty může být aktivní, anebo nemusí být využíváno. Vlhkost je měřena v pracovním rozsahu 0 až 100 % s rozlišením 0,008 % a přesností  $\pm 3$  %. Tlak je měřen v rozsahu od 300 do 1100 hPa s rozlišením 0,18 hPa a přesností  $\pm 1$  hPa. Teplota je měřena v rozsahu od  $-40$  do  $+85$  °C s rozlišením 0,01 °C a přesností  $\pm 1$  °C [14; 34].

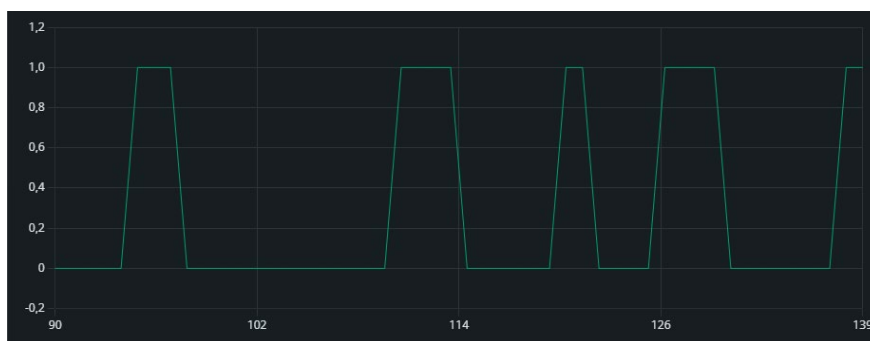
Daný senzor byl zvolen především kvůli přesnosti a rozsahu měřených hodnot. Další výhodou senzoru je možnost práce v úsporném režimu a automatické probouzení ze spánku při měření.

### 5.1.2 Pasivní součástky

Pasivní senzory využívají pasivní elektronické součástky, jako rezistory nebo kondenzátory. Protože se předpokládá, že pasivní součástky mají zanedbatelnou nebo minimální spotřebu energie, bude v obvodech s pasivními senzory neustále přítomné elektrické napětí a senzory budou nepřetržitě měřit snímanou veličinu a upravovat výstupní hodnotu elektrického napětí. U srážkoměru je tato vlastnost především důležitá, protože pracuje na principu spínání magnetického spínače při plnění. Proto je potřeba, aby byl tento obvod nepřetržitě pod napětím.

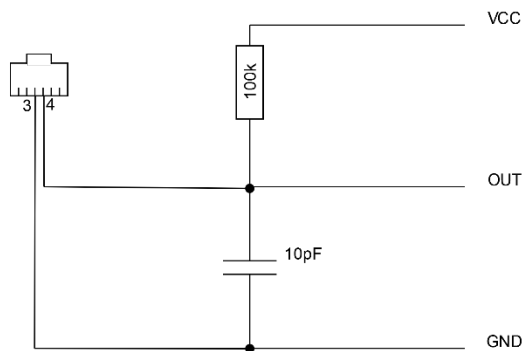
#### Anemometr

Byl zvolen miskový anemometr *WH-SP-WS01*. Tento anemometr měří rychlost větru spínáním magnetického spínače. Rychlost větru odpovídající sepnutí jednou za sekundu je rovna  $2,4 \text{ km h}^{-1}$ . Výstupní měřené elektrické napětí může být reprezentováno digitální hodnotou, protože horní hladina napětí bude při sepnutí vždy stejně vysoká.



Obr. 28: Digitální reprezentace výstupního elektrického napětí.  
Graf vytvořen v programu Arduino IDE.

Schéma zapojení je vidět na obr. 29. Využije se rezistoru s odporem  $100\text{ k}\Omega$  a  $10\text{ pF}$  kondenzátor. Z anemometru je vyveden konektor RJ11. Při využití senzoru směru větru *WH-SW-WD* může být signál veden jedním kabelem, který je zakončen RJ14 konektorem. Proto jsou na následujícím schématu vyobrazeny piny 3 a 4 u konektoru RJ14, protože tyto piny u daného konektoru patří anemometru [35].



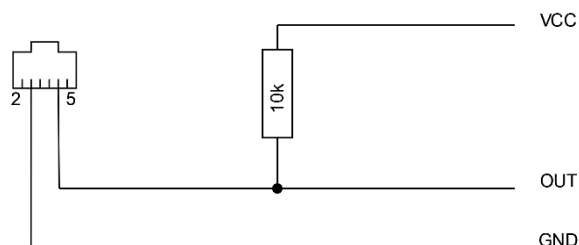
Obr. 29: Schéma zapojení anemometru [35].

Konektory RJ11, RJ14 a RJ25 patří do stejné kategorie, pouze se liší počtem vodičů. Všechny tři mohou využít 6P6C zdířku, která se využívá v meteostanici. Proto je na schématu znázorněn konektor RJ25 se šesti možnými vodiči a výstupy.

### Senzor směru větru

Byl zvolen senzor směru větru *WH-SP-WD* pracující na mechanickém principu. Obsahuje osm magnetických spínačů, které jsou připojeny k rezistorům s odlišnými hodnotami. Magnet lopatky může spínat až dva spínače současně, což umožňuje indikaci spínače v šestnácti polohách. Využitím externího odporu, jak je znázorněno na obr. 30, se vytvoří dělič napětí, který změnu odporu převede na změnu výstupního napětí. Výstupní napětí se poté měří pomocí A/D převodníku mikrokontrolerem [22]. Výstupní napětí uvedené výrobcem v tab. 2 je pro 5V zdroj napětí.

Ze senzoru je vyveden kabel zakončený konektorem RJ14. Kabelem jsou také vedeny dva vodiče pro anemometr. Proto jsou na následujícím schématu vyobrazeny porty 2 a 5, které patří tomuto senzoru.



Obr. 30: Schéma zapojení senzoru směru větru [22].

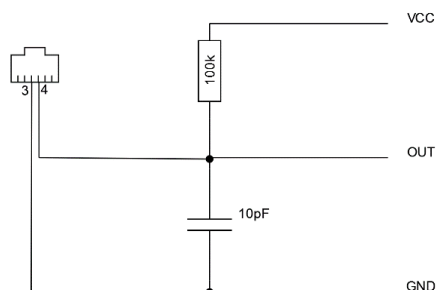
Tab. 2: Výstupy senzoru směru větru. Za využití 5 V napájecího napětí a 10 k $\Omega$  odporu [22].

Směr	Odpor [k $\Omega$ ]	Výstup [V]
0	33	3,84
22,5	6,57	1,98
45	8,2	2,25
67,5	0,891	0,41
90	1	0,45
112,5	0,688	0,32
135	2,2	0,90
157,5	1,41	0,62
180	3,9	1,40
202,5	3,14	1,19
225	16	3,08
247,5	14,12	2,93
270	120	4,62
292,5	42,12	4,04
315	64,9	4,33
337,5	21,88	3,43

### Srážkoměr

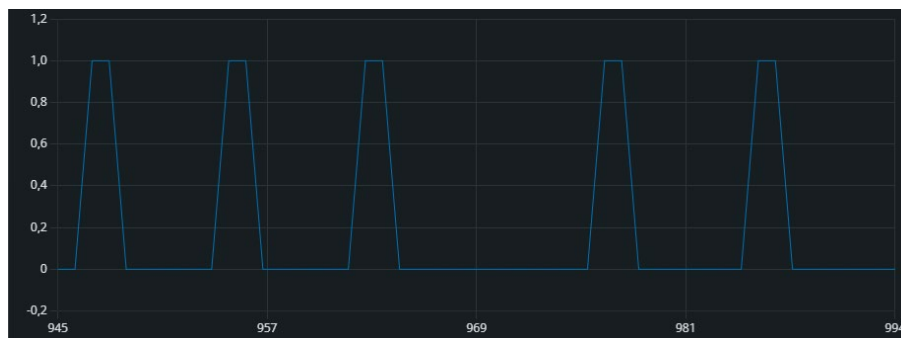
Byl zvolen samo-vyprazdňující se výklopný sběrač *MS-WH-SP-RG*. Srážkoměr je velice podobný srážkoměru vyobrazenému na obr. 4, který byl popisován v kapitole 2.6.1. Kbelík je stabilní ve dvou krajních polohách. V těchto polohách je magnetický spínač rozepnut a na výstupu je podle schématu na obr. 31 vysoký stav napětí. Při překlápění se obvod propojí a výstupní napětí klesne. Jeden impulz je roven 0,2794 mm srážek. Pro zapojení je využit rezistor a kondenzátor, viz obr. 31.

Je nutné, aby pod senzorem nebyly umístěny žádné předměty, které by bránily vytékání vody. Především ty předměty, do kterých by se mohla dostat voda a poškodit je. Také se nesmí zakrýt otvory pro odtok vody [36].



Obr. 31: Schéma zapojení srážkoměru [36].

Výstupní měřené elektrické napětí může být reprezentováno digitální hodnotou, protože horní hladina napětí bude při sepnutí vždy stejně vysoká. Digitální reprezentace impulzů je znázorněna na obr. 32.



Obr. 32: Digitální reprezentace výstupního elektrického napětí.

## 5.2 Programová část

Od počátku se meteostanice programovala s účelem nízké spotřeby energie. To znamená, že se meteostanice bude většinu svého života nacházet v režimu spánku, aby se zajistila nízká spotřeba energie. Stanice se jednou za určitou dobu probudí, v tomto případě se probudí jednou za hodinu, aby se provedlo měření. Naměřená data se odešlou na externí server, kde budou uložena a meteostanice se přepne zpět do režimu spánku.

Samotný program mikrokontroleru byl vytvářen v programu Arduino IDE. Jedná se o vývojové prostředí vytvořené speciálně pro programování Arduino desek. Je k dispozici zdarma.

### 5.2.1 Prvotní nastavení

U některých součástek, ze kterých je meteostanice sestavena, musela být provedena počáteční kalibrace a nastavení.

#### Nastavení času u RTC hodin

U RTC hodin není prvotně nastavena informace o čase. Modul při prodeji neobsahuje baterii, která by tuto informaci udržovala. Čas se tedy po prvním zapnutí začne počítat od nuly. Proto je nutné po prvním spuštění a nasazení baterie provést počáteční nastavení aktuálního času.

Nastavení RTC hodin bylo provedeno manuálně. U hodin se nastavuje datum i čas. Knihovna *RTClib*, která byla využita pro ovládání RTC modulu, má speciální funkci pro úpravu aktuálního času, kterou vidíme na obr. 33.

```
DateTime newTime(year, month, day, hour, minute, second);  
rtc.adjust(newTime);
```

Obr. 33: Nastavení času RTC hodin

Nejprve je vytvořena nová proměnná typu `DateTime`, která se naplní požadovanými informacemi o času, od roku až po sekundy. Poté se deklarovaným RTC hodinám nastaví daný čas. Proměnná `rtc` je typu `RTC_DS3231`. Oba typy proměnných pocházejí z využití knihovny.

### Nastavení BME280 senzoru

Jak bylo zmíněno v kapitole 5.1.1, zvolený BME280 senzor pracuje v několika režimech. V tomto případě se budeme zajímat o nucený režim. Senzor se tedy musí po každém prvním spuštění přepnout do žádaného režimu. Při počátečním nastavení se také přepne počet měření. Nastavuje se nucený režim a jedno měření pro každou měřenou hodnotu.

```
bme.setSampling(Adafruit_BME280::MODE_FORCED,
Adafruit_BME280::SAMPLING_X1, // temperature
Adafruit_BME280::SAMPLING_X1, // pressure
Adafruit_BME280::SAMPLING_X1, // humidity
Adafruit_BME280::FILTER_OFF);
```

Obr. 34: Prvotní nastavení BME senzoru. Nastavení pracovního režimu, počtu měření a filtru

### Kalibrace senzoru směru větru

Musela být provedena kalibrace výstupního napětí senzoru směru větru. Protože bylo použito 3,3V elektrické napájecí napětí. Při použití rezistoru s odporem 10 kΩ výstupní měřené napětí neodpovídá hodnotám v katalogovém listu, které jsou uvedené v tab. 2. Pro každý směr větru bylo provedeno měření nového výstupního napětí a výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 3. Výstupní napětí ze senzoru se bude porovnávat s naměřenými hodnotami a určí se podle nich směr větru.

Měření výstupního napětí bylo prováděno přímo mikrokontrolerem a Arduino funkcí `analogRead()`. Bylo zjištěno, že hodnota uváděná touto funkcí neodpovídá napětí měřenému voltmetrem. Proto byly do tab. 3 přidány dva nové sloupce. První přidáný sloupec odpovídá hodnotám skutečného napětí. Všechny tyto hodnoty byly spočítány pomocí vzorce pro odporový dělič:

$$U_{\text{merene}} = U \frac{R_2}{R_2 + R_1}, \quad (3)$$

kde  $U_{\text{merene}}$  odpovídá hodnotě napětí, které Arduino měří a podle kterého porovnává směr větru,  $U$  odpovídá napětí zdroje (3,3 V),  $R_1$  je 10 kΩ odpor použitý v obvodu a  $R_2$  jsou hodnoty odporu odpovídající určitému směru větru [37].

Druhý přidáný sloupec odpovídá hodnotám, které byly naměřeny Arduinem a které použitá knihovna využívá při určování směru větru.

Tab. 3: Rozdíl výstupního elektrického napětí při použití odlišného napájení [22].

Směr	Odpor [kΩ]	Výstup při napájení 5 V [V]	Spočítané výstupní napětí [V]	Naměřené napětí Arduinem [V]
0	33	3,84	2,53	3,08
22,5	6,57	1,98	1,31	1,56
45	8,2	2,25	1,49	1,78
67,5	0,891	0,41	0,27	0,31
90	1	0,45	0,30	0,34
112,5	0,688	0,32	0,21	0,24
135	2,2	0,90	0,60	0,7
157,5	1,41	0,62	0,41	0,47
180	3,9	1,40	0,93	1,01
202,5	3,14	1,19	0,79	0,92
225	16	3,08	2,03	2,44
247,5	14,12	2,93	1,93	2,33
270	120	4,62	3,05	3,91
292,5	42,12	4,04	2,67	3,26
315	64,9	4,33	2,86	3,56
337,5	21,88	3,43	2,26	2,73

Mezi naměřenou hodnotou Arduino deskou a skutečnou hodnotou napětí, která je ve čtvrtém sloupci, je rozdíl. Podle Arduino ESP32 wiki [38] je rozdíl způsobený nekalibrováním výstupní hodnoty analogově číslicového převodníku. Napětí z větrné směrovky je převáděno dvanáctibitovým A/D převodníkem. U nekalibrované výstupní hodnoty převodníku dochází k mírnému překročení vstupního porovnávaného napětí. Proto hodnoty v pátém sloupci uváděné Arduinem neodpovídají skutečným hodnotám. Tyto nekalibrované hodnoty udává právě funkce *analogRead()* [38; 39].

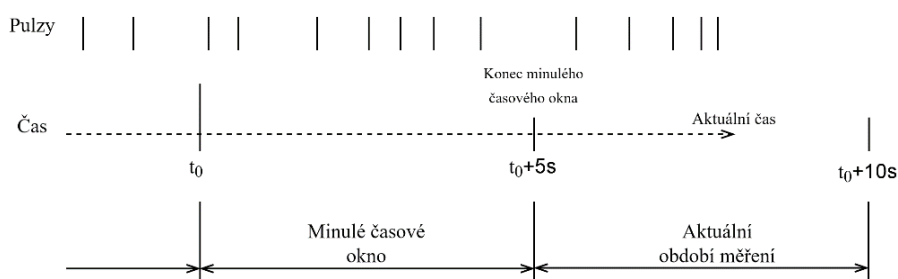
### Rychlost větru

Jak již bylo zmíněno, rychlost větru je velmi proměnlivá. Proto se střední hodnota rychlosti definuje jako průměr za deset minut [2]. Záměrem meteostanice je ale nízká spotřeba. Kdyby byla meteostanice deset minut aktivní, snímala rychlost větru a prováděla výpočetní operace, ztrácel by tento záměr smysl. Bude se tedy měřit aktuální rychlost větru, nikoli průměr za delší čas. Naměřená data se budou hodit k informování o tom, zda foukal vítr, nikoli jak se měnila jeho rychlost během dne.

Protože je magnetický spínač anemometru spínán v nepravidelných intervalech, bude se rychlost větru měřit ve dvou pětisekundových oknech. Podle počtu sepnutí se určí rychlost větru. Pokud během pěti sekund nepřijde ani jeden impuls, bude se předpokládat, že rychlost větru je nulová.

Knihovna, která se využívá pro zjišťování rychlosti větru, používá algoritmus založený na principu klouzavého průměru a jeho pohybujícím se okně. Tento algoritmus

by ale vyžadoval uložené informace o tom, kdy, ke kterému impulzu došlo. Protože je pro kterékoliv časové období počet impulzů předem neznámý, musí se algoritmus upravit. V tomto případě se využívá statických časových oken. Po spuštění upraveného algoritmu se začne počítat počet impulzů za určitý čas (časové okno). V našem případě je to za pět sekund. Jakmile je detekován nový impulz, přičte se k počítadlu. Po uplynutí daného času (pěti sekund) nastane další časové okno, ve kterém se impulzy budou počítat od nuly. Informace o aktuálním počtu impulzů se po uplynutí pěti sekund stane informací o počtu impulzů v předchozím časovém okně. K vypočítání rychlosti větru se používá počet impulzů v předchozím časovém okně. Protože počet impulzů v aktuálním časovém okně je neznámý [40]. Princip algoritmu je zobrazen na následujícím obrázku.



Obr. 35: Princip algoritmu s časovými okny. Překresleno z [40].

K výpočtu rychlosti větru  $v_{\text{vitr}}$  se poté použije následující vztah:

$$v_{\text{vitr}} = \frac{i_{\text{predchozi}}}{t_{\text{predchozi}}} 1000 \frac{v_{\text{kalibrace}}}{2}, \quad (4)$$

kde  $i_{\text{predchozi}}$  odpovídá počtu impulzů v předchozím časovém okně,  $t_{\text{predchozi}}$  odpovídá času předchozího časového okna v milisekundách. Milisekundy se poté převedou na sekundy.  $v_{\text{kalibrace}}$  odpovídá kalibrační rychlosti větru při frekvenci impulzů 1 Hz. V tomto případě je to  $2,4 \text{ km h}^{-1}$ . Kalibrační rychlost větru je podělena dvěma, protože anemometr během jednoho otočení sepne dvakrát [35; 40].

### 5.2.2 Práce meteostanice

Po zapnutí nebo probuzení se musí mikrokontroler rozhodnout, co bylo důvodem aktivace. Pokud došlo k prvnímu zapnutí mikrokontroleru, nastane prvotní nastavení BME280 senzoru a meteostanice se uloží ke spánku. Tato možnost nastane pouze při prvotním spuštění nebo při výpadku napájení a opětovném zapnutí.

Další možností je probuzení ze spánku. K probuzení může dojít z důvodu sepnutí snímače srážek. U této varianty se započítá nový impulz a mikrokontroler se přepne zpět do režimu spánku. Druhou variantou je probuzení z důvodu pravidelného měření. V tomto případě se provede měření, naměřená data se odešlou a stanice se opět uloží ke spánku. Bylo rozhodnuto, že stanice se bude probouzet pravidelně každou hodinu.

Nejprve proběhne měření teploty, tlaku a vlhkosti pomocí BME280 senzoru. Pro každou veličinu se provede jedno měření. Po měření se na veličiny mikrokontroler

postupně doptává a hodnoty se uloží pro pozdější odeslání. Následně se získají uložené hodnoty srážek. Hodnoty se ukládají a odesílají v impulzech. Server si je poté může přepočítat na množství srážek pomocí kalibračních údajů srážkoměru. Po získání hodnoty se počet srážek vynuluje a začne se počítat od nuly. Po vynulování srážek se spustí měření rychlosti větru. Vítr se měří ve dvou 5s intervalech. Po změření rychlost se určí směr větru. Naměřené hodnoty se předávají SIM7020E modulu, který je přeposílá na server. Mikrokontroler se přepne do úsporného režimu, jakmile jsou data úspěšně odeslána.

### Formát odesílání dat

Data se odesílají pomocí HTTP protokolu. Data mají formu JSON formátu a jsou následně převedena a odeslána v podobě šestnáctkové soustavy.

Před samotným měřením se JSON naplní IMEI číslem komunikačního modulu, typem posílaných dat a metodou. IMEI je serverem využíváno k odfiltrování nežádoucích příchozích dat. Další potřebnou informací je čas měření a časový posun v lokalitě. Především časová informace je důležitá. Využívá se UTC čas, který se zjišťuje SIM7020E modulem.

Při měření se JSON postupně plní naměřenými hodnotami. Naměřené hodnoty jsou zaokrouhlovány na dvě desetinná místa. Po dokončení měření je JSON textový řetězec převeden do formátu šestnáctkové soustavy. Hexadecimální text se předá pomocí AT příkazu SIM7020E modulu.

```
{ "f": "data", "o": "post", "z": 120, "i": "867334060262362", "u": "2024-05-08 16:00:20", "t": 23.81, "h": 45.68, "q": 1000.5, "p": 1013.25, "r": 0, "w": 0, "x": 180 }
```

Obr. 36: Ukázka odeslaných dat přijatých serverem.

Na obr. 36 vidíme příklad přijatých dat v JSON formátu. Identifikátor *i* značí IMEI číslo, *u* značí UTC čas měření, *z* je časový posun v lokalitě (v minutách), *t* je teplota, *h* je relativní vlhkost, *q* je tlak vzduchu, *p* je tlak vzduchu přepočtený na hladinu moře, *r* jsou srážky (počet impulzů), *w* je rychlost větru a *x* je směr větru.

Hexadecimální reprezentace těchto přijatých dat, které jsou na obr. 36 by byla: „7b2266223a2264617461222c226f223a22706f7374222c227a223a3132302c2269223a22383637333334303630323632333632222c2275223a22323032342d30352d30382031363a30303a3230222c2274223a32332e38312c2268223a34352e36382c2271223a313030302e352c2270223a313031332e32352c2272223a302c2277223a302c2278223a3138307d“.

### Ukládání hodnot ve spánku

Většina hodnot se získává až při samotném měření a není potřeba je mít uložené předem. Průběžné měření srážek je potřeba zaznamenávat neustále. Proto bylo využito *RTC Slow Memory*, které i v režimu hlubokého spánku zůstává aktivní a data uchovává [31]. *RTC Slow Memory* se využívá především v souvislosti s měřením srážek.

```
21
22 RTC_DATA_ATTR uint32_t _rainfallCounts = 0;
23
```

Obr. 37: Ukázka deklarování proměnné, jejíž hodnota bude ukládána v RTC memory.

V programu byl využit atribut `RTC_DATA_ATTR` (viz obr. 37), který značí, že má být proměnná a její hodnota uložena v RTC Slow Memory [31]. S proměnnou se následně pracuje jako s normální proměnnou a její hodnotu lze před spánkem upravovat.

### Zapínání spánkového režimu

Protože BME280 a NB-IoT moduly jsou do spánkového režimu ukládány automaticky, je potřeba nastavit pouze spánkový režim mikrokontroleru. Před uložením mikrokontroleru ke spánku je potřeba nastavit, kdy má dojít k probuzení. Budou se využívat dva různé zdroje. Prvním zdrojem probuzení bude srážkoměr a druhým zdrojem bude časovač.

Nastavuje se časovač mikrokontroleru, který mikrokontroler automaticky probudí každou hodinu. Tento časovač využívá RTC modul k vypočítání času do dalšího probuzení. ESP32 vyžaduje nastavení času v mikrosekundách [31].

```
esp_sleep_enable_timer_wakeup(mikrosekundy);
```

Obr. 38: Dostupná metoda pro nastavení časovače speciálně pro ESP32 mikrokontrolery.

Nastavením srážkoměru jako zdroje probuzení je složitější. Srážkoměr je v obou krajních polohách ve stabilním stavu. V obou těchto polohách je na výstupu vysoký stav napětí. Proto bude žádaným stavem napětí pro probuzení nízký stav. Ten nastane při překlápění.

Při testech bylo zjištěno, že mikrokontroler je probouzen nejen při změně napětí na portu na žádaný stav, ale i pokud se tento stav nezmění před usmáním. To znamená, že pokud by se mikrokontroler měl probudit, když se stav napětí změní z vysokého na nízké napětí mikrokontroler se probudí. Pokud by však nedošlo ke zpětné změně napětí, tak dojde ihned po usmáním k opětovnému probuzení. Tento problém může nastat, pokud bude srážkoměr příliš dlouho v sepnutém stavu. Proto mikrokontroler bude čekat na vysoký stav napětí od srážkoměru, než bude uložen ke spánku. Bude čekat na úplné překlopení kyvného kbelíku.

K probouzení se využil zdroj probuzení typu `ext0`, který počítá s jedním konkrétním vstupním portem a nastavuje se těsně před uložením mikrokontroleru do hlubokého spánku [31].

```
esp_sleep_enable_ext0_wakeup(GPIO_NUM_6, 0); //1 = High, 0 = Low
```

Obr. 39: Dostupná metoda pro nastavení externího zdroje probuzení typu `ext0`.

Speciálně pro ESP32 mikrokontrolery.

Na obr. 39 je použita ESP32 metoda na nastavení externího zdroje probuzení. Nula značí žádaný nízký stav napětí na sledovaném Arduino portu. Jednička by zase značila žádaný vysoký stav napětí [31].

Protože je možné nastavit pouze jeden externí zdroj probuzení, není využit RTC modul jako další zdroj probuzení. RTC modul umožňuje nastavit alarm, který by mohl

mikrokontroler probouzet každou hodinu. Alarm ale při doběhnutí mění stav napětí z vysokého na nízký. Výchozí je vysoký stav pro kontrolu funkčnosti alarmu. Z tohoto důvodu není možné kombinovat srážkoměr a RTC modul jako dva zdroje externího probuzení. Ani při použití zdroje probuzení typu *ext1* (viz kapitola 5.1.1 a popis ESP32) [25].

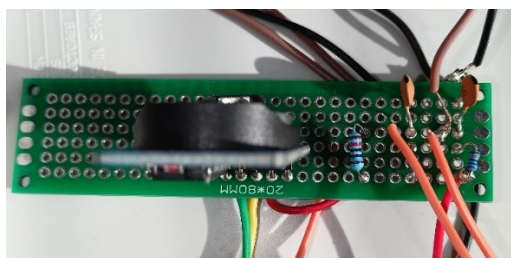
Po nastavení způsobu probuzení a časovače je možné uložit mikrokontroler ke spánku metodou na obr. 40. Po provedení uspávací metody se činnost mikrokontroleru zastaví a žádné další výpočetní operace nejsou provedeny [31].

```
esp_deep_sleep_start();
```

Obr. 40: Metoda pro uložení mikrokontroleru do hlubokého spánku.

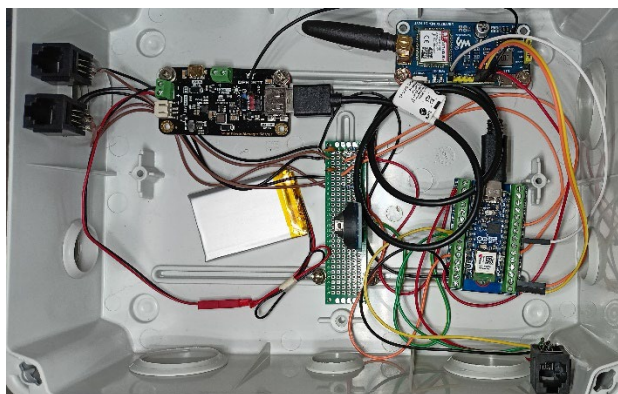
### 5.3 Fyzická realizace

Za pomoci univerzální desky s oboustranným plošným spojem byly obvody realizovány pájením. Na desce byly zhotoveny obvody pro anemometr, srážkoměr a senzor směru větru. Byly k ní připájeny potřebné rezistory a kondenzátory, jak je vidět na obr. 41. Byly využity dvě 6P6C zdičky. Jedna pro anemometr a senzor směru větru. Druhá pro srážkoměr. Vodiče vyvedené z 6P6C zdiček byly připájeny k obvodům na univerzální desce. Z desky byly vyvedeny potřebné vodiče k mikrokontroleru. Tři od senzorů, napájení a země.



Obr. 41: Univerzální deska s připájenými součástkami

Všechny součástky, které nejsou senzory a nevyžadují venkovní umístění, byly vloženy do krabice na elektroniku. Krabice má stupeň krytí IP65. To znamená, že je odolná proti prachu a vodě. První číslo značí, že je kompletně prachotěsná. Druhé číslo značí, že je odolná proti vodě, která je stříkaná tryskou z jakéhokoli směru [41]. Do krabice byly umístěny Arduino Nano, SIM7020E modul, RTC modul, baterie s modulem pro správu energie a 6P6C konektory i s univerzální deskou s obvody viz obr. 42. Do krabice jsou přivedeny vodiče pomocí kabelových průchodků.

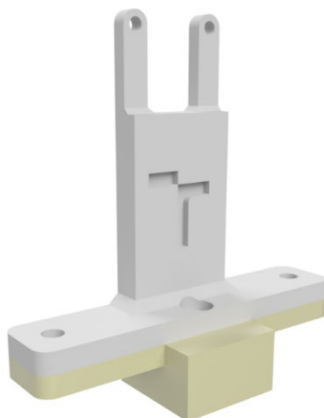


Obr. 42: Foto krabice s umístěnými a zapojenými součástkami.

### 5.3.1 Umístění BME280 senzoru

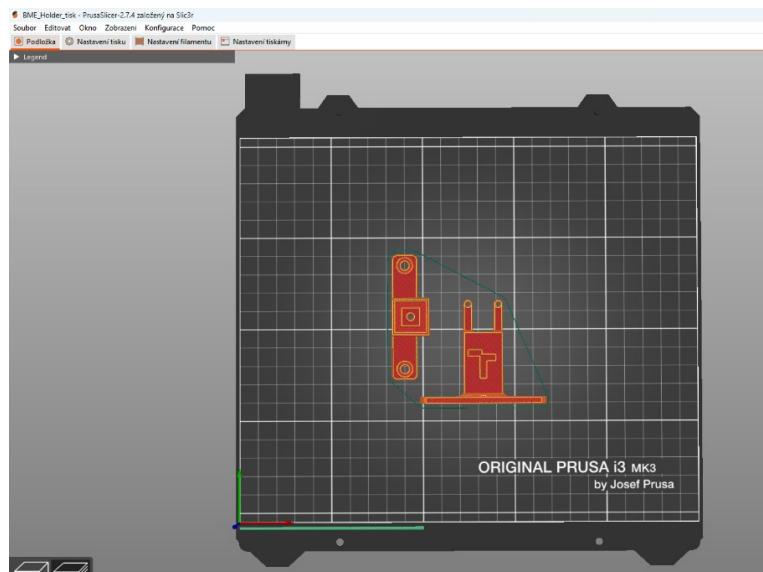
BME280 bylo potřeba umístit do radiačního štítu. Byl navržen držák, který senzor umístí přibližně doprostřed štítu. Tento držák byl následně vytištěn na 3D tiskárně.

Byly vytvořeny dvě součástky. Jedna součástka na umístění senzoru v radiačním štítu a druhá pro následné upevnění štítu ke zbytku meteostanice. Modely na následujícím obrázku byly vytvořeny v programu Inventor. Inventor je softwarový nástroj pro 3D modelování, vizualizaci a vytváření technických výkresů.



Obr. 43: Foto sestavy obou součástek z programu Inventor.

Z programu Inventoru byly následně exportovány jako .stl soubory. Za využití programu PrusaSlicer byl z .stl souborů vytvořen program pro 3D tiskárnu. Program se byl nahrán do 3D tiskárny. Byla využita 3D tiskárna *Original Prusa i3 MK3S*, která je dostupná studentům na Ústavu automatizace a informatiky Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně. PrusaSlicer je open-source software určený k přípravě modelů pro 3D tisk na různých 3D tiskárnách. Pohled na software a umístění modelů k tisku je na obr. 44.



Obr. 44: Pohled na umístění součástek připravené k tisku v programu PrusaSlicer.

Vytisknuté součástky jsou na následujícím obrázku. Je na ně upevněn BME280 senzor s radičním štítem.



Obr. 45: Vytisknuté součástky

### 5.3.2 Finální podoba stanice

Protože anemometr, větrná směrovka, srážkoměr a radiční štít patří do jedné sady senzorů (od stejného výrobce), je možné koupit celou sadu senzorů i s komponenty na konstrukci. Této možnosti se využilo a nebylo třeba navrhovat, k čemu senzory upevnit. Jedinou vlastní komponentou je držák na BME280 senzor, který zároveň upevňuje radiční štít ke zbytku konstrukce.

Meteostanice s komponenty a senzory byla sestavena dohromady. Senzory jsou zobrazeny na následujícím obrázku. Kabley od anemometru a větrné směrovky byly propojeny do jednoho. Tři kabely byly vyvedeny od senzorů do krabice na elektroniku pomocí průchodky. Krabice na elektroniku a solární panel nebyly připevněny ke konstrukci se senzory z důvodu lepšího možného umístění panelu a zbytku senzorů. Například panel na slunce a radiční štít z větší části do stínu.



Obr. 46: Senzory stanice

## 5.4 Test úspornosti meteostanice

Energetická úspornost stanice je důležitá. Proto byl proveden test úspornosti. Test byl prováděn s odpojeným externím napájením. Baterie byla plně nabitá, poté se odpojilo napájení a meteostanice se zapnula. Pravidelné probouzení probíhalo každou hodinu. Po každém probuzení bylo provedeno měření a naměřené hodnoty byly odeslány na server. Test byl prováděn v interiéru pro snadnější monitorování stavu napájení z baterie. Protože se v domácím prostředí špatně simulují srážky, byl test proveden bez jakékoliv činnosti srážkoměru. Kromě jednoho manuálního testu pro ověření funkčnosti. Totéž platí o anemometru, který byl několikrát manuálně aktivován pro ověření funkčnosti.

Test byl zahájen v 18:28 15.05.2024. Mikrokontroler se po prvním spuštění přepnul do režimu spánku. K poslednímu odeslání dat před odpojením baterie došlo v 1:00 18.05.2024 (našeho času) viz obr. 47. K odpojování baterie dochází modulem pro správu energie. Tento modul baterii automaticky odpojuje při poklesu napětí pod 2,4 V [29]. Nejedná se tedy o úplné vybití baterie, ale o limit, při kterém je baterie odpojována z důvodu její ochrany před trvalým poškozením.

```
{"f": "data", "o": "post", "z": 120, "i": "867334060262362", "u": "2024-05-17 23:00:11", "t": 22.64, "h": 52.43, "q": 994.02, "p": 1013.25, "r": 0, "w": 0, "x": 315}
```

Obr. 47: Poslední přijatá data serverem z meteostanice

Elektrické napětí baterie na konci testu bylo 2,81 V. Měření stavu baterie proběhlo až v 07:19 téhož dne. Za předpokladu, že k odpojení baterie by mělo dojít až při 2,4 V, byla stanice opět spuštěna [29]. Byl proveden restart modulu pro správu energie. Při spuštění se kontrolní LED diody na součástkách rozsvítily, ale jakmile došlo na měření a poslání dat, baterie byla odpojována a meteostanice přišla o napájení. Závěrem je, že k odpojení baterie by mohlo docházet, pokud její elektrické napětí bude mezi 3 a 2,4 V. Stanice před vypnutím provedla 55 měření.

## 6 ZÁVĚR

K sestavení stanice byly vybrány aktivní i pasivní součástky. Mezi aktivní součástky stanice patří deska Arduino Nano s mikrokontrolerem ESP32, BME280 senzor pro měření teploty, tlaku a vlhkosti, modul reálných hodin a komunikační modul. Jako řešení bezdrátového připojení a posílání naměřených dat bylo zvoleno řešení NB-IoT. Od toho se odvíjel také výběr komunikačního modulu, který NB-IoT sítě podporuje. Mezi pasivní součástky patří srážkoměr, anemometr a senzor směru větru. Napájení stanice bylo zajištěno pomocí baterie a solárního panelu. Proto byl kladen důraz na úspornost aktivních součástek a možnost jejich přepnutí do úsporného režimu.

Mikrokontroler ESP32 byl zvolen díky jeho úsporným režimům a nízké spotřebě. Bylo od začátku zamýšleno, že mikrokontroler bude probouzen z úsporného režimu srážkoměrem při dešti. RTC modul byl taky vybrán kvůli možnosti probouzení stanice. Bohužel bylo zjištěno, že probouzení mikrokontroleru ze spánkového režimu nepracuje tak, jak se předpokládalo, a kombinace probouzení srážkoměrem a RTC modulem nebyla možná. Proto bylo rozhodnuto, že mikrokontroler bude probouzen pouze srážkoměrem a interním časovačem, který bude synchronizován pomocí RTC modulu.

Mírnou překážkou byla také občasné podivná dokumentace součástek. Některé dokumentace nebyly napsány původně v anglickém jazyce. Proto je například u anemometru, větrné směrůvky a srážkoměru sporná správnost překladu dokumentace. Zvláštní dokumentace byla také u komunikačního modulu SIM7020E. Opět původním jazykem dokumentace pravděpodobně nebyla angličtina. Občasné problémy s chováním tohoto modulu byly také překážkou, především u testu úspornosti, kdy při prvním pokusu občas nedocházelo k finálnímu odeslání dat, ale pouze k měření. Zhruba polovina měření během tohoto testu zahrnovala i odeslání dat. Po opravě byly odesílány všechny potřebné informace.

Z testu úspornosti v kapitole 5.4 vyplývá, že stanice vydrží měřit několik dní i po výpadku energie. Stanice při testu provedla 55 měření. Při testu nebyl aktivně sledován stav baterie a její vybíjení. Bylo pouze prováděno ruční měření elektrického napětí baterie voltmetrem pro orientační kontrolu. Proto není zcela přesně určeno, kdy došlo k odpojení baterie. Podle manuálního měření byla baterie odpojena ještě před dosažením hranice. Voltmetr udával, že na konci testu měla baterie stále 2,81 V. K odpojování baterie mělo docházet až při 2,4 V [29]. K odpojení baterie došlo pravděpodobně někde nad touto hranicí. Mohlo k němu dojít při probouzení mikrokontroleru, kdy dochází ke kolísání napětí baterie. Při tomto zakolísání by manažer solární energie mohl baterii odpojit, pokud by došlo k překročení hranice napětí.

I přes drobné překážky byla stanice sestavena a zprovozněna. Napájení je zajišťováno solárním panelem a baterií, která se průběžně dobíjí. Meteostanice proto provádí měření každou hodinu. Kvůli tomu meteostanice neinformuje o konzistentním vývoji počasí, ale spíše o orientačním vývoji. Dalším krokem by mohla být lepší

front-end serverová část stanice. Zobrazení naměřených dat v přehledných grafech nebo například možnost zobrazení historie měření.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOPÁČEK, Jaroslav; BEDNÁŘ, Jan a ŽÁK, Michal. *Jak vzniká počasí*. Vydání druhé, rozšířené a upravené. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2019. ISBN 978-80-246-4423-3.
- [2] BROCK, FRED V. AND RICHARDSON, Scott J. *Meteorological Measurement Systems*. Oxford University Press. ISBN 978-0-19-513451-3. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMMS00003/meteorological-measurement/meteorological-measurement>. [cit. 2024-02-12].
- [3] ŠKRABÁNEK, Pavel. *Elektrické automatizační prostředky*. Prezentace. 18.9.2023. © 2020. [cit. 2024-02-12]. Prezentace z přednášek předmětu Automatizační prostředky – VPR.
- [4] HAMMER, Miloš. *Technická měření: Měření výšky hladiny, průtoku a vlhkosti*. Prezentace. 9.11.2023. [cit. 2024-02-17]. Prezentace přednášek předmětu Technická měření – VTM.
- [5] KOPETZ, Hermann; STEINER, Wilfried; KOPETZ, Hermann a STEINER, Wilfried. Internet of Things. Online. In: *Real-Time Systems*. Cham: Springer International Publishing, 2022, s. 325-341. ISBN 978-3-031-11991-0. Dostupné z: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-11992-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-031-11992-7_13). [cit. 2024-02-27].
- [6] LAM, Kwok-Yan a CHI, Chi-Hung. Identity in the Internet-of-Things (IoT): New Challenges and Opportunities. Online. In: LAM, Kwok-Yan; CHI, Chi-Hung a QING, Sihan (ed.). *Information and Communications Security*. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, 2016, s. 18-26. ISBN 978-3-319-50010-2. Dostupné z: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-50011-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-50011-9_2). [cit. 2024-05-15].
- [7] CHAUDHARI, Bharat S.; ZENNARO, Marco a BORKAR, Suresh. LPWAN Technologies: Emerging Application Characteristics, Requirements, and Design Considerations. Online. *Future Internet*. 2020, roč. 12, č. 3. ISSN 1999-5903. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/fi12030046>. [cit. 2024-02-26].
- [8] ARDUINO S.R.L. *Arduino® Nano ESP32*. Online. © 2021. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/collections/nano-family/products/nano-esp32>. [cit. 2024-02-20].
- [9] ARDUINO S.R.L. *Arduino Nano*. Online. © 2021. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/collections/nano-family/products/arduino-nano>. [cit. 2024-02-20].
- [10] ARDUINO S.R.L. *Arduino Nano Every*. Online. © 2021. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/collections/nano-family/products/arduino-nano-every>. [cit. 2024-02-20].

- [11] ARDUINO S.R.L. *Arduino Nano 33 IoT*. Online. © 2021. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/collections/nano-family/products/arduino-nano-33-iot>. [cit. 2024-02-20].
- [12] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi Documentation: Microcontrollers*. Online. © 2024. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/documentation/microcontrollers/raspberry-pi-pico.html>. [cit. 2024-02-20].
- [13] RPISHOP.CZ. *Raspberry Pi Pico*. Online. © 2024. Dostupné z: <https://rpishop.cz/raspberry-pi-pico/5117-raspberry-pi-pico.html>. [cit. 2024-02-20].
- [14] BOSH SENSORTEC GMBH. *BME280 Combined humidity and pressure sensor*. PDF. 2015. Dostupné z: [https://www.laskakit.cz/user/related\\_files/bst-bme280.pdf](https://www.laskakit.cz/user/related_files/bst-bme280.pdf). [cit. 2024-02-13].
- [15] BOSCH SENSORTEC GMB. *BMP280 Digital Pressure Sensor*. Online. 2015. Dostupné z: [https://www.laskakit.cz/user/related\\_files/bst-bmp280-ds001-11.pdf](https://www.laskakit.cz/user/related_files/bst-bmp280-ds001-11.pdf). [cit. 2024-02-13].
- [16] GUANGZHOU AOSONG ELECTRONIC CO., LTD. *DHT11 SIP Packaged Temperature and Humidity Sensor-Sensor-Temperature and Humidity*. Online. 2020. Dostupné z: <http://www.aosong.com/en/products-21.html>. [cit. 2024-02-13].
- [17] BOSH SENSORTEC GMBH. *BME688 Digital low power gas, pressure, temperature & humidity sensor with AI*. PDF. 2024. Dostupné z: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme688-ds000.pdf>. [cit. 2024-02-14].
- [18] *QS-FS Wind sensor*. Online, PDF. Dostupné z: [https://www.laskakit.cz/user/related\\_files/qs-fs-en.pdf](https://www.laskakit.cz/user/related_files/qs-fs-en.pdf). [cit. 2024-04-10].
- [19] *QS-FS01 čidlo rychlosti větru – anemometr*. Online. LaskaKit. © 2024. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/qs-fs01-cidlo-rychlosti-vetru-anemometr/>. [cit. 2024-05-15].
- [20] SHENZHEN FINE OFFSET ELECTRONICS CO., LTD. *DS 15901 Weather Meter*. PDF. Dostupné z: [https://cdn.sparkfun.com/assets/d/1/e/0/6/DS-15901-Weather\\_Meter.pdf](https://cdn.sparkfun.com/assets/d/1/e/0/6/DS-15901-Weather_Meter.pdf). [cit. 2024-02-19].
- [21] *Weather Meter Kit*. Online. In: SPARKFUN ELECTRONICS ®. SparkFun. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/products/15901>. [cit. 2024-05-16].
- [22] LASKAKIT S.R.O. *WH-SP-WD čidlo směru větru*. Online. In: LASKAKIT S.R.O. LaskaKit. © 2024. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/wh-sp-wd-cidlo-smeru-vetru/>. [cit. 2024-02-19].

- [23] BOTLAND. *NB-IoT HAT - GSM SIM7020E - štít pro Raspberry Pi 4B / 3B + / 3B / 2B / Zero - Waveshare 15936*. Online. © 2024. Dostupné z: <https://botland.cz/raspberry-pi-hat-komunikace/14779-nb-iot-hat-gsm-sim7020e-stit-pro-raspberry-pi-4b-3b-3b-2b-zero-waveshare-15936-5904422322533.html>. [cit. 2024-04-09].
- [24] LASKAKIT S.R.O. *RTC Hodiny reálného času DS3231 AT24C32*. Online. LaskaKit. © 2024, 5. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/arduino-rtc-hodiny-realneho-casu-ds3231-at24c32/>. [cit. 2024-04-09].
- [25] MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, INC. *DS3231: Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO/Crystal*. Online. 2015. Dostupné z: [https://www.laskakit.cz/user/related\\_files/ds3231.pdf](https://www.laskakit.cz/user/related_files/ds3231.pdf). [cit. 2024-05-05].
- [26] LASKAKIT S.R.O. *Solární panel 5V 4W s držákem an zed'*. Online. LaskaKit. © 2024. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/solarni-panel-5v-4w-s-drzakem-na-zed/>. [cit. 2024-05-05].
- [27] BOTLAND B. DERKACZ SP. K. *DFRobot Solar Power Manager*. Online. Botland. © 2024. Dostupné z: <https://botland.cz/prislusenstvi-solarnich-panelu/14423-dfrobot-solar-power-manager-modul-pro-spravu-solarni-energie-5v-6959420913473.html>. [cit. 2024-05-05].
- [28] BOTLAND B. DERKACZ SP. K. *Baterie Akyga 900mAh 1S 3,7 V Li-Pol*. Online. Botland. © 2024. Dostupné z: <https://botland.cz/baterie-li-pol-1s-37-v/15611-baterie-akyga-900mah-1s-37-v-li-pol-konektor-jst-bec-zasuvka-50x34x5mm-5904422343606.html>. [cit. 2024-05-05].
- [29] DFROBOT. *Solar Power manager Series*. Online. Dostupné z: [https://wiki.dfrobot.com/Solar\\_Power\\_Manager\\_5V\\_SKU\\_DFR0559](https://wiki.dfrobot.com/Solar_Power_Manager_5V_SKU_DFR0559). [cit. 2024-05-08].
- [30] LASKAKIT S.R.O. *Kryt pro čidla meteostanice, 70x145mm, plast*. Online. LaskaKit. © 2024. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/kryt-pro-cidla-meteostanice--70x145mm--plast/>. [cit. 2024-05-05].
- [31] ESPRESSIF SYSTEMS CO., LTD. *ESP32-S3: ESP-IDF Programming Guide*. Online. Licence: Apache License 2.0. 2024. Dostupné z: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32s3/index.html>. [cit. 2024-05-05].
- [32] SIMCOM WIRELESS SOLUTIONS CO., LTD. *SIM7020 Series AT Command Manual*. Online. 2019. Dostupné z: [https://www.waveshare.com/w/upload/a/a4/SIM7020\\_Series\\_AT\\_Command\\_Manual\\_V1.03.pdf](https://www.waveshare.com/w/upload/a/a4/SIM7020_Series_AT_Command_Manual_V1.03.pdf). [cit. 2024-05-05].

- [33] SIMCOM WIRELESS SOLUTIONS CO., LTD. *SIM7020G \_Hardware Design*. Online. 2019. Dostupné z: [https://www.waveshare.com/w/upload/2/2d/SIM7020G\\_Hardware\\_Design\\_V1.0\\_0.pdf](https://www.waveshare.com/w/upload/2/2d/SIM7020G_Hardware_Design_V1.0_0.pdf). [cit. 2024-050-050].
- [34] *LaskaKit BME280 Senzor tlaku, teploty a vlhkosti vzduchu*. Online. In: LASKAKIT S.R.O. LaskaKit. © 2024. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/arduino-senzor-tlaku--teploty-a-vlhkosti-bme280/>. [cit. 2024-05-05].
- [35] *WH-SP-WS01 čidlo rychlosti větru – anemometr*. Online. In: LASKAKIT S.R.O. LaskaKit. © 2024. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/wh-sp-ws01-cidlo-rychlosti-vetru-anemometr/>. [cit. 2024-02-19].
- [36] *MS-WH-SP-RG srážkoměr*. Online. In: LASKAKIT S.R.O. LaskaKit. © 2024. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/ms-wh-sp-rg-srazkomer/>. [cit. 2024-02-19].
- [37] WIKIPEDIE, Příspěvatelé. *Dělič napětí*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2024. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C4%9Bli%C4%8D\\_nap%C4%9Bt%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C4%9Bli%C4%8D_nap%C4%9Bt%C3%AD). [cit. 2024-05-15].
- [38] ESPRESSIF SYSTEMS CO., LTD. *Arduino-ESP32: ADC*. Online. ESPRESSIF SYSTEMS CO., LTD. Arduino ESP32 Core documentation. © 2023. Dostupné z: <https://espressif-docs.readthedocs-hosted.com/projects/arduino-esp32/en/latest/api/adc.html#arduino-esp32-adc-api>. [cit. 2024-05-22].
- [39] ŠKRABÁNEK, Pavel. *Elektrické automatizační prostředky*. Prezentace. 2.10.2023. © 2020. [cit. 2024-05-22]. Prezentace z přednášek předmětu Automatizační prostředky – VPR.
- [40] SPARKFUN ELECTRONICS. *SparkFun Weather Meter Kit Arduino Library*. GitHub repository. Verze 1.1.1. Licence: MIT. Dostupné z: [https://github.com/sparkfun/SparkFun\\_Weather\\_Meter\\_Kit\\_Arduino\\_Library](https://github.com/sparkfun/SparkFun_Weather_Meter_Kit_Arduino_Library). [cit. 2024-05-05].
- [41] *IP code*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2024. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/IP\\_code](https://en.wikipedia.org/wiki/IP_code). [cit. 2024-05-09].

# SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

## Seznam obrázků:

Obr. 1: Jednoduché zobrazení dvou manometrů. Překresleno z [2].	19
Obr. 2: Bimetalový pásek ze dvou kovů s různým koeficientem tepelné roztažnosti. Při změně teploty se pásky ohnou o určitou vzdálenost Překresleno z [2].	21
Obr. 3: Jednoduchý pasivní radiační štít s pasivním prouděním vzduchu kolem senzoru. Překresleno z [2].	22
Obr. 4: Jednoduchý srážkoměr s kyvným kbelíkem. Překresleno z [2].	27
Obr. 5: Princip fungování optického srážkoměru. Překresleno z [2].	27
Obr. 6: Skupiny sítí a jejich orientační dosah. Přeloženo z [7].	31
Obr. 7: Ilustrační obrázek desky Arduino ESP32 [8].	35
Obr. 8: Ilustrační obrázek Arduino nano desky [9].	35
Obr. 9: Ilustrační obrázek Arduino Nano Every [10].	35
Obr. 10: Ilustrační obrázek Arduino Nano 33 IoT desky [11].	36
Obr. 11: Ilustrační obrázek desky Raspberry Pi Pico [13].	36
Obr. 12: Ilustrační foto samotného BME280 senzoru [14].	37
Obr. 13: Ilustrační foto samotného BMP280 senzoru [15].	37
Obr. 14: Ilustrační foto samotného DHT11 senzoru [16].	37
Obr. 15: Ilustrační foto samotného BME668 senzoru [17].	38
Obr. 16: Ilustrační foto QS-FS01 anemometru [19].	38
Obr. 17: Ilustrační obrázek anemometru WH-SP-WS01 [21].	39
Obr. 18: Ilustrační obrázek snímače směru větru WH-SW-WD [21].	39
Obr. 19: Ilustrační foto MS-WH-SP-RG srážkoměru [21].	40
Obr. 20: SM7020E modul [23].	40
Obr. 21: DS3231 AT24C32 RTC modul [24].	41
Obr. 22: Solární panel [26].	42
Obr. 23: DFRobot Solar Power manager [27].	42
Obr. 24: Lithium-polymerová baterie [28].	43
Obr. 25: Radiační senzor.	43
Obr. 26: Modul s BME280 senzorem [34].	47
Obr. 27: Diagram pracovních režimů BME280 senzoru. Přeloženo z [14].	47
Obr. 28: Digitální reprezentace výstupního elektrického napětí. Graf vytvořen v programu Arduino IDE.	48
Obr. 29: Schéma zapojení anemometru [35].	49
Obr. 30: Schéma zapojení senzoru směru větru [22].	49
Obr. 31: Schéma zapojení srážkoměru [36].	50
Obr. 32: Digitální reprezentace výstupního elektrického napětí.	51
Obr. 33: Nastavení času RTC hodin	51
Obr. 34: Prvotní nastavení BME senzoru. Nastavení pracovního režimu, počtu měření a filtru	52

Obr. 35: Princip algoritmu s časovými okny. Překresleno z [40].	54
Obr. 36: Ukázka odeslaných dat přijatých serverem.	55
Obr. 37: Ukázka deklarování proměnné, jejíž hodnota bude ukládána v RTC memory.	55
Obr. 38: Dostupná metoda pro nastavení časovače speciálně pro ESP32 mikrokontrolery.	56
Obr. 39: Dostupná metoda pro nastavení externího zdroje probuzení typu ext0. Speciálně pro ESP32 mikrokontrolery.	56
Obr. 40: Metoda pro uložení mikrokontroleru do hlubokého spánku.	57
Obr. 41: Univerzální deska s připájenými součástkami.	57
Obr. 42: Foto krabice s umístěnými a zapojenými součástkami.	58
Obr. 43: Foto sestavy obou součástek z programu Inventor.	58
Obr. 44: Pohled na umístění součástek připravené k tisku v programu PrusaSlicer.	59
Obr. 45: Vytisknuté součástky	59
Obr. 46: Senzory stanice	60
Obr. 47: Poslední přijatá data serverem z meteostanice.	60

#### Seznam tabulek:

Tab. 1: Ukázka využitých AT příkazů [32].	46
Tab. 2: Výstupy senzoru směru větru. Za využití 5 V napájecího napětí a 10 k $\Omega$ odporu [22].	50
Tab. 3: Rozdíl výstupního elektrického napětí při použití odlišného napájení [22].	53

## SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ

HW	Hardware
WMO	World Meteorological Organization
RFID	Radio Frequency Identification
NFC	Near Field Communication
IoT	Internet of Things
GPS	Global Positioning Systém
EPC	Electronic Product Code
IMEI	International Mobile Equipment Identity
WPAN	Wireless Personal Area Networks
BLE	Bluetooth low energy
WLAN	Wireless Local Area Networks
WNAN	Wireless Neighborhood Area Networks
WWAN	Wireless Wide Area Networks
LPWAN	Low Power Wide Area Networks
M2M	Machine to Machine
NB-IoT	Narrowband IoT
ISM	Industrial, Scientific and Medical
CSS	Chirped Spread Spectrum
LTE	3GPP Long Tem Evolution
ROM	Read-Only Memory
SRAM	Static Random-Access Memory
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
SPI	Serial Peripheral Interface
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit
RJ	Registered Jack
6P6C	6 Position, 6 Conductor
LWM2M	Lightweight Machine to Machine
CoAP	Constrained Application protocol
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
SIM	Subscriber Identity Module
RTC	Real-time Clock
ULP	Ultra Low Power
UTC	Coordinated Universal Time
PSM	Power Saving Mode
eDRX	Extended Discontinuous Reception

A/D	Analog To Digital
JSON	JavaScript Object Notation
$p(0)$	Atmosférický tlak na hladině moře
$g$	Gravitační zrychlení
$\rho$	Hustota vzduchu
$v_{\text{vitr}}$	Rychlost větru
$i_{\text{predchozi}}$	Počet impulzů
$t_{\text{predchozi}}$	Čas předchozího časového okna
$v_{\text{kalibrace}}$	Kalibrační rychlost větru anemometru při frekvenci 1 Hz
$U$	Vstupní hodnota napětí do senzoru směru větru
$U_{\text{merene}}$	Napětí měřené A/D převodníkem Arduino desky

# SEZNAM PŘÍLOH

Schéma zapojení

Program meteostanice



# PŘÍLOHY

## Schéma zapojení

