



**FAKULTA
INFORMAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ČVUT V PRAZE**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Název:	Dálkově ovládaná meteostanice s nízkou spotřebou
Student:	Vojtěch Jílek
Vedoucí:	Ing. Pavel Kubalík, Ph.D.
Studijní program:	Informatika
Studijní obor:	Počítačové inženýrství
Katedra:	Katedra číslicového návrhu
Platnost zadání:	Do konce letního semestru 2020/21

Pokyny pro vypracování

1. Prozkoumejte existující řešení.
2. Navrhněte a zrealizujte zařízení pro vzdálené měření meteorologických dat.
3. Zařízení bude splňovat tyto požadavky:
 - stanice bude poskytovat měření teploty, vlhkosti, tlaku a koncentrace CO₂,
 - jako řídicí platformu použijte Arduino s procesorem ATmega2560,
 - zařízení bude komunikovat s pomocí bluetooth a SMS zpráv s mobilním telefonem,
 - pomocí vzdálené komunikace bude možné zařízení konfigurovat,
 - zařízení bude umožňovat záznam naměřených dat,
 - celý návrh bude proveden s ohledem na nízkou spotřebu,
 - pro výsledné zařízení naprogramujte obslužnou aplikaci,
 - aplikaci implementujte v jazyku C,
 - výsledné řešení řádně otestujte.

Seznam odborné literatury

Dodá vedoucí práce.

doc. Ing. Hana Kubátová, CSc.
vedoucí katedry

doc. RNDr. Ing. Marcel Jiřina, Ph.D.
děkan

V Praze dne 30. ledna 2020



**FAKULTA
INFORMAČNÍCH
TECHNOLGIÍ
ČVUT V PRAZE**

Bakalářská práce

Dálkově ovládaná meteostanice s nízkou spotřebou

Vojtěch Jílek

Katedra číslicového návrhu

Vedoucí práce: Ing. Pavel Kubalík, Ph.D.

29. května 2020

Poděkování

Chtěl bych poděkovat především svému vedoucímu Ing. Pavlu Kubalíkovi za jeho rady a ochotu se vším pomoci. Dále bych chtěl poděkovat i své rodině za vytvoření příjemného prostředí k psaní práce.

Prohlášení

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

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona, ve znění pozdějších předpisů. V souladu s ust. § 2373 odst. 2 zákona č. 89/2012 Sb., občanský zákoník, ve znění pozdějších předpisů, tímto uděluji nevýhradní oprávnění (licenci) k užití této mojí práce, a to včetně všech počítačových programů, jež jsou její součástí či přílohou a veškeré jejich dokumentace (dále souhrnně jen „Dílo“), a to všem osobám, které si přejí Dílo užít. Tyto osoby jsou oprávněny Dílo užít jakýmkoli způsobem, který nesnižuje hodnotu Díla a za jakýmkoli účelem (včetně užití k výdělečným účelům). Toto oprávnění je časově, teritoriálně i množstevně neomezené. Každá osoba, která využije výše uvedenou licenci, se však zavazuje udělit ke každému dílu, které vznikne (buť jen zčásti) na základě Díla, úpravou Díla, spojením Díla s jiným dílem, zařazením Díla do díla souborného či zpracováním Díla (včetně překladu) licenci alespoň ve výše uvedeném rozsahu a zároveň zpřístupnit zdrojový kód takového díla alespoň srovnatelným způsobem a ve srovnatelném rozsahu, jako je zpřístupněn zdrojový kód Díla.

V Praze dne 29. května 2020

.....

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta informačních technologií

© 2020 Vojtěch Jílek. Všechna práva vyhrazena.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Českém vysokém učení technickém v Praze, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna právními předpisy a mezinárodními úmluvami o právu autorském a právech souvisejících s právem autorským. K jejímu užití, s výjimkou bezúplatných zákonných licencí a nad rámec oprávnění uvedených v Prohlášení na předchozí straně, je nezbytný souhlas autora.

Odkaz na tuto práci

Jílek, Vojtěch. *Dálkově ovládaná meteostanice s nízkou spotřebou*. Bakalářská práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta informačních technologií, 2020.

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a výrobou meteostanice, která měří teplotu, vlhkost, tlak a koncentraci oxidu uhličitého. Navržená stanice je dále schopna komunikovat s uživatelem pomocí Bluetooth a SMS zpráv, počítat průměry naměřených hodnot a kontrolovat zda nebyl u některé měřené veličiny překročen limit. Stanice je založena na platformě Arduino. V rámci této práce je pro meteostanici vyroben i plošný spoj.

Klíčová slova meteostanice, Arduino, Bluetooth, GSM modul, nízká spotřeba, teplota, vlhkost, tlak, koncentrace oxidu uhličitého

Abstract

This thesis deals with designing and creating a meteorostation which measures temperature, humidity, pressure and concentration of carbon dioxide. The designed station can also communicate with user via Bluetooth and SMS messages, compute averages of measured values and check whether some quantity limit has been exceeded. The station is based on Arduino platform. PCB for the meteorostation has been created within this work.

Keywords meteorostation, Arduino, Bluetooth, GSM module, low power consumption, temperature, humidity, pressure, carbon dioxide concentration

Obsah

Úvod	1
1 Cíl práce	3
2 Existujících řešení	5
2.1 Komerční řešení	5
2.2 Nekomerční řešení	5
2.3 Srovnání navrhované stanice a komerčních řešení	8
3 Analýza	11
3.1 Arduino	11
3.1.1 Arduino Nano	11
3.1.2 Arduino Mega PRO	11
3.2 Potřebný hardware	13
3.2.1 Měřicí obvody	13
3.2.2 Komunikace	13
3.2.3 Napájení	13
3.3 Analýza požadavků	13
3.3.1 Funkční požadavky	13
3.3.2 Nefunkční požadavky	14
3.4 Použité součástky	14
3.4.1 Čidlo teploty a vlhkosti	14
3.4.2 Čidlo atmosférického tlaku	14
3.4.3 Čidlo koncentrace oxidu uhličitého	16
3.4.4 Obvod reálného času	16
3.4.5 Bluetooth	16
3.4.6 GSM Modul	17
3.4.7 Obrazovka	18
3.4.8 Čtečka SD karty	19
3.4.9 Obvod pro dobíjení baterií	19

3.4.10	Výběr vhodné desky Arduina	19
3.5	Spotřeba meteostanice	20
3.6	Odhad ceny	20
4	Návrh řešení	23
4.1	Schéma zapojení	24
4.1.1	Čidla teploty a vlhkosti	24
4.1.2	Senzor tlaku	24
4.1.3	Senzor koncentrace oxidu uhličitého	24
4.1.4	Obvod reálného času	25
4.1.5	Displej	26
4.1.6	Čtečka SD karty	26
4.1.7	Bluetooth modul	26
4.1.8	GSM modul	26
4.1.9	Tlačítka a led diody	28
4.1.10	Externí napájení	29
5	Realizace	31
5.1	Aplikace pro Arduino	31
5.1.1	Hlavní program	31
5.1.2	Senzory	32
5.1.3	Bluetooth	32
5.1.4	Tlačítka	32
5.1.5	Displej	32
5.1.6	Limity	33
5.1.7	Ovládání	33
5.1.8	SD karta	34
5.1.9	GSM modul	34
5.1.10	Řízení spotřeby	35
5.2	Plošný spoj	36
5.2.1	Návrh plošného spoje	36
5.2.2	Výroba a osazování	37
5.3	Cenová kalkulace	37
6	Testování	39
6.1	Testování během vývoje	39
6.2	Testování finálního výrobku	39
6.2.1	Měření hodnot a jejich zobrazení na displeji	39
6.2.2	Udržování přesného času	40
6.2.3	Nastavení limitů a jejich kontrola	40
6.2.4	Výpočet průměrů naměřených hodnot	40
6.2.5	Komunikace přes Bluetooth	40
6.2.6	Komunikace přes SMS	40
6.2.7	Snižování spotřeby	40

Závěr	43
Literatura	45
A Seznam použitých zkratek	49
B Obsah přiloženého CD	51

Seznam obrázků

2.1	Domácí meteostanice TFA 35.1145.54 LARGO	6
2.2	Meteorologická stanice WMR86NSX	6
2.3	Profesionální meteorologická stanice WMR300	6
2.4	Meteostanice založená na Raspberry Pi	8
3.1	Deska Arduino Nano	12
3.2	Deska Arduino Mega PRO	12
3.3	Čidlo DHT22 pro měření teploty a vlhkosti	15
3.4	Čidlo BMP180 pro měření tlaku	15
3.5	Čidlo MH-Z19B pro měření koncentrace CO_2	16
3.6	Modul DS3231 - čítač reálného času	17
3.7	Modul HC-05 pro komunikaci přes Bluetooth	17
3.8	Modul SIM800L pro komunikaci pomocí SMS	18
3.9	Waveshare 1.54 inch E-Ink displej	18
3.10	Modul pro SD kartu	19
3.11	Modul pro dobíjení baterií typu 18650	20
4.1	Blokové schéma navrhované meteostanice	23
4.2	Zapojení modulů DHT22	24
4.3	Zapojení modulu BMP180	25
4.4	Zapojení modulu MH-Z19B	25
4.5	Zapojení modulu DS3231	25
4.6	Zapojení displeje	26
4.7	Zapojení modulu s SD kartou	27
4.8	Zapojení modulu HC-05	27
4.9	Zapojení modulu SIM800L	28
4.10	Zapojení tlačítek a led diod	28
4.11	Zapojení stabilizátoru napětí pro externí napájení	29
5.1	Návrh plošného spoje (vrchní vrstva)	36
5.2	Návrh plošného spoje (spodní vrstva)	36

5.3	Plošný spoj	37
5.4	Osazený plošný spoj	37

Seznam tabulek

2.1	Srovnání komerčních meteorologických stanic	7
2.2	Srovnání komerčních meteorologických stanic s navrhovaným pro- totypem	9
3.1	Spotřeba použitých modulů	21
3.2	Ceny použitých součástí	21

Úvod

Lidé se již odedávna zajímají o sledování a zaznamenávání údajů o počasí. V dnešní době jim v tom velmi pomáhá automatizační technika, díky které už člověk kromě sledování počasí, může i na základě předchozích měření předpovídat počasí v budoucnu.

Tato práce se zabývá výrobou menší meteostanice, založené na platformě Arduino. Oproti existujícím řešením bude mít prototyp navrhovaný v této práci tu výhodu, že ho bude možné ovládat z mobilního telefonu a také bude mít nízkou spotřebu energie.

Práce je rozdělena na dvě hlavní části: analytickou (kapitoly Existující řešení a Analýza) a praktickou (kapitoly Návrh řešení, Realizace a Testování). Kapitola Existující řešení se zabývá průzkumem komerčních i nekomerčních existujících meteostanic. Kapitola Analýza se věnuje analýze požadavků na navrhovanou meteostanici a výběru vhodných modulů. V kapitole Návrh řešení je rozebrán návrh zapojení součástek. Kapitola Realizace se věnuje psaní obslužné aplikace pro Arduino a výrobě plošného spoje. Kapitola Testování se zabývá testováním vyrobeného prototypu.

Cíl práce

Cílem této práce je prozkoumat existující meteostanice a poté navrhnout a realizovat zařízení na vzdálené měření meteorologických dat. Meteostanice bude založena na platformě Arduino s procesorem ATmega2560 a bude umožňovat měření teploty, vlhkosti vzduchu, tlaku a koncentrace CO_2 . Naměřená data budou ukládána na permanentní datové úložiště a budou sloužit k výpočtu průměrných hodnot. Meteostanice bude umět komunikovat prostřednictvím Bluetooth a SMS zpráv s mobilním telefonem. Stanice bude napájena pomocí baterií a proto je nutné návrh provést s ohledem na nízkou spotřebu.

Cílem teoretické části (kapitoly Existující řešení a Analýza) je prozkoumat existující řešení a vybrat vhodné součástky pro realizaci meteostanice.

Cílem kapitol Návrh řešení a Realizace je navrhnout vhodné zapojení součástek, napsat obslužnou aplikaci pro Arduino a navrhnout a vyrobit plošný spoj pro meteostanici.

Cílem kapitoly testování je otestovat funkčnost vyrobeného prototypu meteostanice.

Existujících řešení

Uživatel, který má zájem o pořízení meteostanice, má na vývěr mezi komerčními a nekomerčními (vlastní výroba) stanicemi. Výhodu komerčních řešení je, že uživatel nemusí stanici sestavovat – vše koupí již připravené a stanici stačí jen nainstalovat. Oproti tomu nekomerční stanici si musí uživatel sestavit a nakonfigurovat sám, což mu ale přináší i jisté výhody – může si stanici upravit dle vlastních požadavků, přikoupit čidla a také jsou tyto stanice v budoucnu rozšiřitelné.

2.1 Komerční řešení

Při výběru komerční meteostanice hrají roli jednak funkce meteostanice a jednak také její cena. Pro představení komerčních řešení jsem zvolil tři zástupce různých cenových kategorií: Domácí meteostanice TFA 35.1145.54 LARGO viz obrázek 2.1(cena 1099 Kč [1]), Meteorologická stanice WMR86NSX viz obrázek 2.2 (cena 3849 Kč [2]) a Profesionální meteorologická stanice WMR300 viz obrázek 2.3(cena 18490 Kč [3]).

Ze srovnání (tabulka 2.1) je zřejmé, že všechny stanice umí měřit teplotu, tlak a vlhkost a s rostoucí cenou stanice přibývají další měřené veličiny i jiné funkcionality – Profesionální meteorologická stanice WMR300 má dotykový displej a její venkovní čidlo je napájeno solárním panelem.

2.2 Nekomerční řešení

Většina současných nekomerčních meteostanic je založena na platformách Arduino nebo Raspberry Pi, výhodou těchto platforem je rozšířená uživatelská komunita, která již vytvořila velké množství návodů a knihoven pro ovládání modulů. Pro představení této kategorie jsem zvolil meteostanici založenou na platformě Raspberry Pi(obraze 2.4), na níž je návod v projektu Build your own weather station, na oficiálních stránkách Raspberry Pi [4].

2. EXISTUJÍCÍCH ŘEŠENÍ



Obrázek 2.1: Domácí meteostanice TFA 35.1145.54 LARGO [1]



Obrázek 2.2: Meteorologická stanice WMR86NSX [2]

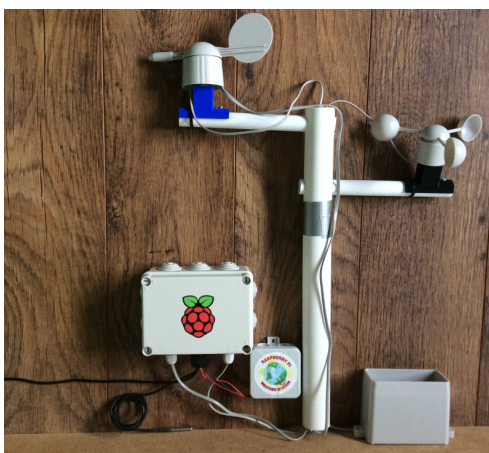


Obrázek 2.3: Profesionální meteorologická stanice WMR300 [3]

Tabulka 2.1: Srovnání komerčních meteorologických stanic [1, 2, 3]

Název	Domácí meteostanice TFA 35.1145.54 LARGO	Meteorologická stanice WMR86NSX	Profesionální meteorologická stanice WMR300
Cena	1099 Kč	3849 Kč	18490 Kč
Měřené veličiny	Tlak, teplota, vlhkost	Tlak, teplota, vlhkost, UV index, rychlost větru, rosný bod, úhrn srážek	Tlak, teplota, vlhkost, rychlost větru, rosný bod, úhrn a intenzita srážek
Budík	Ano	Ne	Ano
Venkovní čidlo	1x	1x + 1x srážkoměr a anemometr	1x + 1x srážkoměr a anemometr
Maximální vzdálenost čidla od stanice	100 m	100 m	300 m
Hodiny	Ano, synchronizace DCF77	Ano, synchronizace DCF77, popř. ruční nastavení	Ano, synchronizace DCF77, popř. ruční nastavení
Napájení stanice	3 AA baterie	7 AA baterií, síťový adaptér	3 baterie typu C, síťový adaptér
Napájení venkovního čidla	2 AA baterie	2 AAA baterie	1 nabíjecí AA baterie, solární panel
Ukládání naměřených hodnot	Ne	Ano	Ano
Displej	Černobílý	Barevný	Černobílý, dotykový
Výpočet průměrných hodnot	Ne	Ano	Ano

2. EXISTUJÍCÍCH ŘEŠENÍ



Obrázek 2.4: Meteostanice založená na Raspberry Pi [4]

Tato stanice umí měřit teplotu, vlhkost, tlak, úhrn srážek a směr, nárazy a rychlost větru. Naměřená data jsou ukládány do databáze, ke které může uživatel přistupovat přes WiFi [4].

2.3 Srovnání navrhované stanice a komerčních řešení

Navrhovaná meteostanice bude založená na platformě Arduino, což jí umožní budoucí rozšiřitelnost. Další výhodou oproti komerčním řešením bude dálkové ovládání meteostanice pomocí Bluetooth a SMS zpráv. Navrhovaná stanice bude naopak postrádat některé funkčnosti komerčních řešení, a to hlavně měření rychlosti větru a úhrnu srážek. Dále nebude navrhovaný prototyp obsahovat bezdrátové čidlo – venkovní čidlo bude ke stanici připojeno drátově.

2.3. Srovnání navrhované stanice a komerčních řešení

Tabulka 2.2: Srovnání komerčních meteorologických stanic s navrhovaným prototypem [1, 2, 3]

	Navrhovaný prototyp	Komerční řešení
Měřené veličiny	Tlak, teplota, vlhkost, koncentrace CO_2	Tlak, teplota, vlhkost, UV index, rychlost větru, rosný bod, úhrn srážek,...
Budík	Ne	Ano
Venkovní čidlo	Drátové	Bezdrátové
Hodiny	Ano, synchronizace pomocí GSM sítě	Ano, synchronizace DCF77, popř. ruční nastavení
Napájení stanice	Baterie 18650, síťový adaptér	Obvykle AA baterie, síťové adaptéry
Obrazovka	Ano	Ano
Rozšiřitelnost	Ano	Ne
Ovládání pomocí Bluetooth	Ano	Ne
Ovládání pomocí SMS	Ano	Ne

Analýza

Prvním krokem v tvorbě meteostanice je volba platformy, na které bude stanice fungovat. V současnosti patří mezi nejrozšířenější platformy Arduino a Raspberry Pi. Pro tuto práci bylo zvoleno Arduino a to hlavně pro jeho menší spotřebu [5].

3.1 Arduino

Arduino je open source platforma založená na propojování hardwaru a softwaru. Desky Arduina jsou vybaveny sadou vstupně-výstupních pinů, které mohou být využity ke komunikaci s periferiemi. Mikroprocesory, které Arduino využívá, jsou programovány pomocí jazyka C nebo C++ a to ve vývojovém prostředí Arduino IDE.[6] Nejpopulárnějšími Arduino deskami jsou Arduino Uno, Arduino Nano, Arduino Due a Arduino Mega.[7]

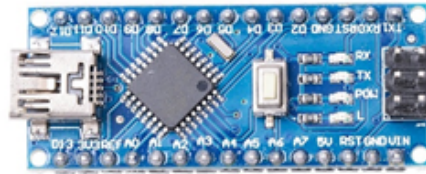
3.1.1 Arduino Nano

Arduino Nano (obrázek 3.1) je vývojová deska ovládaná procesorem AT-Mega328. Nabízí celkem 22 vstupně-výstupních digitálních pinů a 8 analogových vstupů. Deska má dále několik zabudovaných periferií jako například Sériová linka, PWM, I2C, SPI a externí přerušení. AT-Mega328 disponuje Flash pamětí na program o velikosti 32 kB, SRAM pamětí na data o velikosti 2 kB, a EEPROM pamětí o velikosti 1 kB. Cena: 4,49 USD [9]

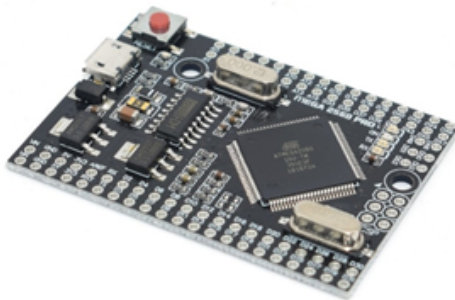
3.1.2 Arduino Mega PRO

Arduino Mega PRO (obrázek 3.2) je vývojová deska ovládaná procesorem AT-Mega2560. Nabízí celkem 70 vstupně-výstupních digitálních pinů a 16 analogových vstupů. Stejně jako Arduino Nano má i Arduino Mega PRO zabudované periferie, Mega má stejné typy periferií jako Nano, ale obsahuje více instancí některých z nich (má čtyři Sériové linky oproti jedné u Nana, šest

3. ANALÝZA



Obrázek 3.1: Deska Arduino Nano [9]



Obrázek 3.2: Deska Arduino Mega PRO [10]

externích přerušení oproti dvěma u Nana, ...). ATmega328 disponuje Flash pamětí na program o velikosti 256 kB, SRAM pamětí na data o velikosti 8 kB a EEPROM pamětí o velikosti 4 kB. Cena 5,44 USD [10]

3.2 Potřebný hardware

Díky tomu že je tato práce postavena na platformě Arduino, je možné zajistit všechny požadované funkcionality pomocí vhodných modulů. Při výběru modulů je třeba brát ohled na jejich spotřebu, aby byla zajištěna co nejmenší celková spotřeba stanice.

3.2.1 Měřicí obvody

Hlavními částmi meteostanice jsou moduly pro měření hodnot, stanice musí mít čidla pro měření teploty, vlhkosti, tlaku a koncentrace oxidu uhličitého. Dále bude třeba modul s čítačem reálného času, desky Arduina mají sice vlastní integrované čítače, ale ty nedosahují potřebné přesnosti pro dlouhodobé udržení přesného času [11]. Naměřené hodnoty je třeba ukládat a proto je nutné zvolit i modul pro permanentní uložení dat.

3.2.2 Komunikace

Meteostanice potřebuje také moduly pro bezdrátovou komunikaci (byla zvolena komunikace přes Bluetooth a SMS zprávy). Kromě bezdrátové komunikace bude stanice disponovat i několika tlačítky a obrazovkou.

3.2.3 Napájení

Stanice bude napájena pomocí baterií, ale bude umožňovat i externí napájení, proto bude nutné zvolit vhodný obvod pro nabíjení baterií a také stabilizátor napětí.

3.3 Analýza požadavků

3.3.1 Funkční požadavky

Dle [8] se funkční požadavky používají pro vyjádření chování systému.

- **FP1 Měření teploty, vlhkosti vzduchu, tlaku a koncentrace oxidu uhličitého**
Stanice bude periodicky měřit teplotu, vlhkost vzduchu, tlak a koncentraci CO_2 .
- **FP2 Zaznamenávání naměřených hodnot**
Stanice bude ukládat naměřené hodnoty na permanentní úložiště dat.
- **FP3 Komunikace pomocí SMS**
Stanice bude komunikovat pomocí SMS a zpracovávat takto přijaté příkazy.

3. ANALÝZA

- **FP4 Komunikace pomocí Bluetooth**

Stanice bude komunikovat pomocí Bluetooth a zpracovávat takto přijaté příkazy.

- **FP5 Hlídní limitů**

Stanice bude naměřené hodnoty porovnávat s přednastavenými limity a v případě jejich překročení upozorní uživatele.

3.3.2 Nefunkční požadavky

Nefunkční požadavky dle [8] určují omezení kladená na systém, jedná se o použitelnost, spolehlivost, výkon a podporovatelnost.

- **NP1 Platforma**

Jako řídicí platforma bude použito Arduino s procesorem ATmega2560.

- **NP2 Programovací jazyk**

Pro obslužnou aplikaci bude využit programovací jazyk C.

- **NP3 Rozšiřitelnost**

Stanice bude po dokončení rozšiřitelná.

- **NP4 Obrazovka**

Stanice bude zobrazovat naměřená data na obrazovce.

- **NP5 Nízká spotřeba**

Návrh stanice bude proveden s ohledem na nízkou spotřebu.

3.4 Použité součástky

3.4.1 Čidlo teploty a vlhkosti

Pro měření teploty a vlhkosti byl zvolen modul s čidlem DHT22 (obrázek 3.3), a to hlavně pro jeho velkou přesnost. Čidlo je schopné měřit teploty v rozmezí -40 až 80 °C s přesností 0,5 °C a vlhkosti v rozmezí 0 až 100 % s přesností 2 až 5 % (přesnost se snižuje stárnutím čidla). Pro měření teploty čidlo využívá termistor a vlhkost je měřena kapacitním čidlem. Komunikace mezi čidlem a Arduinem probíhá po jednom datovém vodiči. Čidlo má v klidu průměrný odběr 50 uA, při měření odebírá 1,5 mA. Cena čidla: 2,25 USD [12]

3.4.2 Čidlo atmosférického tlaku

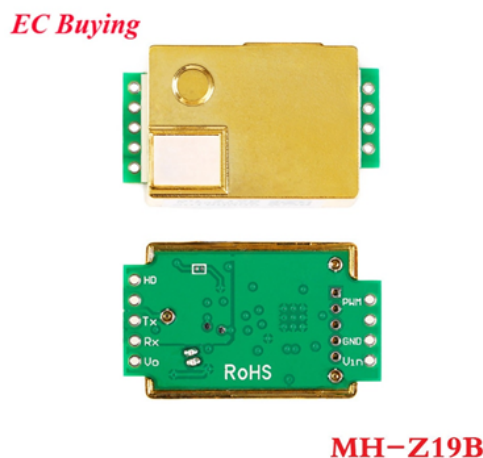
Atmosférický tlak stanice měří pomocí modulu BMP180 (obrázek 3.4), který měří tlak v rozmezí 300 až 1100 hPa a přesností 0,02 hPa. Čidlo je připojené pomocí I2C sběrnice. Průměrný odběr tohoto čidla je 0,5 uA. Cena čidla: 0,37 USD [13]



Obrázek 3.3: Čidlo DHT22 pro měření teploty a vlhkosti [12]



Obrázek 3.4: Čidlo BMP180 pro měření tlaku [13]



Obrázek 3.5: Čidlo MH-Z19B pro měření koncentrace CO_2 [14]

3.4.3 Čidlo koncentrace oxidu uhličitého

Pro měření koncentrace CO_2 byl vybrán modul MH-Z19B (obrázek 3.5), který je schopen měřit koncentraci v rozmezí 0 až 10000 ppm (1 ppm = 0,0001 %) s přesností 50 ppm. Koncentraci je měřena pomocí infračerveného senzoru. Modul nabízí 3 možnosti připojení: sériovou linku, analogový výstup a PWM výstup, pro komunikaci s Arduinem bylo zvoleno připojení přes sériovou linku. Čidlo má v klidu odběr 20 mA, ale během zahřívání spotřeba dosahuje až 150 mA (senzor si udržuje konstantní teplotu), proto je třeba toto čidlo odpojit od napájení pomocí tranzistoru IRFR5305, aby se šetřilo energií. Cena čidla: 16,88 USD. [14]

3.4.4 Obvod reálného času

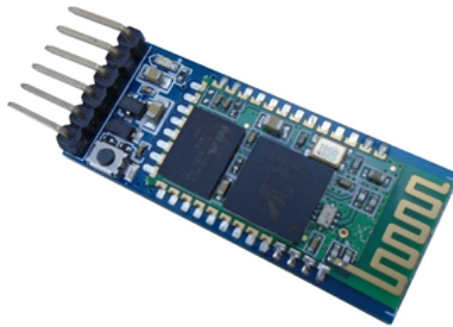
Pro uchování přesného času byl zvolen modul DS3231 (obrázek 3.6). Modul má vlastní baterii (CR2032) kvůli udržení aktuálního času i při výpadku hlavního napájení. Přesný čas je udržován pomocí krystalového oscilátoru a korekcí na základě okolní teploty. Při teplotě od -40 do 80 °C by roční odchylka času neměla přesáhnout 2 minuty. Komunikace s modulem probíhá přes I2C sběrnici. Průměrný odběr tohoto modulu je 300 uA. Cena: 1,03 USD (bez baterie) [15]

3.4.5 Bluetooth

Pro komunikaci přes Bluetooth byl vybrán modul HC-05 (obrázek 3.7), který umožňuje obousměrnou komunikaci na vzdálenost až 10 m. Modul je připojen přes sériovou linku (je zde vyžadována 3V logika a proto je třeba na vodič RXD



Obrázek 3.6: Modul DS3231 - čítač reálného času [15]



Obrázek 3.7: Modul HC-05 pro komunikaci přes Bluetooth [16]

přidat napěťový dělič). Průměrný odběr modulu činí 50 mA, proto je modul připojován k napájení jen na vyžádání od uživatele (pro spínání napájení je využit tranzistor IRFR5305). Cena modulu: 2,75 USD [16]

3.4.6 GSM Modul

Pro komunikaci pomocí SMS je ve stanici GSM modul SIM800L (obrázek 3.8), který umožňuje zasílání i přijímání SMS zpráv, ale také umí z GSM sítě získat aktuální datum a čas. Ke stanici je modul připojen pomocí sériové linky. Kvůli velké spotřebě tohoto modulu (v průměru 20 mA, ale okamžitý odběr dosahuje

3. ANALÝZA



Obrázek 3.8: Modul SIM800L pro komunikaci pomocí SMS [17]



Obrázek 3.9: Waveshare 1.54 inch E-Ink displej [18]

až 2 A), je nutné modul odpojit od napájení pomocí tranzistoru IRFR5305. Cena modulu: 3,50 USD [17]

3.4.7 Obrazovka

Pro zobrazení dat byl zvolen Waveshare 1.54 inch E-Ink displej (obrázek 3.9), jehož velkou výhodou je velmi nízká spotřeba, v klidu odebírá pouze 3 uA a při zápisu nových dat odebírá 5,2 mA. Displej má rozlišení 200 x 200 pixelů a je schopný udržovat poslední zobrazená data i po odpojení napájení. Displej je připojen pomocí SPI sběrnice. Cena: 18,89 USD [18]



Obrázek 3.10: Modul pro SD kartu [19]

3.4.8 Čtečka SD karty

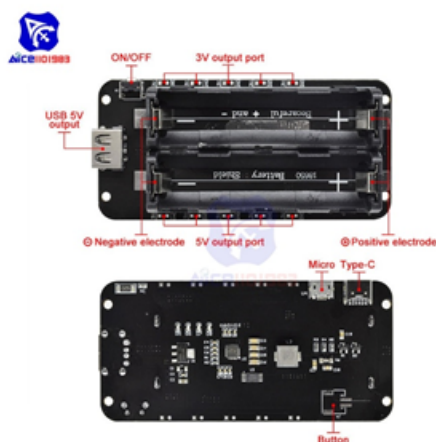
Pro ukládání dat byla vybrána SD karta s modulem pro zápis a čtení z ní (obrázek 3.10). Modul obsahuje jeden slot na mini SD kartu a je připojen přes SPI sběrnici. Průměrný odběr tohoto modulu v klidu je 5 mA, při čtení a zápisu dosahuje odběr až 40 mA, a proto je nutné modul odpojovat od napájení pomocí tranzistoru IRFR5305. Cena: 0,52 USD (bez SD karty) [19]

3.4.9 Obvod pro dobíjení baterií

Pro dobíjení baterií byl zvolen Dual 18650 Battery Charging Shield (obrázek 3.11), který je schopný držet 2 baterie typu 18650. Modul má 1 výstup USB 5V/3A, jeden výstup Type-C 3V/1A, 5 výstupů 5V/3A, 5 výstupů 3V/1A a jeden mikro USB vstup pro nabíjení. Cena modulu: 3,34 USD Cena baterií: 5,44 USD [20]

3.4.10 Výběr vhodné desky Arduina

Pro komunikaci s vybranými moduly je třeba celkem 17 pinů, další 4 jsou využity pro tlačítka a 2 pro LED diody – na počet pinů by tedy stačilo Arduino Nano, které má celkem 30 vstupně výstupních pinů. Některé knihovny pro obsluhu těchto modulů mají ale velké nároky na operační paměť (obzvláště knihovny pro GSM modul a pro čtečku SD karet), a proto by 2 kB SRAM paměti nestačily, proto byla pro meteostanici zvolena deska Arduino Mega PRO, která disponuje SRAM pamětí o velikosti 8 kB.



Obrázek 3.11: Modul pro dobíjení baterií typu 18650 [20]

3.5 Spotřeba meteostanice

V tabulce 3.1 jsou uvedeny spotřeby všech použitých modulů. Pro snížení spotřeby stanice jsou moduly MH-Z19B, HC-05, SIM800L a čtečka SD karet odpojovány od napájení v době, kdy nejsou třeba a samotné Arduino je uváděno do režimu spánku. Tím se sníží klidová spotřeba stanice až na 613,7 uA.

Arduino je probouzeno z režimu spánku v pravidelných intervalech pro aktualizaci času na displeji (přibližně každých 30 s). Nové hodnoty, kromě koncentrace oxidu uhličitého, stanice měří každých 5 minut. Koncentrace oxidu uhličitého je měřena pouze jedenkrát za hodinu, kvůli velkým nárokům modulu MH-Z19B na spotřebu – před měřením je nutné modul zahřívát minimálně po dobu 90 s, přičemž se zvyšuje jeho spotřeba na 150 mA. Modul SIM800L je spínám 2x denně pro příjem SMS zpráv (může být zapnut i mimo plánovaný čas, pokud byl překročen nějaký limit) a modul HC-05 je spínám jen na vyžádání od uživatele.

3.6 Odhad ceny

V této kapitole bude proveden odhad ceny meteostanice. Všechny moduly byly nakoupeny v internetovém obchodu AliExpress, aby se co nejvíce ušetřilo, proto jsou uvedené ceny v amerických dolarech. Pro přepočtení amerických dolarů na české koruny byl využit kurz 1 USD = 23.069 Kč z kurzovního lístku České národní banky ze dne 24. 11. 2019 [24].

Tabulka 3.1: Spotřeba použitých modulů [13, 14, 16, 18, 19, 21, 22, 23]

Modul	Průměrná spotřeba	
Arduino Mega PRO	60 mA	10 uA v režimu spánku
DHT22	150 uA	1,5 mA při měření
BMP180	0,5 uA	
MH-Z19B	20 mA	150 mA při zahřívání
DS3231	300 uA	
HC-05	50 mA	
SIM800L	20 mA	ve špičce až 2 A
E-Ink displej	3,2 uA	5,2 mA při obnově
Čtečka SD karet	5 mA	40 mA při čtení a zápisu

Tabulka 3.2: Ceny použitých součástek [25, 26]

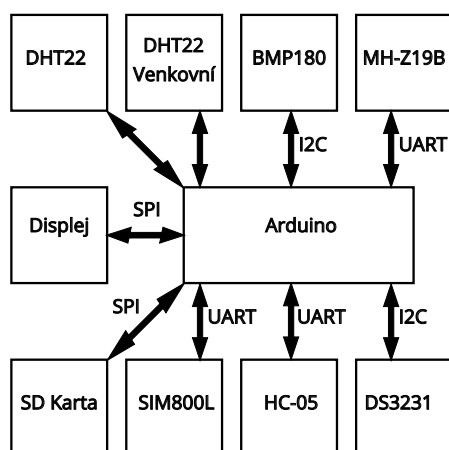
Arduino Mega PRO	5,44 USD	2x Dioda BY255	4,00 Kč
2x DHT22	4,50 USD	10x Keramický kondenzátor CKS0603 100n	19,60 Kč
BMP180	0,37 USD	10x Keramický kondenzátor CKS0603 10u	67,00 Kč
MH-Z19B	16,88 USD	Keramický kondenzátor CKS0603 330n	2,50 Kč
DS3231	1,03 USD	LED 0805 GREEN	2,70 Kč
Baterie CR2032	0,3 USD	LED 0805 RED	1,90 Kč
HC-05	2,75 USD	Napájecí souosý konektor DS-214B	1,50 Kč
SIM800L	3,50 USD	6x SMD Rezistor R0603 10k	7,20 Kč
Waveshare 1.54 inch E-Ink displej	18,89 USD	2x SMD Rezistor R0603 2k2	5, 80 Kč
Čtečka SD karty	0,52 USD	2x SMD Rezistor R0603 470R	2,40 Kč
SD karta	2,24 USD	2x SMD Rezistor R0603 4k7	2,40 Kč
Modul pro dobíjení baterií	5,44 USD	Stabilizátor pevného napětí 7805	72,00 Kč
2x Baterie 18650B	4,65 USD	4x Tranzistor IRFR5305	76,00 Kč
4x Tlačítko	0,09 USD		
Celkem	66,60 USD	Celkem	265,00 Kč

3. ANALÝZA

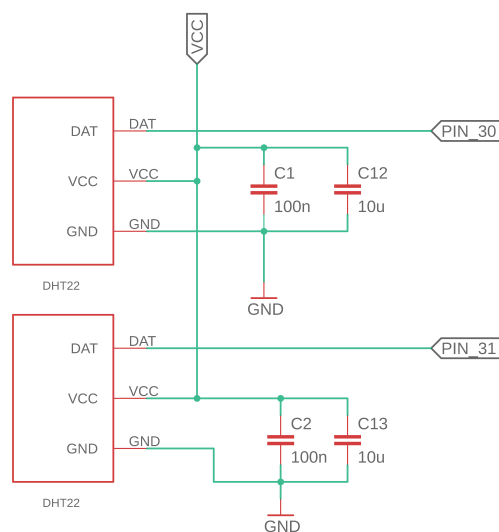
Ceny nakoupených součástí jsou uvedeny v tabulce 3.2 (v prvním sloupci jsou uvedeny součástky zakoupené v internetovém obchodu AliExpress, v druhém sloupci jsou uvedeny součástky zakoupené v českém internetovém obchodu GME). Plánované náklady na nákup součástí jsou tedy 1801 Kč. Odhadované náklady na výrobu plošného spoje jsou 1500 Kč. Celková cena meteostanice by se tedy měla pohybovat okolo 3300 Kč.

Návrh řešení

Prvním krokem, který jsem udělal při návrhu řešení, bylo nakreslení blokového schématu (obrázek 4.1). V blokovém schématu je vidět způsob připojení jednotlivých modulů k Arduino – tlakové čidlo (BMP180) a obvod reálného času (DS3231) jsou připojeny pomocí I2C sběrnice, E-Ink displej a modul pro SD kartu jsou připojeny k Arduino přes SPI sběrnici a GSM modul (SIM800L), Bluetooth modul (HC-05) a senzor koncentrace oxidu uhličitého (MH-Z19B) jsou připojeny pomocí sériové linky. Moduly pro měření teploty a vlhkosti (DHT22) jsou k Arduino připojeny pouze jedním datovým vodičem.



Obrázek 4.1: Blokové schéma navrhované meteostanice



Obrázek 4.2: Zapojení modulů DHT22

4.1 Schéma zapojení

Po navržení blokového schématu jsem začal navrhovat konkrétní zapojení součástek – v následujících podkapitolách bude podrobně rozebráno zapojení všech použitých modulů.

4.1.1 Čidla teploty a vlhkosti

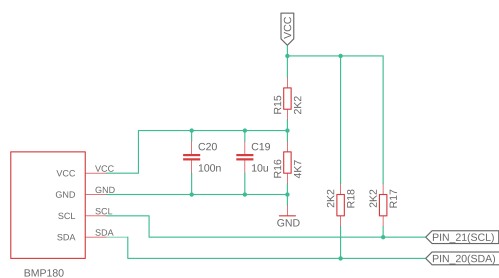
Modul DHT22 má pouze jeden datový vodič, kterým může být připojen k řídicí jednotce. V mojí práci jsou využita dvě čidla typu DHT22, jedno slouží jako vnitřní čidlo (je připojeno na pinu 30) a druhé jako venkovní čidlo (to je připojeno na pin 31). Zapojení obou čidel DHT22 je na obrázku 4.2.

4.1.2 Senzor tlaku

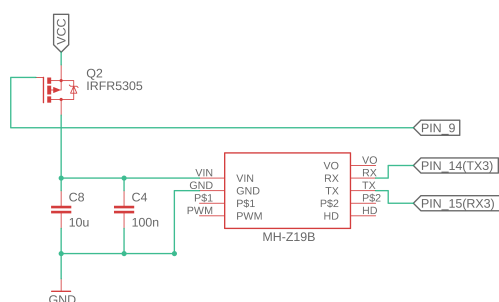
Modul BMP180 komunikuje s Arduinem pomocí I2C sběrnice, která je u desky Arduino Mega PRO na pinech 20 (SDA) a 21 (SCL). Na napájecí pin modulu jsem přidal napěťový dělič pro snížení napětí z 5 V na 3 V. Dále bylo nutné na oba vodiče I2C sběrnice přidat zvedací odpory o velikosti 2K2 Ohmu. Zapojení modulu BMP180 je na obrázku 4.3.

4.1.3 Senzor koncentrace oxidu uhličitého

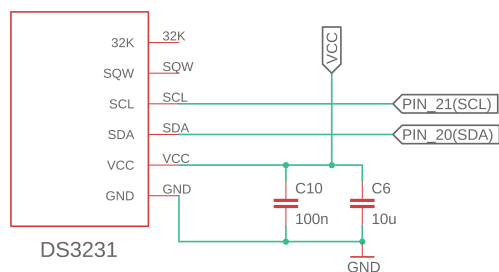
Modul MH-Z19B může komunikovat s Arduinem po sériové lince, pomocí PWM signálu, nebo přes analogový vstup. Pro použití v meteostanici jsem zvolil zapojení pomocí sériové linky číslo 3 (piny 14 a 15). Pro odpojování modulu od napájení kvůli snížení spotřeby jsem zvolil tranzistor IRFR5305,



Obrázek 4.3: Zapojení modulu BMP180



Obrázek 4.4: Zapojení modulu MH-Z19B

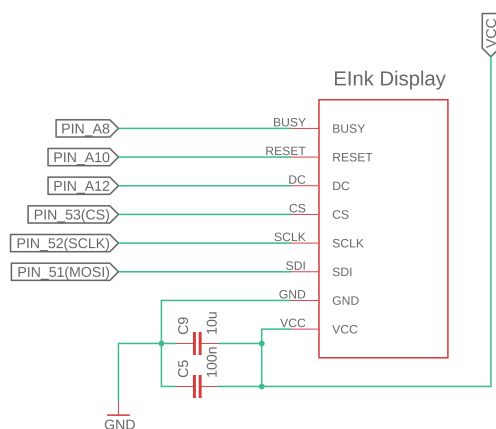


Obrázek 4.5: Zapojení modulu DS3231

jehož řídicí elektroda (Gate) je připojena na pin číslo 9. Zapojení modulu je na obrázku 4.4.

4.1.4 Obvod reálného času

Modul DS3231 komunikuje s Arduinem přes I2C sběrnici (stejně jako tlakový senzor), to znamená že je připojen k pinům 20 (SDA) a 21 (SCL). Zapojení modulu je na obrázku 4.5.



Obrázek 4.6: Zapojení displeje

4.1.5 Displej

E-Ink displej je k Arduinou připojen přes SPI sběrnici – piny 52 (CSK), 51 (MOSI) a 53 (SC), pin MISO není využit, protože displej žádná data zpět neposílá. Dále jsou k displeji připojeny ještě další tři datové vodiče, a to BUSY (pin A8), RESET (pin A10) a DC (pin A12). Zapojení modulu je na obrázku 4.6.

4.1.6 Čtečka SD karty

Modul se čtečkou SD karet je k Arduinou připojen také pomocí SPI sběrnice – piny 52 (CSK), 51 (MOSI), 50 (MISO) a 49 (SC). Zapojení modulu je na obrázku 4.7.

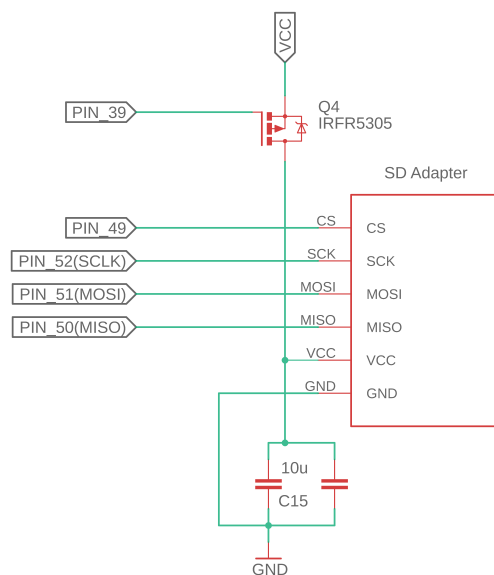
4.1.7 Bluetooth modul

Modul HC-05 komunikuje s Arduinoem prostřednictvím sériové linky číslo 1 (piny 18 a 19). Vzhledem k tomu, že tento modul vyžaduje 3V logiku na sériové lince, musí být na vodiči RX napěťový dělič, který sníží napětí z 5 V, které vysílá Arduino na požadované 3 V. Pro odpojování modulu od napájení kvůli snížení spotřeby jsem zvolil tranzistor IRFR5305, jehož řídicí elektroda (Gate) je připojena na pin číslo 2. Zapojení modulu je na obrázku 4.8.

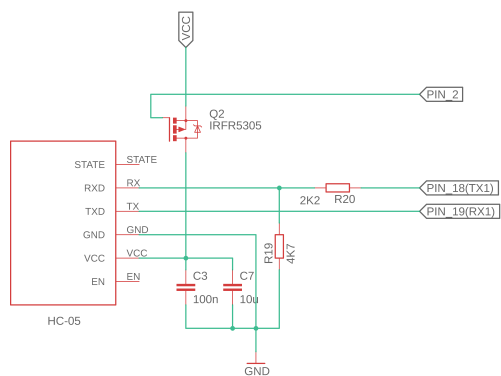
4.1.8 GSM modul

Modul SIM800L komunikuje s Arduinoem prostřednictvím sériové linky číslo 2 (piny 16 a 17). Pro odpojování modulu od napájení kvůli snížení spotřeby jsem zvolil tranzistor IRFR5305, jehož řídicí elektroda (Gate) je připojena na pin číslo 3. Zapojení modulu je na obrázku 4.9.

4.1. Schéma zapojení

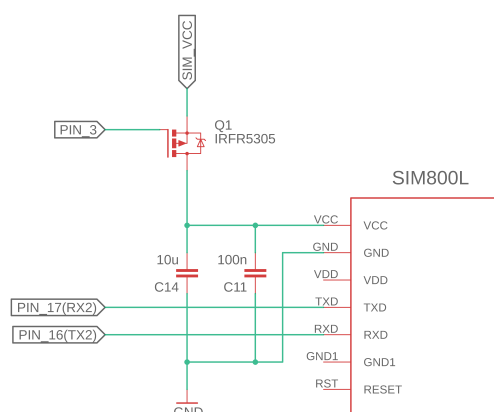


Obrázek 4.7: Zapojení modulu s SD kartou

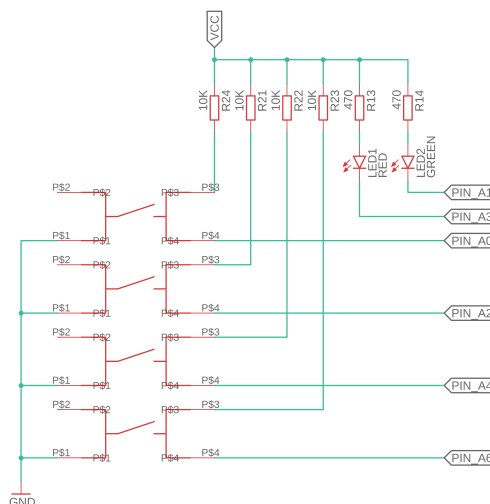


Obrázek 4.8: Zapojení modulu HC-05

4. NÁVRH ŘEŠENÍ



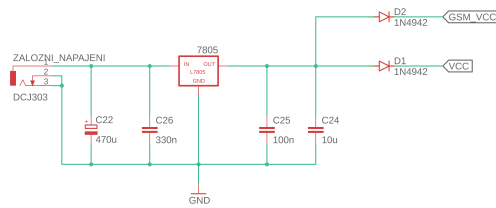
Obrázek 4.9: Zapojení modulu SIM800L



Obrázek 4.10: Zapojení tlačítek a led diod

4.1.9 Tlačítka a led diody

K ovládání meteostanice slouží 4 tlačítka, která jsou připojena k pinům Arduino A6, A4, A2 a A0, ke všem tlačítkům jsem přiřadil zvedací odpor o velikosti $10\text{ k}\Omega$, stisknutím tlačítka je na pin Arduino přivede logická nula. Dvě tlačítka slouží k ovládání displeje, třetím tlačítkem může uživatel dočasně zapnout Bluetooth a poslední tlačítko slouží k uvedení stanice do režimu spánku. Dále jsou k Arduino připojeny také dvě signalizační LED diody na pinech A1 a A3, obě led diody jsou zapojeny v sérii s rezistorem o velikosti $470\ \Omega$ a jsou spínány logickou nulou. Zapojení tlačítek a LED diod je na obrázku 4.10.



Obrázek 4.11: Zapojení stabilizátoru napětí pro externí napájení

4.1.10 Externí napájení

Pro stabilizaci externího napájení na 5 V jsem zvolil regulátor 7805, který má na vstupu i na výstupu dva filtrační kondenzátory. Protože GSM modul vyžaduje oddělené napájení od zbytku stanice, zařadil jsem za výstup regulátoru dvě usměrňovací diody – jedna přivádí napájení do GSM modulu a druhá do všech ostatních modulů. Zapojení regulátoru je na obrázku 4.11.

Realizace

Po navržení schématu zapojení jsem začal postupně zapojovat jednotlivé moduly do nepájivého pole a psát aplikaci pro Arduino. Aplikace je podrobněji popsána v podkapitole Aplikace pro Arduino. Když byla aplikace hotová a prototyp byl otestován a odladěn na nepájivém poli, navrhl jsem plošný spoj, který jsem nechal vyrobit ve firmě Pragoboard. Následně jsem plošný spoj osadil součástkami. Podrobnější popis plošného spoje je v podkapitole Plošný spoj.

5.1 Aplikace pro Arduino

Aplikaci pro Arduino jsem rozdělil do deseti logických celků – aplikace se skládá z hlavního programu (.ino), devíti hlavičkových (.h) a devíti implementačních (.cpp) souborů. V následujících podkapitolách budou jednotlivě popsány všechny logické celky aplikace.

5.1.1 Hlavní program

Hlavní program (soubor `Meteo_jilekvoj.ino`) sdružuje všechny knihovny dohromady a vytváří z nich funkční aplikaci, dále je také odpovědný za komunikaci s modulem DS3231, k čemuž využívá knihovnu DS3231.h [27]. Nejdůležitějšími funkcemi hlavního programu jsou:

- **setup**
Funkce sloužící k inicializaci všech modulů po zapnutí meteostanice.
- **loop**
Cyklicky prováděná funkce, ve které se testuje, zda nebylo stisknuto tlačítko, přijímají se zprávy přes Bluetooth, uspává se Arduino a volá se funkce `TimedActions`.

- **TimedActions**

Tato funkce je odpovědná za spouštění všech akcí, které mají pevně danou periodu (měření hodnot, odesílání SMS zpráv s průměry naměřených hodnot, synchronizace hodin, zapínání GSM modulu a senzoru MH-Z19B).

- **Measurement**

Tato funkce změří venkovní teplotu, vnitřní teplotu, venkovní vlhkost, vnitřní vlhkost a tlak, zapíše tyto hodnoty na SD kartu a na displej a zkontroluje, zda nebyl překročen nějaký limit.

5.1.2 Senzory

Knihovna Senzory (soubory Sensors.h a Sensors.cpp) je odpovědná za komunikaci s čidly teploty a vlhkosti (DHT22), tlaku (BMP180) a koncentrace oxidu uhličitého (MH-Z19B). Obsahuje funkce pro zjištění aktuálních hodnot všech měřených veličin (venkovní teplota, vnitřní teplota, venkovní vlhkost, vnitřní vlhkost, tlak a koncentrace oxidu uhličitého). Pro komunikaci s čidly jsem využil knihovny dht.h [28], Adafruit_BMP085.h [29] a HZ19_uart.h [30].

5.1.3 Bluetooth

Knihovna Bluetooth (soubory Bluetooth.h a Bluetooth.cpp) se stará o komunikaci přes Bluetooth – obsluhuje modul HC-05, k čemuž využívá knihovnu HC-05.h převzatou z [31]. Tato knihovna je odpovědná pouze za přijímání zpráv od uživatele, a odesílání odpovědí, k samotnému zpracování zprávy dochází v knihovně Ovládání.

5.1.4 Tlačítka

Knihovna Tlačítka (soubory Buttons.h a Buttons.cpp) je odpovědná za detekování stisku tlačítek a potlačení záskmitů při stisku tlačítka. Potlačení záskmitů jsem zde vyřešil cyklickým dotazováním na stav tlačítka, přičemž ke spuštění akce dojde pouze v případě, že nyní je tlačítko stisknuté a v minulém cyklu nebylo – vzhledem k tomu že perioda kontroly tlačítek je 15 ms, jsou tímto počáteční záskmity při stisku tlačítka filtrovány. Meteostanice má celkem čtyři tlačítka: tlačítko pro změnu pohledu na displeji, tlačítko pro výběr konkrétních hodnot v rámci pohledu na displeji (viz podkapitola Displej), tlačítko pro spuštění modulu HC-05 (Bluetooth) a tlačítko pro uvedení stanice do režimu spánku.

5.1.5 Displej

Knihovna Displej (soubory Display.h a Display.cpp) odpovídá za komunikaci s E-Ink displejem, pro komunikaci je využita knihovna GxEPD.h [32]. Na dis-

pleji je možné zobrazit tři pohledy, a to hlavní pohled (zde je zobrazen čas, datum a naměřené hodnoty), pohled průměrů (zde jsou zobrazeny průměry naměřených hodnot) a pohled informace (zde jsou zobrazeny informace o meteostanici). V hlavním pohledu je možné přepínat mezi zobrazením teploty s vlhkostí a tlakem s koncentrací CO_2 . V pohledu průměrů je možné přepínat mezi denním, týdenním, měsíčním a ročním průměrem. Řízení displeje je realizováno pomocí konečného automatu, jehož vstupem jsou dvě tlačítka (jedním je přepínán pohled a druhým konkrétní zobrazené hodnoty v pohledu).

5.1.6 Limity

Knihovna `Limity` (soubory `Limits.h` a `Limits.cpp`) je odpovědná za kontrolu přednastavených limitů – po každém změření nových hodnot je testováno, zda nějaká hodnota nepřekročila daný limit. V případě překročení limitu je rozsvícena červená LED dioda a uživatel je o této skutečnosti informován prostřednictvím SMS zprávy (LED dioda svítí po celou dobu, kdy je limit překročen, SMS zpráva je odeslána pouze jedenkrát po prvním překročení limitu – pro odeslání další zprávy se musí nejprve veličina vrátit zpět do normálních hodnot a poté znovu překročit limit).

5.1.7 Ovládání

Knihovna `Ovládání` (soubory `Control.h` a `Control.cpp`) zajišťuje zpracování zpráv od uživatele přijatých prostřednictvím SMS nebo Bluetooth. Knihovny reaguje na následující příkazy:

- **changenumber**
Tímto příkazem lze změnit telefonní číslo vlastníka stanice.
- **stationnumber**
Jako odpověď na tento příkaz posílá meteostanice své telefonní číslo.
- **limits**
Pomocí tohoto příkazu lze nastavit limity měřených veličin.
- **averages**
Na příkaz `averages` stanice odešle jako odpověď průměry naměřených hodnot za požadovanou periodu.
- **averageSMS**
Tímto příkazem lze nastavit kdy mají být uživateli zaslány SMS zprávy s průměry naměřených hodnot.
- **resetavg**
Tento příkaz slouží pro resetování všech průměrů.

- **resetdata**
Příkaz resetdata slouží ke smazání veškerých dat, která meteostanice naměřila.
- **help**
Příkaz help slouží k výpisu všech známých příkazů a jejich popisu.

5.1.8 SD karta

Knihovna SD karta (soubory SDCard.h a SDCard.cpp) odpovídá za zápis a čtení z SD karty, pro komunikaci se čtečkou SD karet jsem využil knihovnu SDFat.h [33]. Na SD kartě jsou uloženy následující informace:

- **Naměřená data**
Ve složce Data je na SD kartě pro každou měřenou veličinu jeden soubor, do kterého jsou ukládány všechny naměřené hodnoty.
- **Pomocná data pro výpočet průměrů**
Pro každou měřenou veličinu a každou časovou periodu (den, týden, měsíc a rok) je na SD kartě uložen pomocný soubor pro výpočet daného průměru – tento soubor obsahuje dva řádky: na prvním řádku je součet naměřených dat a na druhém je počet měření.
- **Limity**
Pro každou měřenou veličinu je na SD kartě soubor s jejím minimálním a maximálním limitem.
- **Periody odesílání průměrů**
Na SD kartě se mohou také nalézat soubory: DaySMS.txt, WeekSMS.txt, MonthSMS.txt a YearSMS.txt – přítomnost některého z těchto souborů značí to, že stanice bude za danou periodu posílat majiteli stanice průměry naměřených hodnot.
- **Telefonní číslo majitele**
Soubor Number.txt obsahuje telefonní číslo majitele.
- **Datum posledního spuštění**
V souboru Date.txt je uloženo datum posledního dne, kdy byla meteostanice spuštěná (je využit při spuštění Meteostanice pro zjištění jak dlouhá doba uběhla od minulého spuštění a vynulování odpovídajících průměrů).

5.1.9 GSM modul

Knihovna pro GSM modul (soubory Sim.h a Sim.cpp) odpovídá za komunikaci s GSM modulem – k tomu využívá knihovnu Sim800L.h převzatou z [31]. Tato knihovna má 4 základní funkce:

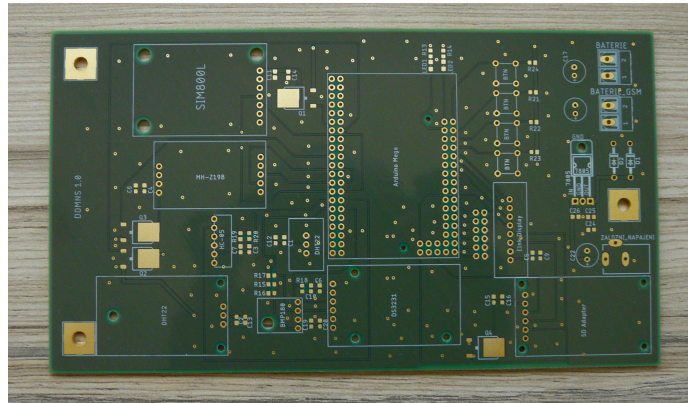
- Přijímání zpráv od uživatele a odpovědi na ně (ke zpracování přijatých zpráv dochází v knihovně Ovládání).
- Čtení aktuálního data a času z GSM sítě (každý den ve 4:00 dochází k synchronizaci času meteostanice a GSM sítě).
- Odesílání zpráv obsahujících průměry naměřených hodnot.
- Odesílání varovných zpráv při překročení limitu měřené veličiny.

5.1.10 Řízení spotřeby

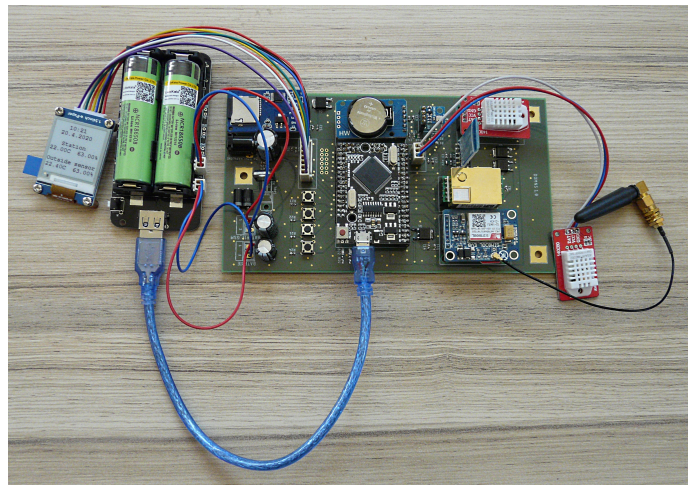
Knihovna Řízení spotřeby (soubory PowerManagement.h a PowerManagement.cpp) odpovídá za spouštění modulů, které jsou kvůli spotřebě odpojovány od napájení, a za uvádění Arduina do režimu spánku. Knihovna spouští následující moduly:

- **SD karta**
SD karta je spouštěna před každým přístupem na ní a hned po ukončení komunikace je opět vypnuta.
- **Čidlo MH-Z19B**
Čidlo koncentrace oxidu uhličitého je spouštěno vždy 2 minuty před začátkem měření, protože se modul musí nejprve zahřát, ihned po měření je modul vypnut (k měření koncentrace CO_2 dochází jedenkrát za hodinu).
- **Bluetooth**
Modul HC-05 je spouštěn pouze na vyžádání uživatelem (po stisku tlačítka) a je spuštěn pouze 10 sekund od přijetí poslední zprávy přes Bluetooth.
- **GSM modul**
Modul SIM800L je spouštěn ve 3:58, 11:58 a 23:58, přibližně dvě minuty jsou třeba pro přihlášení modulu do GSM sítě. V 0:00 a 12:00 modul přijímá SMS zprávy od uživatele a ve 4:00 dochází k časové synchronizaci. Modul může být dále spuštěn i v neplánovaném čase a to pro odeslání SMS zprávy o překročení limitu naměřené hodnoty.

Knihovna Řízení spotřeby umožňuje Arduino uspat na 15 ms, 24 s a na vždy. 15ms spánek je využit v době, kdy je spuštěno Bluetooth, nebo uživatel v posledních 5 sekundách stiskl nějaké tlačítko, 24s spánek je využit pro běžný provoz stanice. Věčný spánek je využit pro vypínání stanice – uživatel nejprve stisknutím tlačítka uvede stanici do režimu spánku a poté může odpojit napájení (tento proces je zde proto, aby se zabránilo poškození SD karty neukončeným přenosem dat). Pro uspání Arduina je využita knihovna Low-Power.h [34].



Obrázek 5.3: Plošný spoj



Obrázek 5.4: Osazený plošný spoj

5.2.2 Výroba a osazování

Navržený plošný spoj jsem nechal vyrobit v Pražské firmě Pragoboard s.r.o., výroba zde stála 1524 Kč. Vyrobený plošný spoj je na obrázku 5.3. Pro osazení plošného spoje jsem se rozhodl využít dutinkové lišty, které v budoucnu umožní snadnou výměnu použitých modulů. Hotová meteostanice je na obrázku 5.4.

5.3 Cenová kalkulace

V této kapitole bude proveden výpočet celkové ceny meteostanice. Jak bylo uvedeno v kapitole 3.6 Odhad ceny, celková cena nakoupených součástí je 1801 Kč. Dále byly nakoupeny ještě dutinkové lišty v hodnotě 110 Kč, celková

5. REALIZACE

nakoupených součástí se tedy zvedla na 1911 Kč. Výroba plošného spoje stála 1524 Kč a celková cena meteostanice je tedy 3435 Kč.

Testování

Funkčnost meteostanice jsem testoval jednak průběžně během vývoje aplikace, jednak po dokončení aplikace a výrobě plošného spoje. Během vývoje jsem testoval každou knihovnu samostatně i ve spojení se zbytkem aplikace.

6.1 Testování během vývoje

Během vývoje softwaru pro Arduino jsem testoval zejména funkčnost nově připojovaných modulů a právě implementovaných funkcí, pravidelně jsem ale ověřoval i starší části kódu, abych se ujistil, že je nově implementované funkce neovlivnily.

6.2 Testování finálního výrobku

K hlavnímu testování došlo po dokončení plošného spoje – meteostanice byla testována po dobu 7 dní v nepřetržitém provozu. Během tohoto testování byly vyzkoušeny všechny funkce meteostanice – testování jednotlivých funkcí je popsáno v následujících podkapitolách.

6.2.1 Měření hodnot a jejich zobrazení na displeji

Naměřené hodnoty teploty a vlhkosti se správně zobrazují na hlavním pohledu displeje a tlačítkem pro posun lze přepnout na zobrazení tlaku a koncentrace oxidu uhličitého. Naměřené hodnoty teploty, vlhkosti a tlaku jsem porovnával s referenční meteostanicí, během testování se naměřené hodnoty lišily od referenční stanice maximálně o následující odchylky: teplota ± 1 °C, vlhkost ± 3 %, tlak ± 5 hPa.

6.2.2 Udržování přesného času

Stanice správně zobrazuje na displeji přesný čas a každý den se synchronizuje s GSM sítí. Vzhledem k tomu, že modul DS3231 velmi dobře udržuje přesný čas, jsem pro otestování synchronizace přes GSM síť vyjmul RTC modul z aplikace a pomocí druhého Arduina v něm změnil čas – k synchronizaci vždy došlo.

6.2.3 Nastavení limitů a jejich kontrola

Během testování jsem přes Bluetooth pomocí příkazu `limits` nastavil minimální i maximální limity pro venkovní i vnitřní teploty a vlhkosti i pro tlak. Následně jsem testoval, zda meteostanice detekuje překročení těchto limitů – ve všech případech se při překročení správně rozsvítila červená varovná dioda a byla odeslána SMS zpráva majiteli stanice.

6.2.4 Výpočet průměrů naměřených hodnot

Správnost výpočtů průměrů jsem ověřil ručním výpočtem průměrů z dat, která meteostanice ukládá na SD kartu. Průměry meteostanice správně zobrazuje na displeji a dle nastavení i pravidelně odesílá SMS zprávou majiteli. Na vyžádání (příkaz `averages` se správnými parametry odeslaný přes Bluetooth či SMS) meteostanice odesílá správné průměry i přes Bluetooth nebo SMS.

6.2.5 Komunikace přes Bluetooth

Komunikaci meteostanice přes Bluetooth jsem otestoval pomocí dvou mobilních telefonů, přičemž jsem z každého telefonu vyzkoušel odeslat všechny validní příkazy (příkazy jsou popsány v kapitole 5.1.7). Všechny příkazy byly zpracovány korektně a meteostanice vždy odeslala správnou odpověď.

6.2.6 Komunikace přes SMS

Pro otestování komunikace přes SMS jsem vyzkoušel odeslat všechny validní příkazy (příkazy jsou popsány v kapitole 5.1.7). Všechny příkazy byly zpracovány korektně a meteostanice vždy odeslala správnou odpověď. Navíc jsem testoval i to, zda meteostanice komunikuje přes SMS pouze s majitelem – na příkazy odeslané z jiných telefonních čísel meteostanice nereaguje.

6.2.7 Snižování spotřeby

Během této fáze testování jsem ověřil, že všechny spínané moduly (čtečka SD karet, GSM modul, Bluetooth modul a senzor koncentrace oxidu uhličitého) jsou správně zapínány a vypínány.

Dále jsem měřil jak dlouho meteostanice vydrží běžet na baterie při různých činnostech. Došel jsem k následujícím výsledkům:

- Při běžném provozu bez překročení žádného limitu, bez zapínání Bluetooth a bez komunikace přes SMS stanice vydrží 190 hodin (průměrná spotřeba činí přibližně 36 mA).
- Při běžném provozu bez překročení žádného limitu, bez zapínání Bluetooth a s každodenní oboustrannou komunikací přes SMS stanice vydrží 179 hodin (průměrná spotřeba činí přibližně 38 mA).
- Při běžném provozu bez překročení žádného limitu, s každodenní pětiminutovou komunikací přes Bluetooth a s každodenní oboustrannou komunikací přes SMS stanice vydrží 178 hodin (průměrná spotřeba činí přibližně 38 mA).
- Při běžném provozu, kdy dochází několikrát denně k překročení různých limitů, bez komunikace přes Bluetooth stanice vydrží 110 hodin (průměrná spotřeba činí přibližně 62 mA).

Z naměřených hodnot vyplývá, že krátkodobá komunikace přes Bluetooth téměř nemá vliv na spotřebu stanice. Větší vliv na spotřebu má komunikace přes SMS zprávy – GSM modul je sice zapínán ve stejnou dobu, bez ohledu na to, zda bude komunikovat, ale na spotřebě se projeví hlavně odesílání zpráv. Největší vliv na spotřebu má překračování limitů, jednak proto, že při překročení limitu se rozsvěcí LED dioda a jednak proto, že se GSM modul zapíná v neplánovanou dobu a odesílá se varovná SMS zpráva.

Závěr

Hlavním cílem této práce bylo navrhnout a vyrobit meteostanici založenou na platformě Arduino, která bude schopna komunikovat prostřednictvím SMS a Bluetooth a bude mít dostatečně malou spotřebu, aby ji bylo možné napájet z baterií. Meteostanice měla měřit teplotu, vlhkost, tlak a koncentraci oxidu uhličitého. Dále měl být pro meteostanici vyroben plošný spoj. Tento cíl byl splněn v plném rozsahu.

V rámci této práce byly nejprve prozkoumány existující meteostanice a následně byla navržena nová meteostanice, byl pro ni vyroben plošný spoj a byla napsána aplikace pro Arduino. Na závěr byl vyrobený prototyp otestován.

Meteostanice by v budoucnu mohla být rozšířena o další moduly, například o srážkoměr či anemometr (na plošném spoji bylo vyvedeno několik pinů Arduina pro rozšiřující moduly).

Vyrobenou meteostanici je možné využít jako podklad pro výuku práce s Arduinem, či pro prezentaci školy na dni otevřených dveří.

Literatura

- [1] Domáci meteostanice TFA 35.1145.54 LARGO. *Alza.cz* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/domaci-meteostanice-tfa-35-1145-54-largo-d5683242.htm>
- [2] Meteorologická stanice WMR86NSX. *Garni-meteo.cz* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://www.garni-meteo.cz/meteorologicka-stanice-wmr86nsx.html>
- [3] Profesionální meteorologická stanice WMR300. *Garni-meteo.cz* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://www.garni-meteo.cz/profesionalni-meteorologicka-stanice-wmr300.html>
- [4] Build your own weather station. *Raspberrypi.org* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://projects.raspberrypi.org/en/projects/build-your-own-weather-station>
- [5] CIRCUITO TEAM. Arduino vs. Raspberry PI. *Circuito.io* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://www.circuito.io/blog/arduino-vs-raspberry-pi/>
- [6] What is Arduino?. *Arduino.cc* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>
- [7] MITCHELL, Robin. A Comparison of Popular Arduino Boards. *Maker.pro* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://maker.pro/arduino/tutorial/a-comparison-of-popular-arduino-boards>
- [8] ŽOLTÁ, Lucie. Disciplína sběr a analýza požadavků. *Lucie.zolta.cz* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <http://lucie.zolta.cz/index.php/softwareve-inzenyrstvi/150-disciplina-sber-a-analyza-pozadavku>

- [9] Nano Board CH340/ATmega328P. *Aliexpress.com* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32347096044.html>
- [10] MEGA 2560 PRO Embed. *Aliexpress.com* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32347096044.html>
- [11] Arduino clock accuracy. *Forum.arduino.cc* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=13289.0>
- [12] High Precision AM2302 DHT22 Digital Temperature and Humidity Sensor Module. *Aliexpress.com* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32802506336.html>
- [13] GY-68 BMP180 GY68 Replace BMP085 Digital Barometric Pressure Sensor Board Module. *Aliexpress.com* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/1859043509.html>
- [14] MH-Z19B Carbon Dioxide Gas Sensor. *Aliexpress.com* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/33012363245.html>
- [15] Ds3231 At24C32 High Precision Clock Module. *Aliexpress.com* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/4000224001033.html>
- [16] HC-05 Wireless Bluetooth Host Serial Transceiver Module. *Aliexpress.com* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32223740060.html>
- [17] New SIM800L GPRS GSM Module. *Aliexpress.com* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32622274840.html>
- [18] Waveshare 1.54inch E-Ink display black/white e-paper 200x200 resolution SPI interface. *Aliexpress.com* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32811540997.html>
- [19] MicroSD Card Adapter. *Aliexpress.com* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32821058234.html>
- [20] 18650 Battery Charger Shield Board. *Aliexpress.com* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32966657059.html>
- [21] GSM/GPRS modul pro Arduino. *arduino-shop.cz* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/docs/produkty/0/472/1500635983.pdf>

-
- [22] DS3231 Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO/Crystal. *datasheets.maximintegrated.com* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>
- [23] Digital-output relative humidity & temperature sensor/module. *sparkfun.com* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- [24] Kurzy historie, kurzovní lístek ČNB 22. 11. 2019. *kurzy.cz* [online]. [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/kurzy-men/historie/ceska-narodni-banka/D-24.11.2019/>
- [25] GM electronic, spol. s.r.o. *gme.cz* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.gme.cz>
- [26] AliExpres Online Shopping. *Aliexpress.com* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://aliexpress.com>
- [27] JARZEBSKI, Korneliusz. Arduino-DS3231. Verze 1.0.1. *github.com* [software]. [přístup 2019-12-11]. Dostupné z: <https://github.com/jarzebski/Arduino-DS3231>
- [28] TILLAART, Rob. DHTlib. Verze 0.1.26. *github.com* [software]. [přístup 2019-12-11]. Dostupné z: <https://github.com/RobTillaart/Arduino/tree/master/libraries/DHTlib>
- [29] DICOLA, Tony. Adafruit-BMP085-Library. Verze 1.0.0. *github.com* [software]. [přístup 2019-12-11]. Dostupné z: <https://github.com/adafruit/Adafruit-BMP085-Library>
- [30] Arduino IDE library for operating the MH-Z19 CO2 sensor in ESP-WROOM-02/32(esp8266/ESP32) or Arduino. Verze 0.3. *github.com* [software]. [přístup 2020-01-08]. Dostupné z: https://github.com/nara256/mhz19_uart
- [31] ŠVEC, Michal. Meteorologická stanice v chytré domácnosti založená na platformě Arduino. Bakalářská práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta informačních technologií, 2019.
- [32] A simple E-Paper display library with common base class and separate IO class for Arduino. Verze 2.3.5. *github.com* [software]. [přístup 2020-01-08]. Dostupné z: <https://github.com/ZinggJM/GxEPD>
- [33] GREIMAN, Bill. Arduino FAT16/FAT32 Library. Verze 1.1.2. *github.com* [software]. [přístup 2019-12-11]. Dostupné z: <https://github.com/greiman/SdFat>

LITERATURA

- [34] Rocketstream. Low Power Library for Arduino. Verze 1.6. *github.com* [software]. [přístup 2020-01-08]. Dostupné z: <https://github.com/rocketscream/Low-Power>

Seznam použitých zkratek

EEPROM Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

GSM Global System for Mobile communications

I2C Inter-Integrated Circuit

IDE Integrated Development Environment

PWM Pulse Width Modulation

SD Secure Digital

SIM Subscriber Identity Module

SMD Surface-Mount Device

SMS Short Message Service

SPI Serial Peripheral Interface

SRAM Static Random-Access Memory

UART Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

USB Universal Serial Bus

Obsah přiloženého CD

readme.txt	stručný popis obsahu CD
src	
├─ Arduino	zdrojové kódy aplikace pro Arduino
│ └─ libraries	použité knihovny
├─ EAGLE	soubory pro EAGLE
├─ thesis	zdrojová forma práce ve formátu $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$
text	text práce
└─ thesis.pdf	text práce ve formátu PDF