



# Realizace zařízení pro monitoring environmentálních podmínek

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

B2612 Elektrotechnika a informatika

*Studijní obor:*

Elektronické informační a řídicí systémy

*Autor práce:*

**Vojtěch Vyhnálek**

*Vedoucí práce:*

Ing. Petr Bílek, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky





## Zadání bakalářské práce

# Realizace zařízení pro monitoring environmentálních podmínek

*Jméno a příjmení:* **Vojtěch Vyhnálek**  
*Osobní číslo:* M18000056  
*Studijní program:* B2612 Elektrotechnika a informatika  
*Studijní obor:* Elektronické informační a řídicí systémy  
*Zadávací katedra:* Ústav mechatroniky a technické informatiky  
*Akademický rok:* 2020/2021

### Zásady pro vypracování:

1. Sestavené a ověřené jádro zařízení v semestrálním projektu dopracujte do úplného schématu (volba dalších komponent, blokové schéma, kompletní elektrické schéma).
2. Vypracujte energetickou bilanci zařízení a navrhňte vhodnou baterii a solární článek včetně nabíjecí a ochranné elektroniky. Navrhňte desku plošného spoje, osadte a oživte.
3. Vytvořte firmware podle předem navrženého vývojového diagramu v programovacím jazyce C. Sestavte hardware podle schématu a oživte celé zařízení s příslušným firmware.
4. Upravte komerční skříňku nebo vytvořte vlastní pro zabudování zařízení s ohledem na místo určení (odolnost proti vnějším vlivům).
5. Otestujte zařízení v reálných podmínkách, naměřte dlouhodobá data a zhodnoťte dosažené parametry.

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

dle potřeby dokumentace  
30–40  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

- [1] KREIDL, Marcel. *Měření teploty – senzory a měřicí obvody*. BEN – technická literatura. Praha 2005. 240 s. ISBN 80-7300-145-4.
- [2] NORRIS, Donald. *Programming with STM32: Getting Started with the Nucleo Board and C/C++*. 2018. McGraw-Hill Education TAB. p. 304. ISBN: 9781260031324.
- [3] Datasheety vybraných obvodů.

*Vedoucí práce:*

Ing. Petr Bílek, Ph.D.  
Ústav mechatroniky a technické informatiky

*Datum zadání práce:*

9. října 2020

*Předpokládaný termín odevzdání:*

17. května 2021

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.  
děkan

L.S.

doc. Ing. Milan Kolář, CSc.  
vedoucí ústavu

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

16. května 2021

Vojtěch Vyhnálek

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce, panu Ing. Petru Bílkovi, Ph.D., za odborné vedení a zapůjčené součástky, které mi byly poskytnuty v rámci konzultací a panu Ing. Lukáši Krčmářovi za možnost využití 3D tisku.

## Abstrakt

Náplní této práce je sestavení a naprogramování ověřeného jádra zařízení pro monitoring environmentálních podmínek, tzv. meteorologické stanice. Nejprve jsem sestavil blokový diagram, vybral klíčové součástky a poté nakreslil elektrické schéma. Zařízení bylo zrealizováno na desce plošného spoje. Pro zařízení byl vybrán mikroprocesor STM32L476. Napájení je z baterií, které jsou dobíjené solárním panelem. Velký důraz je kladen na úsporu energie a ochranu obvodu. Naměřená data jsou ukládána na SD kartu a posílána do volně dostupné databáze thingspeak.com pomocí GSM modulu SIM800H, kde jsou zpracována do grafů. Zařízení je možné rozšířit o další senzory v podobě hotových modulů.

## Klíčová slova:

Meteorologická stanice, databáze, GSM, DPS, STM32L476, úspora energie, senzory

## Abstract

The content of this work is the assembly and programming of a verified core device for monitoring environmental conditions, the so-called weather station. First I drew a block diagram, selected the key components and then drew an electrical diagram. The device was implemented on a printed circuit board. The STM32L476 microprocessor was selected for the device. Power is from batteries that are charged by the solar panel. Great emphasis is placed on energy saving and circuit protection. The measured data are stored on the SD card and sent to the freely available database thingspeak.com using the GSM module SIM800H, where they are processed into graphs. The device can be expanded with additional sensors in the form of ready-made modules.

## Keywords:

Weather station, database, GSM, PCB, STM32L476, power management, sensors

# Obsah

Úvod .....	10
<b>1 Výchozí stav .....</b>	<b>11</b>
1.1 Finální stav .....	11
<b>2 Návrh hardware .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Blokový diagram .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Senzory a měřené veličiny .....</b>	<b>13</b>
2.2.1 PT1000.....	13
2.2.2 Kapacitní vlhkoměr do půdy .....	14
2.2.3 Digitální senzor BME280 .....	15
2.2.4 Digitální senzor BH1750 .....	16
<b>2.3 Zdroj energie.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4 Systém správy baterií .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5 Obvod BQ24210 .....</b>	<b>19</b>
2.5.1 Zapojení obvodu BQ24210.....	20
<b>2.6 Energetická bilance .....</b>	<b>21</b>
<b>2.7 Spínaný regulátor .....</b>	<b>24</b>
2.7.1 Obvod TPS63000 .....	25
<b>2.8 Mikroprocesor .....</b>	<b>26</b>
<b>2.9 Moduly zařízení.....</b>	<b>28</b>
2.9.1 Modul SIM800H .....	28
2.9.2 SD karta .....	30
2.9.3 Měření napětí baterií .....	31
<b>3 Firmware.....</b>	<b>32</b>
3.1 Vývojový diagram.....	32
3.2 UART komunikace .....	33
3.3 SPI komunikace .....	33
3.4 RTC .....	34
3.5 SLEEP režim .....	34
<b>4 Realizace a zabudování zařízení .....</b>	<b>35</b>
4.1 Vytvoření schémat a desek plošných spojů .....	35
4.2 Vytvoření schránky pro zařízení .....	37
4.3 Realizace zařízení .....	38
4.4 Dosažené výsledky .....	39
<b>5 Závěr.....</b>	<b>40</b>

<b>Použitá literatura .....</b>	<b>41</b>
<b>Přílohy.....</b>	<b>42</b>
<b>A Kompletní schéma sensorové desky.....</b>	<b>42</b>
<b>B Kompletní schéma hlavní desky – napájecí část .....</b>	<b>43</b>
<b>C Kompletní schéma hlavní desky – logická část .....</b>	<b>44</b>
<b>D Zapsaná data na SD kartě.....</b>	<b>45</b>
<b>E Snímek z databáze thingspeak.com .....</b>	<b>46</b>



## Seznam obrázků

Obrázek 1: Blokový diagram .....	12
Obrázek 2: Schéma zapojení obvodu INA826 .....	13
Obrázek 3: Schéma zapojení obvodu TLC555 .....	14
Obrázek 4: Schéma zapojení čipu BME280 .....	15
Obrázek 5: Schéma zapojení čipu BH1750 .....	16
Obrázek 6: Schéma zapojení obvodu BQ24210 a SC-80828 .....	20
Obrázek 7: Schéma zapojení NTJD4158 – spínání senzorů .....	23
Obrázek 8: Schéma zapojení obvodů TPS63000 .....	25
Obrázek 9: Schéma zapojení STM32L476 - napájecí část .....	26
Obrázek 10: Schéma zapojení STM32L476 - logická část .....	27
Obrázek 11: Schéma zapojení čipu SIM800H .....	29
Obrázek 12: Schéma zapojení držáku SD karty .....	30
Obrázek 13: Schéma zapojení NTJD4158 - měření napětí baterií .....	31
Obrázek 14: Vývojový diagram .....	32
Obrázek 15: Vrchní strana DPS - senzorová deska .....	35
Obrázek 16: Spodní strana DPS - senzorová deska .....	35
Obrázek 17: Vrchní strana DPS - hlavní deska .....	36
Obrázek 18: Spodní strana DPS - hlavní deska .....	36
Obrázek 19: Schránka pro zařízení .....	37
Obrázek 20: Zrealizované zařízení - hlavní deska .....	38
Obrázek 21: Zrealizované zařízení - senzorová deska .....	38
Obrázek 22: Kompletně sestavená meteorologická stanice .....	39

## Seznam grafů

Graf 1: Výkon solárního panelu během dne .....	22
--	----

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Spotřeba jednotlivých obvodů .....	21
---	----

## Seznam zdrojových kódů

Zdrojový kód 1: UART komunikace - SIM800H .....	33
Zdrojový kód 2: HAL knihovna - nastavování času z registru .....	34

## Seznam zkratek

GSM	Groupe Spécial Mobile („mobilní speciální skupina“)
GPRS	General Packet Radio Service („obecná paketová rádiová služba“)
I2C	Inter-Integrated Circuit – multi-masterová počítačová sériová sběrnice
SPI	Serial Peripheral Interface – sériové periferní rozhraní
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter – počítačová sériová sběrnice
RTC	Real Time Clock („hodiny reálného času“)
BMS	Battery Management System („systém správy baterií“)
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor – druh unipolární tranzistor
LGA	Land Grid Array – typ pouzdra integrovaného obvodu
VSON	Very-thin small-outline no-lead package („malé pouzdro integrovaného obvodu bez vývodů“)
WSON	Very-very-thin small-outline no-lead package („velmi malé pouzdro integrovaného obvodu bez vývodů“)
LQFP	Low-profile quad flat-package („nizkoprofilový pouzdro s vývody ze čtyř stran“)
GPIO	General-purpose input/output („univerzální vstup/výstup“)
LDO	Low-dropout – regulátor s nízkým úbytkem napětí
Step-up	Spínaný regulátor – zvyšuje napětí na výstupu oproti vstupu
DC	Direct current – stejnosměrný proud
IoT	Internet of Things („internet věcí“)
SMD	Surface mount device – součástka pro povrchovou montáž
BAT	Baterie
UVLO	Undervoltage-lockout – blokování podpětí
PG	Power-good – signalizace
CHG	Charge - nabíjení
LPCM	Limited power charge mode – omezený nabíjecí režim
VBUS	Voltage bus – napájecí „větev“

# Úvod

Je důležité znát přesné klimatické podmínky, které panují na přírodních lokalitách. Aby bylo možné tyto lokality simulovat, je třeba znát důkladně podmínky pro život ohrožených druhů rostlin a živočichů. Výhoda vývoje vlastního zařízení je v tom, že firmware je lehce konfigurovatelný a hardware pod kontrolou. V případě nutnosti se dá rozšířit o další senzory, popřípadě moduly. Další výhodou je v ceně zařízení, navíc má v sobě zabudované řešení pro IOT konektivitu.

Bakalářská práce se zabývá kompletním návrhem a realizací zařízení pro vzdálený monitoring environmentálních podmínek, tzv. meteorologické stanice. Zařízení je vhodné k použití všude, kde není k dispozici zdroj elektrické energie a zároveň ani WiFi signál. Postupoval jsem od upraveného blokového diagramu, kde jsem měl ověřené jádro z ročníkového projektu a pokračoval jsem výběrem součástek a kreslením elektrického schématu. Poté jsem začal se samotným návrhem desky plošného spoje, na kterém bude celá meteorologická stanice realizována. Následně jsem pokračoval osazením desky plošného spoje a vytvořením firmwaru.

Celé zařízení je napájeno z baterií, které jsou dobíjené přes solární panel. Meteorologická stanice je navržena tak, aby měla pokud možno co nejmenší spotřebu a byla závislá pouze na slunečním svitu. Zařízení je díky tomu „bezdrátové“ a umožňuje lehkou manipulaci a přesun.

Meteorologická stanice byla v bakalářské práci zrealizována na desce plošného spoje, díky čemuž nabyla kompaktních rozměrů, a bylo možné pro zařízení vytvořit schránku, která by odolala přírodním vlivům. Meteorologická stanice byla testována v přírodních podmínkách.

# 1 Výchozí stav

Bakalářská práce navazuje na můj ročníkový projekt, ve kterém jsem se zabýval zařízením pro monitoring na přírodních lokalitách. Celá práce byla realizovaná na nepájivém kontaktním poli a za pomoci jednotlivých modulů.

V bakalářské práci mám za úkol dosavadní řešení zdokonalit ve směru jednotlivých senzorů, správy napájení a celkové integrace zařízení na jednu malou desku. Z ročníkového projektu jsem tak převzal ověřené jádro zařízení v podobě blokového diagramu, který prošel lehkými úpravami.

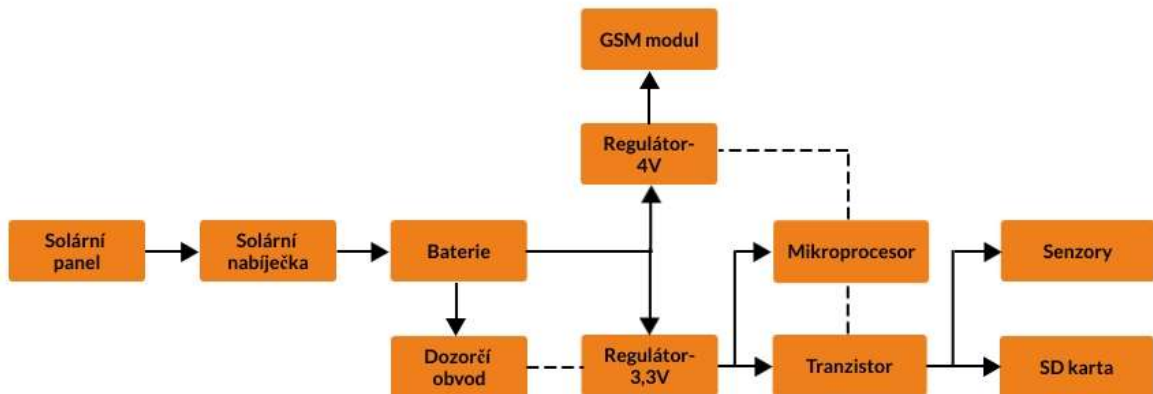
## 1.1 Finální stav

Celá bakalářská práce má hned několik vylepšení oproti ročníkovému projektu. Mnoho úprav a vylepšení se týká senzorů. Jedno z hlavních vylepšení je měření teploty. Tu jsem v projektu měřil pomocí digitálních senzorů DS18B20 od firmy Maxim Integrated, které fungují na sběrnici OneWire. V bakalářské práci jsem se rozhodl pro senzor PT1000, tudíž analogový způsob měření. Dále jsem sloučil senzor BME280 od firmy Bosch a BH1750 od firmy ROHM Semiconductor na jednu malou desku a učinil je kompaktními. Kapacitní vlhkoměr byl zachován, avšak byl integrován do základní desky. GSM modul a držák SD karet byl vestavěn do zařízení. Dále velké změny nastaly v napájení. V projektu byl použit step-up na 5 V, který byl následně LDO regulátorem upraven na 3,3 V. Desku jsem navrhnul s dvěma spínanými regulátory, které mi s téměř nulovými ztrátami vytvoří přesné napětí. Zařízení dostalo také patřičné ochrany proti přepětí, podpětí a zkratu. Následně byl odebrán RTC modul, který je nepotřebný z důvodu použití již vestavěného v samotném mikroprocesoru. Kompaktní rozměry mi umožnili zařízení zabudovat do schránky s ochranou proti nepříznivým přírodním podmínkám.

## 2 Návrh hardware

### 2.1 Blokový diagram

Jádro blokového diagramu mám již z části ověřené z ročníkového projektu, na který navazuji. Nicméně stejně prošlo několika úpravami a zjednodušením. Začal jsem tedy od začátku, ale držel se již vytvořeného konceptu, od kterého se odvíjela bakalářská práce.



Obrázek 1: Blokový diagram

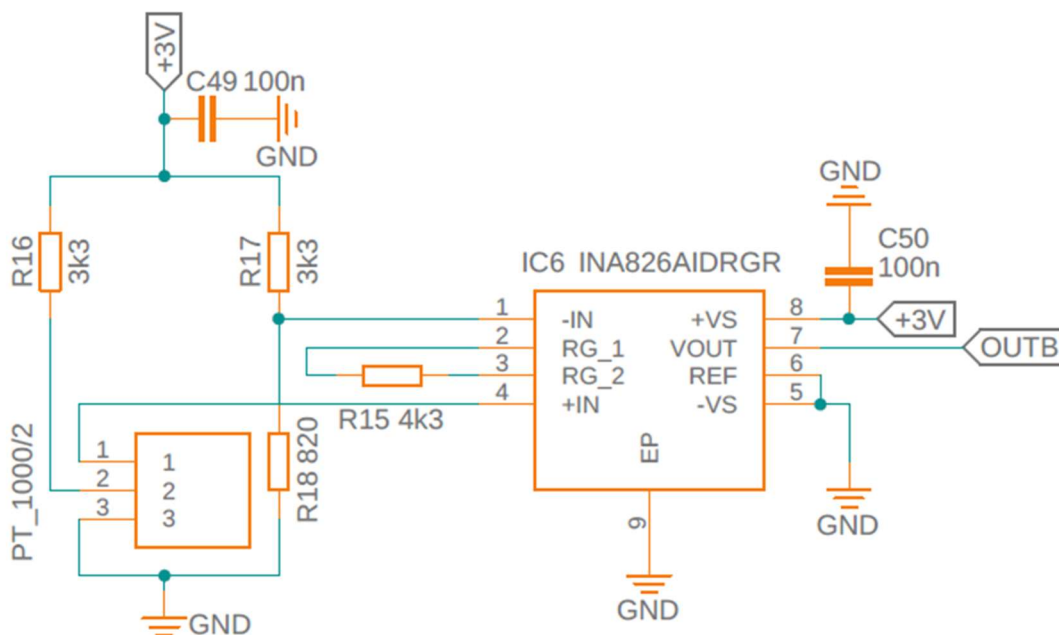
Solární panel je připojen do solární nabíječky, která má za úkol dobíjet baterie. Napětí baterie potom hlídá proti podpětí dozorčí obvod. Klesne-li napětí pod prahovou hodnotu 2,8 V, vypne regulátor, který napájí mikroprocesor a všechny senzory na desce. Dále je baterie připojena na druhý regulátor s napětím 4 V, který slouží jako napájení pro GSM modul. Mikroprocesor zapíná regulátor napětí napájející GSM modul. Pro maximální úsporu energie v neaktivním stavu je zároveň mikroprocesorem spínán i tranzistor, který přivádí napájecí napětí k SD kartě a jednotlivým sensorům.

## 2.2 Senzory a měřené veličiny

Zařízení dokáže měřit teplotu půdy a samotného zařízení, vlhkost půdy, vlhkost vzduchu, atmosférický tlak (z atmosférického tlaku nadmořskou výšku) a intenzitu osvětlení.

### 2.2.1 PT1000

Teplotní čidlo PT1000 je univerzální v jeho širokém rozsahu měřených teplot. Dokáže měřit teplotu od  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $850\text{ }^{\circ}\text{C}$  [7], jeho závislost odporu na teplotě je lineární a odpor samotného čidla při teplotě  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  je  $1000\ \Omega$ . V bakalářské práci je čidlo použito celkem 4-krát, z toho je jedno čidlo na samotném zařízení pro kontrolu vnitřní teploty a 3-krát pro měření teploty ve třech různých úrovní půdy. První úroveň je 10 cm, druhá 15 cm a třetí 20 cm, aby bylo možné detailně monitorovat teplotu půdy například pro kořeny rostlin. V mém případě jsem všechny čidla nastavil na měření od  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Rozsah měření teploty jsem nastavil pomocí zesílení samotného zesilovače a poté zvolením vhodných odporů do odporového můstku tak, aby při teplotě  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  byl odporový můstek vyvážený.

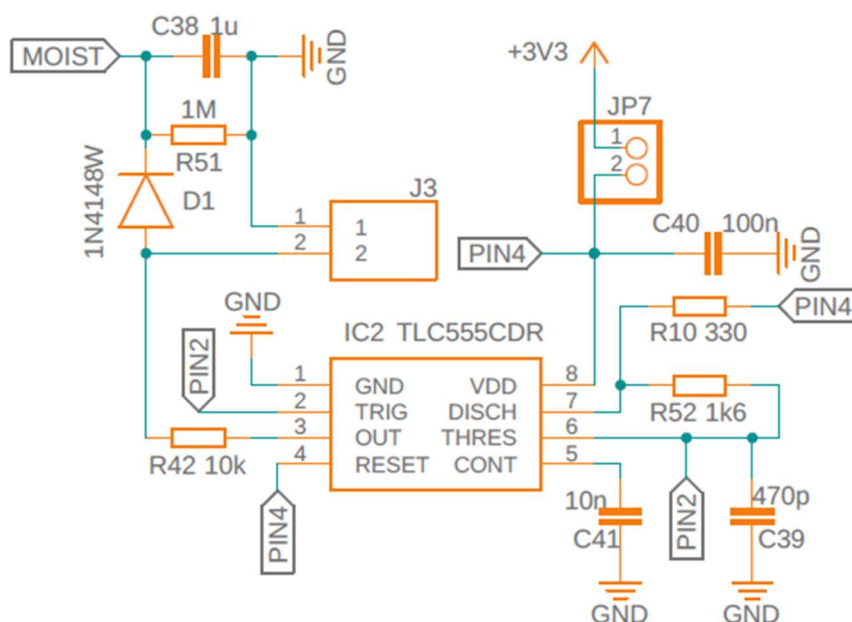


Obrázek 2: Schéma zapojení obvodu INA826

PT1000 je zapojená 3-vodičově do svorkovnice, která je připojena do odporového můstku. Odporový můstek má napájení 3 V. Zbytek můstku tvoří rezistory o hodnotě  $3300\ \Omega$  a rezistor  $820\ \Omega$ . Samotný zesilovač jsem vybral INA826 od firmy Texas Instruments. Jedná se o přístrojový zesilovač, kde se do invertujícího vstupu (pin 1) přivede jedna strana můstku a do neinvertujícího vstupu (pin 4) přivede druhá strana můstku. Celkové zesílení se nastavuje zapojeným rezistorem mezi piny 2 a 3, kde hodnota  $4300\ \Omega$  odpovídá zesílení 12. Vstup pro referenční napětí potom posouvá výstup o přivedené napětí. Přístrojový zesilovač byl vybrán záměrně kvůli stejně velké impedanci obou vstupů do zesilovače. Zesilovač má nesymetrické napájení + 3 V. Výstup je typu rail-to-rail, což mi umožní dosáhnout na výstupu napájecích hodnot.

## 2.2.2 Kapacitní vlhkoměr do půdy

V projektu byl použit hotový modul, který se skládal z obvodu NE555 a sondy, která byla tvořena cuprextitem a měděnou cestou, která tvořila samotné sondy. Kapacita se pak mění při změně dielektrika, tzn. zasunutí sondy do země, která obsahuje vodu, minerály a jiné vodivé látky. Problém nastává při dlouhodobém zapíchnutí v zemi, kdy samotná sonda časem koroduje. Problém jsem se rozhodl řešit ocelovými kolíky, které představují moji sondu. Nerez by tak měla v půdě vydržet dlouhou dobu, aniž by zkorodovala. Snímání vlhkosti půdy se dá dále zprostředkovat dvěma způsoby, jeden je již zmíněný kapacitní a druhý je odporový, kdy se měří odpor mezi danými kolíky. Aby se moje sonda chovala jako kapacitní, je třeba nerezové kolíky nalakovat a zamezit tak vodivému kontaktu s půdou.



Obrázek 3: Schéma zapojení obvodu TLC555

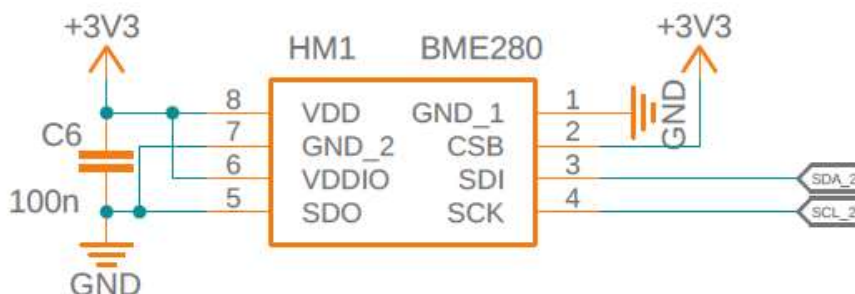
V meteorologické stanici jsem použil obvod TLC555, který napájím 3,3 V. Výstup z obvodu (pin 3) je obdélníkového průběhu. Frekvence signálu na výstupu je řízena časovou konstantou, která je daná vybíjením/nabíjením kondenzátoru C39 přes odporový dělič R10 a R52. Signál obdélníkového tvaru z výstupu dále pokračuje do RC filtru, který je realizovaný odporem R42 a sondou, která představuje kondenzátor. Filtr nám zaručí pilovitý průběh daného signálu. Následná dioda D1, odpor R51 a kondenzátor C38 fungují jako detektor napěťových špiček, které se vyhladí a výsledná analogová hodnota se přivede do A/D převodníku mikroprocesoru (značení MOIST).

Samotná sonda se připojuje do konektoru J3. Realizovat velmi přesnou sondu je obtížné, jelikož i ta má svůj vlastní odpor a malou kapacitu, která má na samotné měření velký vliv [5]. Sonda by měla být zapíchnutá po celou dobu v půdě, z toho důvodu jsem zvolil 2 nerezové kolíky, které jsem nalakoval. Kdyby nebyla sonda nalakovaná, z kapacitní sondy by se stala odporová sonda. Nerezové kolíky jsem spojil ve svorkovnici a vyvedl do daného konektoru.

### 2.2.3 Digitální senzor BME280

Modul se senzorem BME280 od firmy Bosch jsem v ročníkovém projektu otestoval a prosadil se na výbornou. Z toho důvodu jsem se rozhodl ho použít i nyní. Samotný čip má rozměry 2,5 × 2,5 mm s pouzdem 8-pin LGA, tudíž je velmi kompaktní a navrhnul jsem pro něj samostatnou malou desku, kterou ještě sdílí se senzorem BH1750.

Senzor měří teplotu v rozsahu od -40 °C do 85 °C, relativní vlhkost od 0 % do 100 % a atmosférický tlak v rozsahu 300 hPa až 1100 hPa. Přesnost měření teploty pro rozsah 0 °C až 65 °C je ± 1 °C. Pro měření tlaku v rozsahu teploty 0 °C až 65 °C je přesnost ± 1 hPa a pro měření relativní vlhkosti při teplotě 25 °C je poté přesnost ± 3 %.



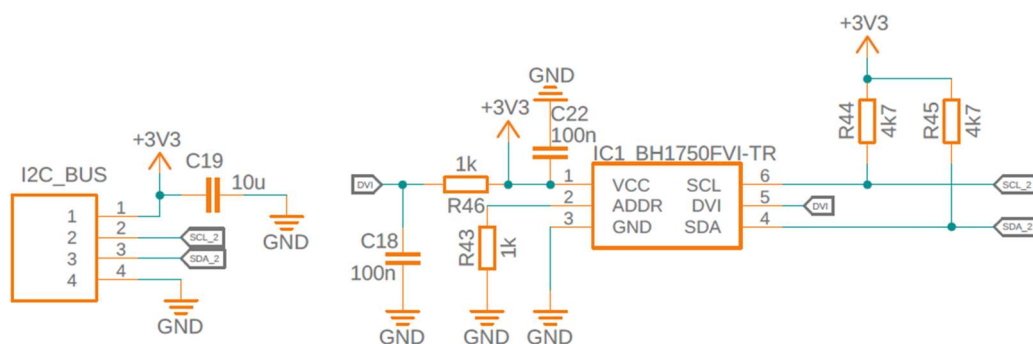
Obrázek 4: Schéma zapojení čipu BME280

Samotné zapojení senzoru je velmi jednoduché. Senzor komunikuje po sběrnici I2C a jeho základní adresa pro komunikaci na I2C sběrnici je 0x76. Na pin 8 jsem přivedl napájení 3,3 V a přidal filtrační kondenzátor C6. Čip může být napájený od 1,71 V až do 3,6 V. Pin 6 je také určený k napájení, avšak jediný rozdíl je ve spodní hranici napájení, kde je schopný fungovat od napětí 1,2 V. Piny 1 a 7 jsem uzemnil. Vývod CSB je „chip select“, při hodnotě „HIGH“ bude senzor komunikovat pomocí I2C sběrnice, při hodnotě „LOW“ bude používán SPI rozhraní. Pin jsem tudíž připojil na napájecí napětí a dostal ho tak do stavu „HIGH“. Pinem SDO se nastavuje adresa zařízení na I2C sběrnici. Tenhle pin nesmí zůstat nepřípojený, adresa by byla nedefinovaná. Nastavením hodnoty „LOW“ se na zařízení nastaví adresa 0x76 a nastavením hodnoty „HIGH“ se nastaví adresa 0x77. Registr, ve kterém se nastavuje 7-bitová adresa, má pevně nastavených 6 bitů. Poslední bit mi umožňuje měnit mezi adresou 0x76 a 0x77. Můžu teda použít maximálně 2 zařízení na jedné sběrnici. Piny 3 a 4 jsou komunikační piny pro sběrnici I2C, kde SDI je datový výstup a SCK je hodinový impulz. Na komunikační piny jsou ještě připojené 2 pull-up rezistory, ale jelikož je vždy používán jenom jedno zařízení a senzor BME280 sdílí desku se senzorem BH1750, tak na desce stačí pouze jeden pár těchto odporů.



## 2.2.4 Digitální senzor BH1750

Senzor BH1750 od firmy ROHM Semiconductor jsem se rozhodl využít, abych mohl sledovat intenzitu světla během dne, ať už kvůli sledování přírodních podmínek nebo pro nabíjení baterií přes solární panel. Vlastní velikost senzoru je 2,6 mm × 1,6 mm. Princip je velice jednoduchý. Světlo dopadající na fotodiodu (velikost 0,25 mm × 0,3 mm) generuje proud, který se přivádí do operačního zesilovače zapojeného jako integrátoru. Ten proud převede na napětí a to je následně A/D převodníkem přivedeno do logického obvodu, který signál zpracuje. Čip dokáže snímat intenzitu osvětlení od 1 lx až do 65535 lx. Fotodioda snímá vlnovou délku od 400 nm až do 700 nm, přičemž nejvíce citlivá je na vlnovou délku o hodnotě 580 nm. Rozsah napájecího napětí je od 2,4 V do 3,6 V. Maximální spotřeba elektrického proudu činí 190  $\mu$ A. Čip se může nastavit do různých módů. Například se dá zvolit velikost rozlišení, kde vysoké rozlišení pracuje po 1 lx a nízké rozlišení po 4 lx.



Obrázek 5: Schéma zapojení čipu BH1750

Zapojení čipu je jednoduché. Vstup VCC a GND jsou napájecí piny, kde na VCC jsem přivedl 3,3 V a přidal filtrační kondenzátor. Pinem 2 se volí adresa zařízení na I2C sběrnici. Pin se buď může opět přes odpor pull-up přivést na hodnotu „HIGH“, což by bylo napájecí napětí nebo na hodnotu „LOW“ – zem. Pin se musí vždy zapojit. Hodnota „HIGH“ změní adresu zařízení na 0x5C a „LOW“ na adresu 0x23, kterou jsem se rozhodl využít. Vstup DVI je asynchronní resetovací terminál, který může být ovládaný mikroprocesorem. Vstup se přivede přes odpor R46 na napájecí napětí. Piny 4 a 6 jsou datové, SCK hodinový pulz a SDA přenášená data. Na sběrnici jsou zapojené 2 pull-up odpory R44 a R45, které jsou společné pro senzor BME280. Na desce je přidělaná svorkovnice, která propojuje externí malou desku s hlavní deskou. Na vstupu je přidán filtrační kondenzátor C19.

## 2.3 Zdroj energie

Aby zařízení mohlo fungovat v přírodních podmínkách, je nutné, aby bylo nezávislé na vnějším zdroji elektrické energie. Meteorologická stanice je díky napájení z akumulátoru „bezdrátová“ a umožní tak lehkou manipulaci. Při používání v přírodě se nabízí dobíjení akumulátoru pomocí větrné či vodní elektrárny. Obě tyto možnosti ovšem vyžadují rozměrné zařízení, v případě vodní elektrárny pak ještě přítomnost vodního toku. Z toho důvodu volba padla na solární panel, který bude při dostačujících slunečných podmínkách akumulátor dobíjet. Problém by se dal vyřešit větším solárním panelem nebo zvětšením kapacity akumulátoru. To by se ovšem odrazilo na ceně a zhoršila by se celková manipulace se zařízením. Proto bylo mým cílem udělat kompaktní zařízení, tudíž aby si meteorologická stanice vystačila s co nejmenším solárním panelem a co nejmenším akumulátorem.

Pro co nejmenší spotřebu elektrické energie a její maximální využití jsem zařízení opatřil BMS – systém správy baterie. Systém má za úkol řídit veškeré dění okolo baterie a využít její energie. Na trhu lze nalézt velké množství různých BMS systémů lišící se ve funkcích, které systém obsahuje. Od nabíjení jednotlivých článků až po balancéry sériově zapojených baterií, které mají za úkol udržet stejné napětí při nabíjení a vybíjení na všech bateriích zapojených v sérii. Systémy také z pravidla obsahují ochrany baterií / obvodů k nim připojeným. Jedná se o přepětové, podpětové a zkratové ochrany, popřípadě mohou také obsahovat ochranu baterie proti přehřívání. Všechny nabízené řešení jsou větší a na samostatné desce, navíc nemusí obsahovat veškeré funkce. Rozhodl jsem se navrhnout si vlastní systém, který bude malý a zabudovaný v zařízení.

## 2.4 Systém správy baterií

Celý systém správy baterií jsem začal navrhovat okolo hlavního obvodu, který by ho řídil. Požadavky na obvod byly, aby byl malý, účinný, obsahoval ochranu a kvůli jednoduchosti toho zvládl co nejvíce bez nutnosti přidání dalších obvodů.

Zařízení bude napájené bateriemi, které budou dobíjené solárním panelem. Solární panel je měkký zdroj, tzn., že jeho výstupní napětí i celkový výkon je závislý na odebíraném proudu. Z toho důvodu jsem začal hledat obvod, který je deklarován jako „solární nabíječka“. Narazil jsem na obvod BQ24210 od firmy Texas Instruments, který má funkci „Battery tracking mode“ k maximálnímu využití solárního panelu k nabíjení. Obvod dále obsahuje ochranu proti přepětí, zkratu na baterii a ochranu baterie proti přehřívání. Obvod je téměř ideální, ale postrádá jednu velmi důležitou funkci a to je ochrana proti podpětí. Jakmile by baterie klesly pod kritickou hodnotu napětí, obvod BQ24210 by je neodpojil od zátěže a baterie by se vybíjely dále, dokud by nedošlo k jejich nenávratnému poškození. Začal jsem hledat obvod, který by takovou funkci obstaral. V kategorii "dozorčí obvody" jsem našel čip S-80828CNNB od firmy ABLIC. Čip má detekci napětí pevně nastavenou na hodnotu 2,8 V. Jakmile napětí klesne pod tuto hodnotu, na jeho výstupu se objeví logická nula, která je přivedena k zátěži (DC/DC měnič) na ENABLE pin a měnič tak vypne. Tím se odpojí zátěž. Do systému ochrany byly také pro větší bezpečnost přidány prvky, jako je pojistka na desce a nelineární termistor, tzv. vratná pojistka, která při nadměrném průchodu proudu se zahřeje a obvod rozpojí.

## 2.5 Obvod BQ24210

BQ24210 je vysoce integrovaná Li-Iontová lineární nabíječka. Je v 10-pinovém WSON pouzdru o rozměru 2 mm × 3 mm. Vstupní napětí z adaptéru nebo solárního panelu je až 20 V. Napětí připojené baterie může dosahovat až 7 V. Vstupní a výstupní proud obvodu je potom 1,25 A. Obvod má relativně velké rozsahy a je tak možné ho využít na více účelů. Mezi další přednosti obvodu potom patří již zmiňovaný „Battery tracking mode“, monitorování teploty baterie, nízký svodový proud baterie a funkce „Fast charge“, která dokáže baterii nabíjet proudem až 800 mA.

Obvod má několik režimů, mezi kterými se může přepínat a nastavit. Při přivedení napájení, obvod provede detekci módu. Podle konfigurace a stavu na VBUS a BAT pinu se obvod nastaví do režimu spánku, nabíjení, zátěže nebo odstavení.

Režim spánku – jakmile je napětí na VBUS pinu nad horním prahem módu zátěže nebo pod napětím baterie a proud pod hranicí módu zátěže, obvod se automaticky přepne do režimu spánku po 100 ms. Obvod má v režimu spánku spotřebu 50  $\mu$ A.

Režim odstavení – je-li na EN pinu logická hodnota 1, obvod se přepne do odstaveného režimu. Mezi vstupem VBUS a výstupem BAT jsou dva FET tranzistory, které jsou v zavřeném stavu, a svodový proud je tak velmi malý.

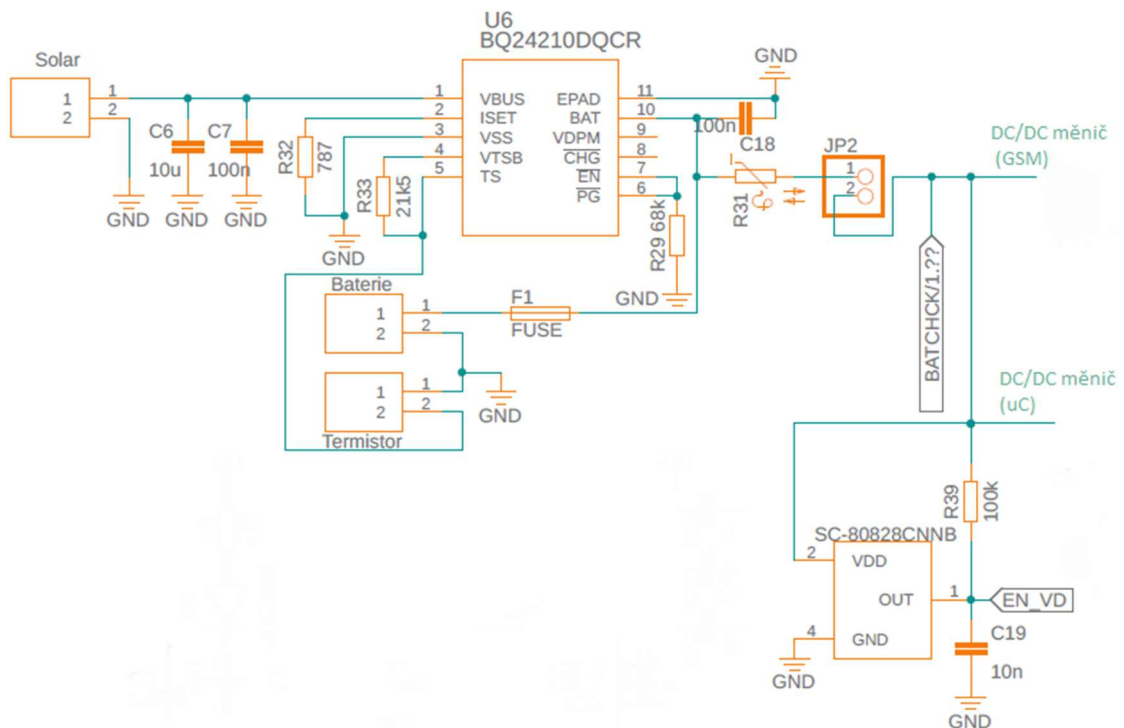
Režim zátěže – režim se spustí, když je zdroj nabíjení odstraněn a jsou splněny všechny napěťové podmínky. Obvod přivede napětí baterie na VBUS pin přes dva FET tranzistory. Tím se zajistí tok elektrického proudu do zátěže. Proud do zátěže je limitován, aby nedošlo k přetížení.

Režim nabíjení – nabíjení začne, jakmile pin BAT nebo VBUS vzroste nad hodnotu UVLO (undervoltage-lockout) a je přítomna baterie. Tranzistor na pinu PG (power good) se otevře, bezpečnostní časovač se zapne, povolí se CHG pin (charge) a spustí se běžné nabíjení. Časovač slouží k bezpečnému nabíjení, kde baterie se nabíjí v různých fázích. Každá z nich má svůj vlastní časovač, a pokud do uplynutí doby časovače se nevykoná kompletně daná fáze nabíjení, tak se celý nabíjecí cyklus zruší. Časovač se obnoví resetováním obvodu, zapnutím a vypnutím LPCM (limited power charge mode) nebo odpojením a připojením zdroje.

Samotné nabíjení má celkem tři fáze. První je přednabití a trvá celkem 30 minut. Jeho účel je připravit baterii z vybitého stavu do stavu, kdy bude moci přejít do další fáze. V první fázi je proud do baterie konstantní a napětí se zvyšuje. Jakmile dosáhne určitého napětí, obvod se přepne do druhé fáze nabíjení. Druhá fáze je rychlonabíjení konstantním proudem. Fáze trvá až 10 hodin. Proud do baterie se dá nastavit pull-down odporem na pinu ISET. Maximální nabíjecí proud je až 800 mA. Napětí při této fázi nabíjení roste, dokud nedosáhne prahového napětí, odkud se přepne do poslední fáze. Třetí a poslední fáze nabíjení je pozvolná regulace, dokud baterie nedosáhne plného nabití. Od prahového napětí se proud do baterie udržuje konstantní, napětí se dále zvětšuje, až dosáhne další prahové hodnoty, kde se proud do baterie začne zmenšovat. Napětí se dále udržuje na regulované maximální hodnotě 4,2 V.

## 2.5.1 Zapojení obvodu BQ24210

Zapojení obvodu BQ24210 proběhlo přesně podle datasheetu od výrobce. Na vstupní pin VBUS jsem přivedl vstup ze solárního panelu a přidal filtrační kondenzátory v hodnotě 10  $\mu\text{F}$  a 100 nF. Pinem ISET se nastavuje proud, kterým chceme baterii dobíjet v druhé fázi nabíjení. Proud se dá nastavit od hodnoty 50 mA až do 800 mA. Odpor se připojuje přímo na zem. Pro hodnotu 787  $\Omega$  odpovídá dobíjený proud 500 mA. Pin VSS je zemní terminál. Pin VTSB slouží jako reference pro nastavení děliče, který se skládá z odporu R33 a samotného termistoru (NTC). Pin VTSB a TS slouží dohromady jako ochrana baterie proti přehřívání. Termistor s odporem 10 k $\Omega$  a odpor R33 s hodnotou 21,5 k $\Omega$  byly navrženy tak, aby nabíjení probíhalo normálně až do teploty 45  $^{\circ}\text{C}$ . Od teploty 45  $^{\circ}\text{C}$  až do teploty 60  $^{\circ}\text{C}$  se sníží nabíjecí napětí o 100 mV a od 60  $^{\circ}\text{C}$  a výše se nabíjení vypne. Pin PG a EN se propojí pro zajištění automatického dobíjení baterií ze solárního panelu, zároveň se pin EN musí přivést na logickou nulu. V logické jedničce by fungoval v odstaveném režimu. V logické nule funguje v nabíjecím nebo zátěžovém módu. Pin CHG indikuje, jestli probíhá nabíjení nebo ne. Dá se na něj přivést LED s pull-up odporem pro indikaci. V mém případě jsem nechal pin nezapojený.



Obrázek 6: Schéma zapojení obvodu BQ24210 a SC-80828

Pin VDPM jsem nechal podle datasheetu otevřený pro „Battery tracking mode“. Pin BAT je výstup z obvodu a zároveň se na něj připojuje baterie. Přidal jsem vyhlazovací kondenzátor C18 s hodnotou 100 nF. Pin EPAD slouží jako chlazení obvodu. Jde o větší plochu, která je spojena se zemí a tím umožní lepší odvod tepla z obvodu. Nelineární termistor R31 má maximální napětí 30 V, odpor 120 m $\Omega$  a vypínací proud 2,7 A. Pro větší bezpečnost jsem ještě přidal na desku pojistku v SMD pouzdru velikosti 1206 s maximálním napětím 63 V, jmenovitým proudem 1,75 A a odporem 80 m $\Omega$ . Obvod SC-80828CNNB slouží ke hlídání podpětí na baterii. Jakmile baterie klesne pod hodnotu 2,8 V, na výstupu obvodu se nastaví logická nula a vypne DC/DC měnič, který napájí mikroprocesor.

## 2.6 Energetická bilance

Aby zařízení bylo energeticky samostatné, je potřeba spočítat spotřebovanou elektrickou energii a vypočítat přibližně, kolik elektrické energie je zařízení schopné získat z jeho zdroje, solárního panelu. Meteorologická stanice je napájena dvěma Li-Iontovými paralelně zapojenými bateriemi typu 18650, každá o kapacitě 2200 mAh. Jejich nominální napětí je 3,7 V, maximální 4,2 V, minimální 2,5 V a maximální vybíjecí proud je 10 A. Nabíjení probíhá již přes zmiňovaný solární panel o rozměru 165 mm × 165 mm. Napětí naprázdno je 7,2 V, maximální proud panelu je 0,75 A a výkon 4,5 W. Následující tabulka obsahuje přibližnou spotřebu elektrického proudu pro jednotlivé použité obvody.

Tabulka 1: Spotřeba jednotlivých obvodů

	Režim měření	Režim spánku
BME280	3,6 $\mu$ A	0 $\mu$ A
BH1750	120 $\mu$ A	0 $\mu$ A
BQ24210	800 $\mu$ A	800 $\mu$ A
SC-80828CNCNB	0,8 $\mu$ A	0,8 $\mu$ A
TPS63000 ( $\mu$ C / GSM)	2,3 mA / 24,5 mA	50 $\mu$ A / 0,1 mA
NTJD4158CT1G (tran. Ovl. / tran. Bat.)	36 mA / 11 $\mu$ A	8 $\mu$ A
TLC555	5 mA	0 $\mu$ A
SIM800H	490 mA	0 $\mu$ A
INA826 (4x)	5,7 mA	0 $\mu$ A
STM32L476	10 mA	330 nA
SD karta	30 mA	0 $\mu$ A
AP7354D-30W5-7	1 $\mu$ A	0 $\mu$ A
Celkem za hodinu:	604,43 mAh	0,86 mAh
Celkem za režim (16s a 59m 44s):	2,68 mAh	0,856 mAh
Celková spotřeba:	3,54 mAh	

Jeden měřicí cyklus trvá 1 hodinu. Z toho zařízení vykonává měření 16 sekund a zbylý čas do hodiny je ve spánku. Aby se ušetřilo co nejvíce energie, vypnou se všechny nepotřebné obvody. Pro údaje v tabulce jsem vycházel z datasheetu od výrobce. Je důležité mít na paměti, že hodnoty v tabulce jsou pouze orientační a přesné spočítání by bylo obtížné. Obvody jako jsou SIM800H a SD karta se přepínají mezi různými režimy, ve kterých mají odlišnou spotřebu. SIM800H začíná v IDLE režimu, ve kterém má spotřebu 17 mA, pak se přepíná mezi dalšími režimy, až skončí u režimu BURST, ve kterém může obvod dosahovat špičkového proudu až 2 A.

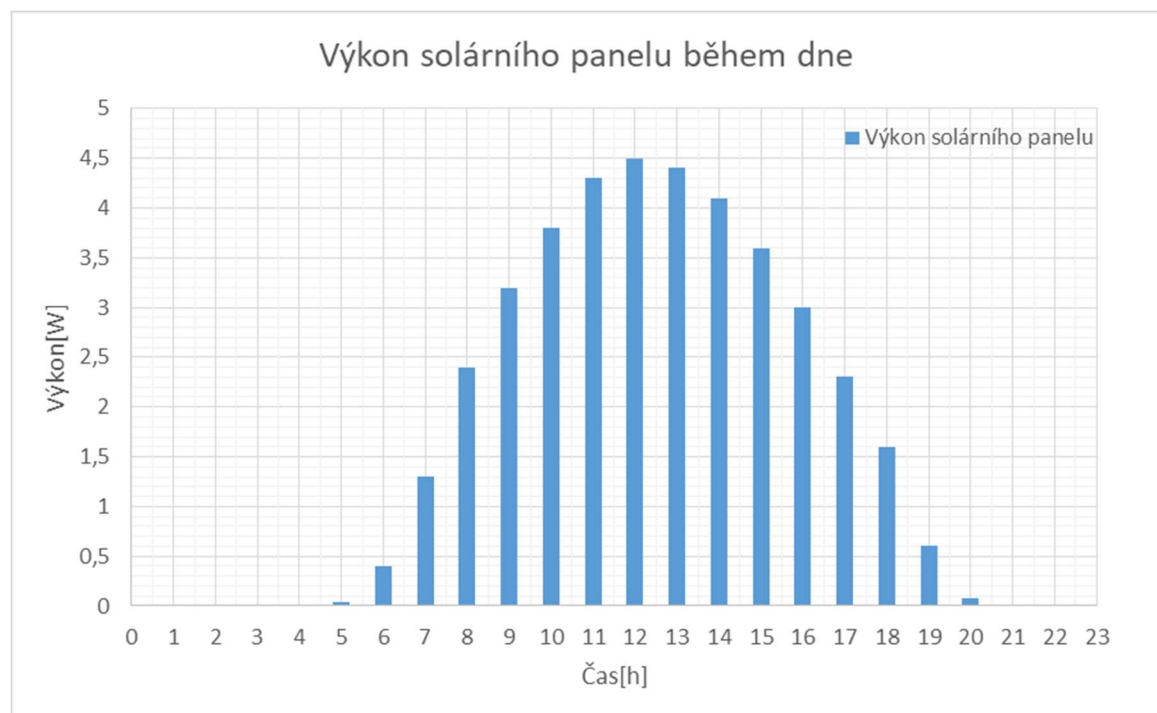
Celková spotřeba zařízení za jeden cyklus byla tak vypočítaná na 3,54 mAh. Za den by pak měla spotřebovat 85 mAh. S celkovou kapacitou baterií 4400 mAh by tak meteorologická stanice měla teoreticky zvládnout fungovat necelých 52 dní, aniž by potřebovala dobít baterie.

Aby byla energetická bilance kompletní a zjistilo se, zda bude aktuální konfigurace dostačující, je nutné určit, zda bude solární panel stíhat dobíjet baterie.

Na úvod bych chtěl zmínit, že celá problematika je složitější a všechny výpočty a odhady byly provedeny čistě teoreticky. V České republice se pohybuje počet slunných hodin za rok okolo hodnoty 1500 [2]. Solární panely nabývají největší účinnosti v poledne, kde je slunce kolmo k zemi. Slunce se pohybuje po obloze po parabolické křivce, a tak i účinnost solárních panelů v čase vykazuje tento charakter. Je obtížné určit přesný čas, ve kterém začínají panely generovat energii a kdy ji zase přestávají generovat. Čas se liší v závislosti na letním období a aktuálním počasí. V jarních / letních dnech za příznivého počasí by se čas pohyboval od sedmé hodiny ranní do šesté hodiny večerní.

Kapacitu baterií 4400 mAh jsem zvolil z důvodu, aby zařízení mohlo nepřetržitě fungovat alespoň měsíc v zimě. Se spotřebou 280,4 mWh za den by tak baterie měla stačit na 52 dní, ovšem za zhoršených teplotních podmínek se dá očekávat razantní pokles těchto dnů. Pro zvolení optimálního solárního panelu jsem se řídil jeho výkonem. Pro solární panel o výkonu 1 W by odpovídal výkon 8,8 Wh za den při slunném letním dni a kolmém naklonění panelu vůči slunci. V zimě by potom dobil baterie zhruba za 2 týdny při slunečných dnech (4 hodiny denně), což je celkem pomalé. Je tedy nutné baterie rychleji dobíjet, navíc platí nepsané pravidlo ohledně solárních panelů, kde se má výkon naddimenzovat minimálně 3×. Z těchto důvodů jsem se rozhodl solární panel naddimenzovat 4,5×.

Použitý solární panel má maximální výkon 4,5 W. Jedná se o monokrystalický solární panel od firmy STAR SOLAR, model CNC 165×165-6. Monokrystalický panel má tu výhodu oproti polykrystalickému, že je tvořen na jednom velkém kusu křemíku, oproti polykrystalickému, který je složen z většího počtu článků. Je-li dobře nastavený ke slunci monokrystalický panel, dosahuje lehce lepší efektivity (14 – 18 %) než polykrystalický (12 – 17 %) [1].



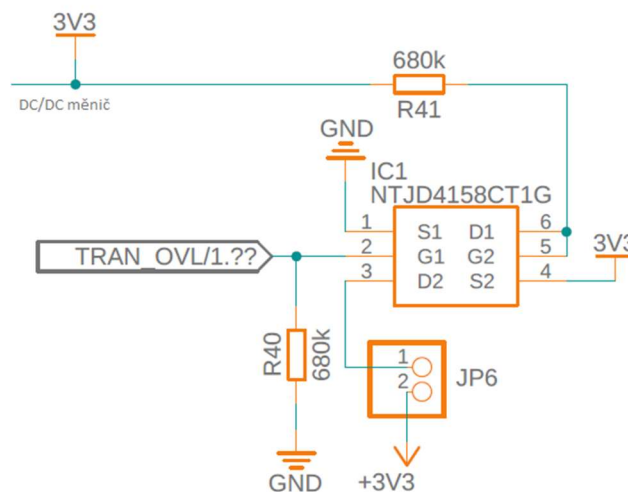
Graf 1: Výkon solárního panelu během dne

Trajektorie slunce se během roku mění a tím i graf výkonu solárních panelů. Parabola v grafu odpovídá letním měsícům při příznivém počasí a kolmém naklonění panelu vůči slunci. Když se sečtou jednotlivé hodiny v grafu, vyjde výkon solárního panelu 39,6 Wh. Je nutno podotknout, aby panel měl udávaný výkon, musí být nasměrován kolmo ke slunci po celý den, což je obtížně dosažitelné. Kolmost vůči slunci by se dala nastavovat robotickou rukou, takové řešení už je opět obsáhlejší a náročnější vůči power managementu.

Z grafu by se dalo usoudit, že solární panel funguje 11 hodin v letních měsících. V zimních měsících panely generují o 40 % až 60 % méně. Výkon z 39,6 Wh klesne na 15,8 Wh. V zimních měsících je pak zhruba 500 slunných hodin. Za zimní měsíce dokáže panel vygenerovat tak 718 Wh v případě, kdy na něj kolmo dopadá sluneční svit. Opět by se mělo počítat se situací, kdy panel nebude ideálně nastavený vůči slunci a tak se výkon opět sníží. Navíc se nepočítá s případem, kdy panel může být zapadáný sněhem. Na letní měsíce pak zbývá 1000 hodin, panel by tak měl vygenerovat 3,6 kWh a za celý rok 4,32 kWh. Zařízení by za jeden rok spotřebovalo 31 Ah, tj. 102,3 Wh. Solární panel by tak zvládl zhruba 42-krát dobít zařízení, kdyby na něj dopadal po celou dobu kolmý sluneční svit.

Skutečnost by se ovšem lišila. Ve výpočtu jsem toho hodně zjednodušil. Navíc v zimě by baterie měly být vyhřívané pro nabíjení / vybíjení. Dále se musí vzít v potaz, že většina vygenerované energie pochází z letních měsíců, tudíž v létě by byl přebytek energie a v zimě by ji byl nedostatek. Meteorologická stanice by měla bez problému fungovat zhruba od začátku května do konce září. Od října až do dubna by se potýkala s nedostatkem energie.

Aby se ušetřilo co nejvíce energie, v režimu spánku se vypne vše, co nemusí fungovat. Fungují tak pouze obvody BQ24210, SC-80828CNNB, TPS63000 a samotné STM32L476. Vypínání ostatních obvodů je realizováno přes komplementární pár unipolárních tranzistorů.



Obrázek 7: Schéma zapojení NTJD4158 – spínání senzorů

Jedná se o pouzdro SOT-363, velikosti 2 mm × 2 mm. První MOSFET v pouzdře je s N kanálem, druhý je s P kanálem. N-MOSFET slouží jako signální, který je ovládaný mikroprocesorem na G1. Po přivedení napětí se tranzistor otevře a sepne P-MOSFET, který slouží jako výkonový spínač. Hradlo G1 tranzistoru se chová jako parazitní kapacita, proto se přivede mezi G1 a S1 odpor R40, přes který se kapacita vybije. Aby byl P-MOSFET ve vypnutém stavu, když je vypnutý N-MOSFET, je třeba přivést na jeho pin G2 napájecí napětí přes odpor R41.



## 2.7 Spínaný regulátor

Většina obvodů v zařízení funguje v přijatelném rozsahu napětí. Do tohoto rozsahu spadá i hodnota 3,3 V až na modul SIM800H. Ten jako jediný funguje od rozsahu 3,6 V do 4,2 V. Meteorologická stanice tedy bude muset mít dva regulátory.

Na trhu se dá sehnat velké množství regulátorů. Jsou dvě velké skupiny a to lineární regulátory a spínané regulátory. Lineární regulátory jsou lehké na zapojení a vyžadují málo součástek. Ovšem mají jednu velkou nevýhodu a to je, že neumí zvětšovat výstupní napětí právě oproti spínaným regulátorům. Z toho důvodu jsem se rozhodl pro spínaný regulátor.

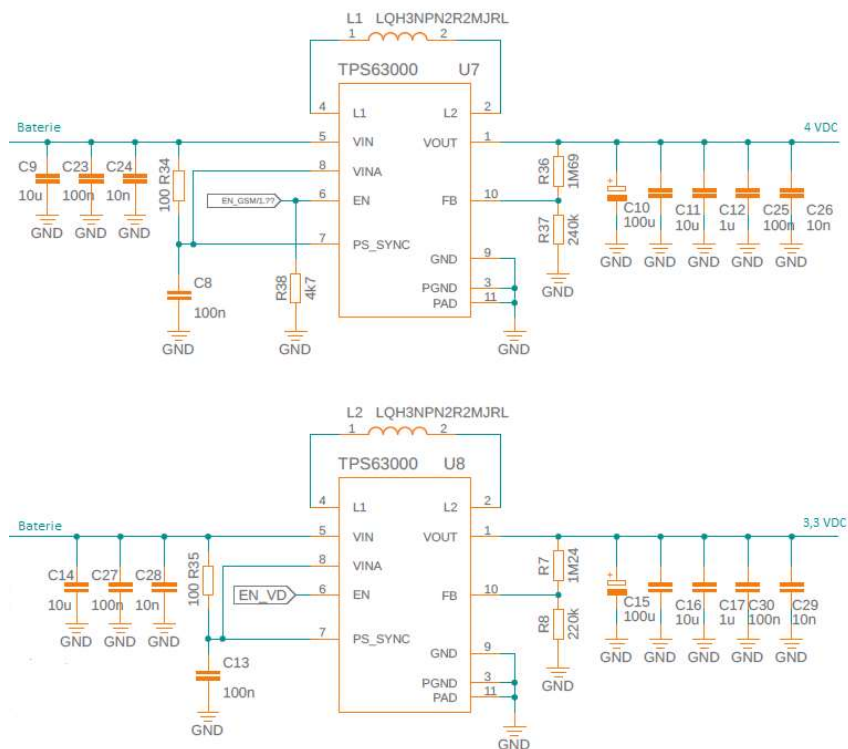
Napětí baterií se bude pohybovat od hodnoty 2,8 V, až do hodnoty 4,2 V. Pro napájení obvodů potřebuji mít na výstupu regulátoru konstantní napětí 3,3 V. Z toho důvodu jsem se rozhodl použít topologii Buck-Boost. Tato topologie mi umožní z napětí, které je větší jak 3,3 V ho snížit právě o tento rozdíl a zase naopak. Z napětí, které je menší jak 3,3 V ho dokáže o tento rozdíl navýšit.

Do své práce jsem si vybral spínaný regulátor (DC/DC měnič) TPS63000 od firmy Texas Instruments. Jedná se o Buck-Boost regulátor, který je navržený pro aplikace, kde je zdrojem baterie. Rozsah vstupního napětí se pohybuje od 1,8 V do 5,5 V. Při výstupním napětí 3,3 V v Buck módu (zmenšování napětí) může výstupní proud dosáhnout až hodnoty 1,2 A (1,8 A krátkodobě). V Boost módu (zvětšování napětí) a výstupním napětí 3,3 V to je potom 800 mA. Obvod má nízký klidový proud, jeho maximální hodnota dosahuje 50  $\mu$ A, automatický přechod mezi Buck a Boost módem a účinnost až 96 %.

Obvod má v sobě zabudovaných několik funkcí. Jedna z funkcí je blokování podpětí – když se na vstupní pin obvodu dostane napětí nižší než 1,7 V, obvod se automaticky vypne a zamezí vybíjení baterie (tuto funkci obstarává obvod SC-80828CNNB s prahovým napětím 2,8 V). Obsahuje také ochranu proti zkratu. Další funkce je ochrana proti přehřívání. Dojde-li k zahřátí obvodu nad 140 °C, automaticky se vypne a počká, dokud se neochladí. Aby se zamezilo častému zapínání/vypínání obvodu na této teplotě, je zde vestavěná hysterezní smyčka. Další z funkcí je úspora energie, kdy při nízkém proudovém zatížení výstupu se čip přepne do zmíněného módu. Umožní mu to tak pracovat s velkou účinností. Další funkce jsou pak soft-start a synchronizace obvodu pomocí fázového závěsu.

## 2.7.1 Obvod TPS63000

Samotný obvod se nachází v pouzdře VSON, který má 10 pinů. Rozměry čipu jsou 3 mm × 3 mm. Čip je tedy malých rozměrů a pro lepší odvod tepla je uprostřed osazen velkou kovovou plochou, přes kterou čip předává teplo do desky.



Obrázek 8: Schéma zapojení obvodů TPS63000

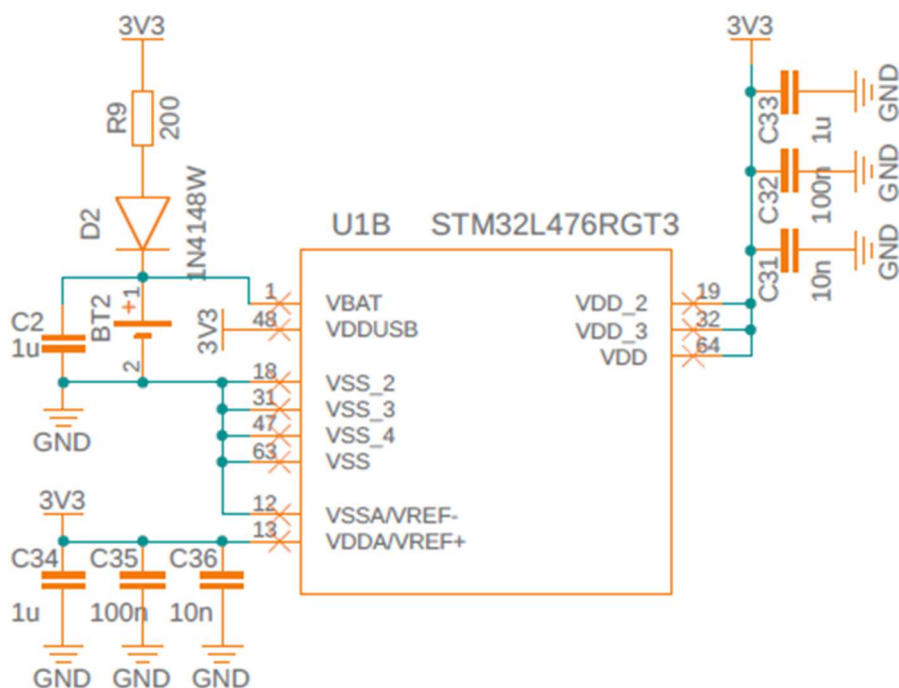
Použil jsem 2 regulátory. První (vrchní schéma) je pro napájení modulu SIM800H napětím 4 V. Druhé schéma je potom pro napájení zbylé desky, která funguje na napětí 3,3 V. Obě schémata jsou shodná, provedeny byly pouze změny v nastavení děliče, který určuje výstupní napětí a na EN pinu.

Pin L1 a L2 jsou vstupy pro cívku. Vstup VIN je pin pro vstupní napětí. Na vstup jsem přidal odstupňovanou řadu keramických kondenzátorů pro vyhlazení vstupního napětí. Pin VINA slouží jako napájení pro logickou úroveň čipu, připojí se přes odpor na vstupní napětí. Pin EN slouží pro vypnutí/zapnutí čipu. Logická jednička čip zapne, logická nula vypne. U čipu, který napájí GSM modul, je pin EN dodatečně uzemněný přes odpor, aby byl stav přesně definovaný. U čipu, který napájí zbylou část desky je EN pin přiveden na obvod SC-80828CNNB, který v případě podpětí čip vypne a zamezí tak dalšímu vybíjení. Vstup PS/SYNC je určený na synchronizaci čipu a pro povolení power-save režimu. Logická jednička režim vypne, logická nula režim zapne. Piny PAD (chladicí plocha), PGND (power-ground) a GND jsou přivedeny na zem. Pin FB je zpětná vazba výstupního napětí, přes odporový dělič čip upravuje výstupní napětí tak, aby napětí bylo konstantní. VOUT je výstupní napětí. Na výstupu jsem použil keramické kondenzátory, jeden je elektrolytický. Dohromady tvoří odstupňovaný vyhlazovací filtr.

## 2.8 Mikroprocesor

Při výběru mikroprocesoru jsem dbal na hlavní dva aspekty. První aspekt byl, aby měl dostatečný počet GPIO pinů a sběrnic. Druhý kritérium pro výběr bylo, aby měl mikroprocesor dostatečně účinný režim SLEEP.

Volba padla na mikroprocesor STM32L476 od firmy STMicroelectronics. Jedná se o mikroprocesor z řady Low-power, tudíž splňuje požadavky na režim SLEEP. Minimální počet pinů, kterým výrobce tenhle čip osazuje je 64, takže bude i dostatek GPIO pinů. Navíc je stejný mikroprocesor osazený na vývojové desce NUCLEO, takže bylo možné odzkoušet jeho jednotlivé funkce před samotnou realizací.

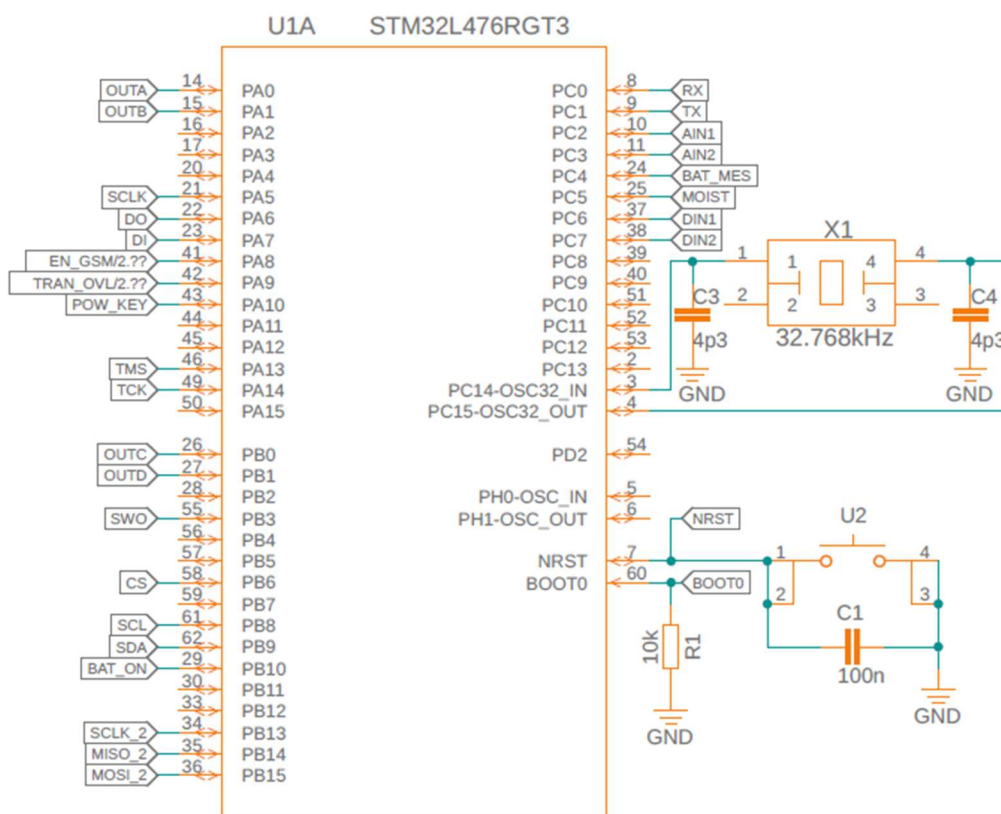


Obrázek 9: Schéma zapojení STM32L476 - napájecí část

Mikroprocesor je v pouzdře LQFP-64. Ve schématu je celý obvod rozdělený na dvě části. První část je logická, kde jsou vyvedeny všechny logické piny. Druhá část je napájecí. Zapojení napájecí části je jednoduché. Všechny VDD piny se přivedou na napájení 3,3 V. K napájení u mikroprocesoru je důležité přidat odstupňovanou filtraci z kondenzátorů, která vyhladí zákmity, způsobené ostatními prvky v obvodu. VSS piny se přivedou na zem. Pin VBAT slouží jako záložní zdroj energie, dojde-li k přerušení napájení. Ke vstupu VBAT jsem připojil držák baterií typu CR2450. Baterie má napětí 3 V a je dobíjecí. Nabíjení probíhá z napětí 3,3 V přes odpor R9 o hodnotě 200  $\Omega$  a diodu D2.

Na schématu níže je první (logická) část mikroprocesoru. Zapojení mikroprocesoru bylo podle potřeby různých sběrnic a pinů. Jenom pár věcí bylo pevně daných k zapojení. Mezi ně patří resetovací tlačítko, krystal a programovací piny.

Resetovací tlačítko jsem připojil na pin 7 a přidal k němu kondenzátor na odstranění záskmitů. Krystal jsem připojil na pin 3 a 4. Jedná se o hodinový krystal o frekvenci 32,768 kHz, který je využitý pro RTC v režimu spánku. Krystal jsem vybral s hodnotou 10 PPM, aby měl co nejmenší teplotní drift a RTC tak bylo přesné. Aby byla zajištěna správná oscilace krystalu, přidal jsem kondenzátory C3 a C4. Programovat mikroprocesory STM32 se dá vícero způsoby, já jsem si vybral možnost přes externí ST-LINK pomocí rozhraní SWD (serial wire debugging). Pro programování se používají 4 piny. Tyto piny jsou napájecí (3,3 V a zem) a SWDIO (ve schématu TMS) a SWCLK (ve schématu TCK). Do zálohy jsem si vyvedl ještě piny SWO, NRST a BOOT0, kdybych se rozhodl pro jiný způsob programování. Zbylé vyvedené piny jsou už uživatelské.



Obrázek 10: Schéma zapojení STM32L476 - logická část

## 2.9 Moduly zařízení

### 2.9.1 Modul SIM800H

SIM800H od firmy SIMCOM je 4-pásmový GSM/GPRS modul, který pracuje na frekvencích GSM 850 MHz, EGSM 900 MHz, DCS 1800 MHz a PCS 1900 MHz. Samotný modul je velmi univerzální v jeho možnostech a konfiguracích.

K modulu se dá připojit spousta periferií, jako jsou dva mikrofony, dva reproduktory (má vestavěný audio zesilovač třídy AB) nebo třeba klávesnice, která může obsahovat až 50 tlačítek zapojených maticově. Modul podporuje sériový port, USB, I2C a programovatelné GPIO s jedním 10-bitovým AD převodníkem. Navíc má v sobě zabudované Bluetooth a FM.

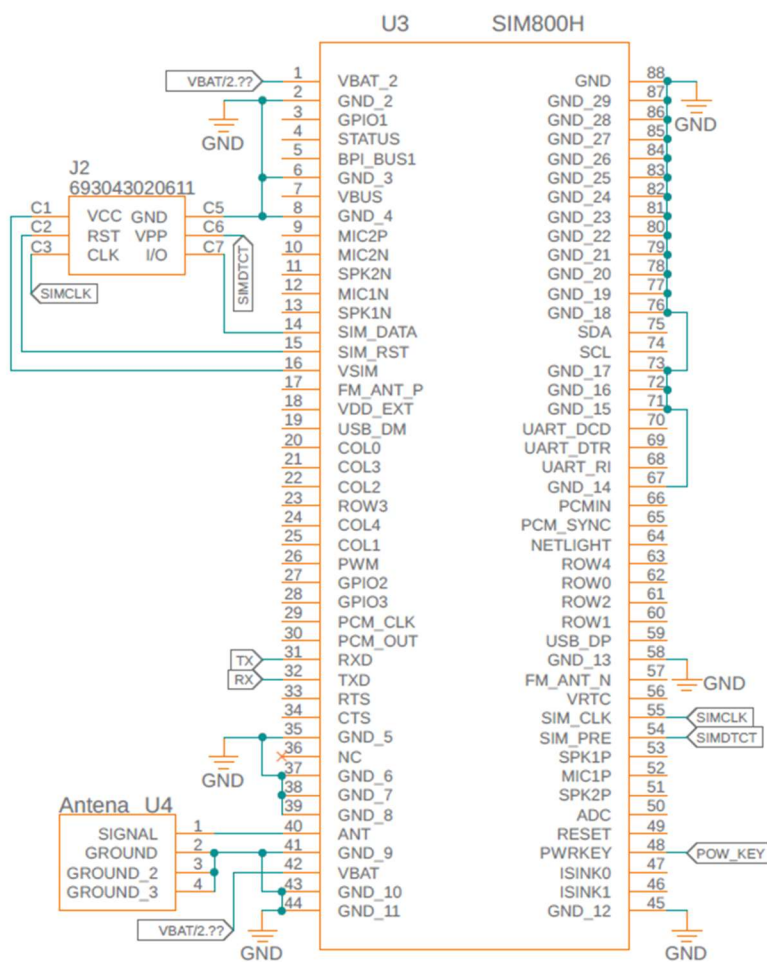
Samotný modul se pak dá ovládat přes sériový port, popřípadě do něj aktualizovat firmware přes USB sběrnici. Práce s modulem je jednoduchá v tom, že se nemusí nic programovat, pouze se posílají AT příkazy, které jsou dostupné na internetu či v datasheetu od výrobce.

Po programové stránce se pak dá v modulu nastavit téměř vše, na co si uživatel vzpomene. Například si zapnout RTC, zjistit aktuální napájecí napětí pomocí AT příkazu, nastavit režim SLEEP, přijímání SMS zpráv a mnoho dalšího.

Čip má zabudovanou i ochranu proti přepětí a podpětí, jakmile se na jeho napájecím pinu objeví jedna z uvedených možností, čip se sám vypne. Jediná nevýhoda tohoto čipu je v rozsahu jeho napájecího napětí. Obvod má minimální prahové napětí 3,4 V a maximální prahové napětí je 4,4 V. Tímto rozsahem se tak vyhýbá 3,3 V a 5 V logice. Z tohoto důvodu jsem musel zvolit cestu druhého regulátoru. Co se týče spotřeby elektrického proudu, ta se liší v závislosti na aktuálním nastavením čipu. Čip se může vypnout AT příkazem nebo pinem PWRKEY, v tom případě se spotřeba bude pohybovat okolo 50  $\mu$ A. V režimu spánku potom až 1,88 mA, v neaktivním režimu 18,7 mA. V závislosti na použité frekvenci přenosu se bude odvíjet další spotřeba modulu, která je ještě navíc rozdělena, jestli modul více dat přijímá nebo vysílá. Modul má větší spotřebu při vysílání, kdy se spotřeba může přibližně pohybovat od 180 mA až do 450 mA. Navíc modul dosahuje při samotném odeslání dat tzv. „TX Burst“, který má spotřebu až 2 A ve špičce. Jedná se o krátkodobé zatížení, není-li k dispozici zdroj, který je schopný tyto špičky pokrýt, je nutné na vstup dát dostatečně velký kondenzátor, který tyhle špičky pokryje. Vysílací výkon se pak liší na zvolené frekvenci, kde pro pásma GSM 850 a EGSM 900 je 2 W a pro pásma DCS 1800 a PCS 1900 1 W.

Ač po stránce výbavy a samotného pouzdra čipu se může zdát zapojení modulu komplikované, skutečnost taková není. Čip se nachází v LGA (land grid array) pouzdrě s 88 vývody. Rozměry obvodu jsou 15,8 mm × 17,8 mm. Obvod využívám pouze k připojení a odeslání dat do databáze pomocí GPRS. Pro tuto činnost potřebuji zapojit pouze pár pinů z celého obvodu.

Velká část čipu obsahuje zemnicí piny, které zároveň fungují jako chlazení. Tyhle piny jsem připojil na zem. Čip komunikuje po sběrnici UART, tudíž stačí pouze do kříže zapojit piny RX a TX s mikroprocesorem, tím se vyřeší veškerá komunikace. Napájecí napětí modulu je od 3,4 V do 4,4 V, zvolil jsem 4 V a nastavil podle toho daný regulátor. Filtrační kondenzátory včetně elektrolytického jsou u regulátoru a samotný regulátor je blízko modulu, takže není zapotřebí mít další filtraci u čipu. Poté se musí zapojit pin PWRKEY, kterým se zapíná čip. Pin by měl být alespoň na jednu sekundu stažený k zemi, zapojil jsem ho na GPIO pin mikroprocesoru. Držák na SIM kartu se zapojí na piny SIM\_CLK (hodinový pulz pro SIM kartu), SIM\_PRE (detekce zasunuté SIM karty), SIM\_DATA a SIM\_RST. Pak už jenom zapojit zem a napájení SIM karty VSIM. Anténa se zapojí na pin ANT. Konektor pro anténu jsem vybral vysokofrekvenční typu IPEX.

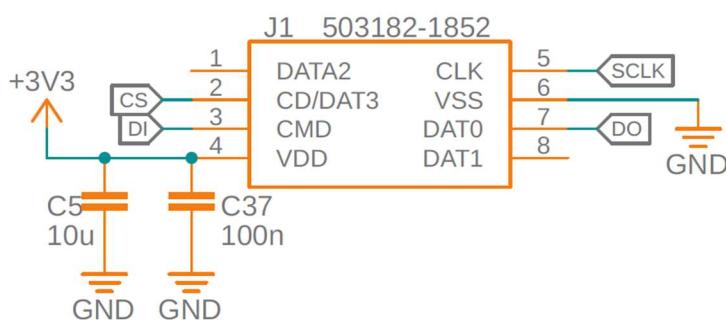


Obrázek 11: Schéma zapojení čipu SIM800H

## 2.9.2 SD karta

Zařízení je vybavené SD kartou pro případ, že by připojení do databáze a následné uložení dat selhalo. Na SD kartě se při každém měření uloží čas a datum provedeného měření a pak jednotlivé naměřené veličiny. Data se mohou ukládat ve formátu .csv nebo .txt. Formát .csv jsou hodnoty oddělené znakem a v hojně míře se využívají pro tabulkové editory jako je Excel. Formát .txt je obyčejný textový soubor. Zvolil jsem formát .txt pro jeho jednoduchost, naměřená data budou jednoduše zobrazena v grafech v databázi a není tak potřeba je ukládat ve formátu .csv.

Karta je připojena pomocí 4-vodičů na SPI rozhraní. Vodiče jsou MOSI, MISO, CS/SS a SCLK. Na jedné sběrnici může být opět připojených více zařízení s tím, že master si pomocí CS/SS (chip select, někdy slave select) pinu ovládá komunikaci s vybraným zařízením. Master poté pomocí SCLK určuje hodinový pulz pro vybrané zařízení (slave). Vodiče MOSI (master out – slave in) a MISO (master in – slave out) jsou datové vodiče.



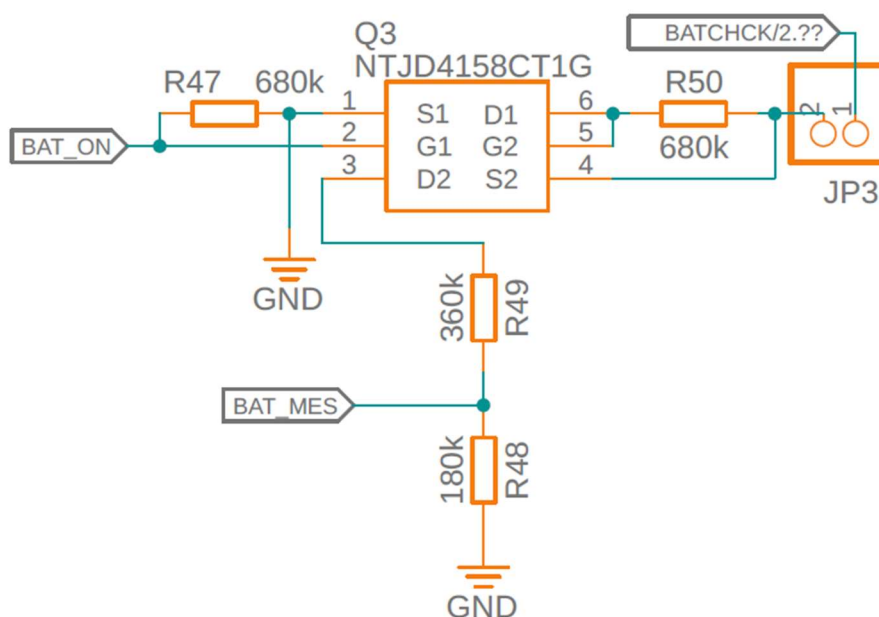
Obrázek 12: Schéma zapojení držáku SD karty

K zapojení je potřeba jenom samotný držák SD karty k SPI sběrnici. SD karta má doporučené napětí 3,3 V, tudíž k napájení stačí zapojit na pin VDD 3,3 V. SD karta je velice náchylná na úbytky napětí či šum na napájení, proto jsem přidal dva filtrační kondenzátory. VSS se přivede na zem. Pin CLK se připojuje na SCLK v SPI sběrnici. DAT0 má datovou funkci, připojuje se na MISO v SPI sběrnici. CMD má také datovou funkci, v SPI sběrnici se nachází pod jménem MOSI. CD/DAT3 je výběr zařízení na sběrnici, připojí se na CS/SS.

### 2.9.3 Měření napětí baterií

Aby bylo možné odhadnout, jak dlouho vydrží meteorologická stanice v terénu, popřípadě znát dobu, kdy jít vyměnit baterie, musím znát procento jejich nabití. Používám dvě paralelně zapojené baterie. Aby bylo možné je zapojit, je nutné, aby měly stejné nominální napětí a pokud možno co nejvíce stejný vnitřní odpor. Kdyby měly různý vnitřní odpor, docházelo by u jedné baterie k vybití do té druhé a hrozilo by nenávratné poškození baterií. Při připojování baterií paralelně je potřebné, aby bylo jejich napětí pokud možno co nejvíce podobné. Nejprve se vyrovná jejich napětí a poté se chovají jako celek.

Měření napětí na baterii jsem zprostředkoval pomocí tranzistorů a odporového děliče, kde napětí na děliči přivádím do 12-bitového analogově-digitálního převodníku mikroprocesoru. Princip a tranzistor je stejný jako v případě u spínání senzorů. V pouzdře jsou dva tranzistory, první je P MOSFET a druhý je N MOSFET. Signál s označením BAT\_ON je přiveden na digitální vstup mikroprocesoru, kterým se celý tranzistor ovládá. Druhá značka BATCHCK/2.?? přivádí napětí baterií na konektorovou propojku JP3 a zároveň na D1, G2 a S2. Na D2 je připojený odporový dělič. Výstupní napětí je pak 1,4 V při nabitých bateriích a 0,933 V při vybitých bateriích. Bohužel není možné využít plného napěťového rozsahu AD převodníku v mikroprocesoru, kvůli napěťovým úrovním baterií. Měření tak není dostatečně přesné a slouží pouze k zjištění přibližnému stavu baterií. Pro přesné měření stavu baterií by se musel použít obvod, který by počítal náboj vstupující a vystupující z baterií.



Obrázek 13: Schéma zapojení NTJD4158 - měření napětí baterií



## 3 Firmware

### 3.1 Vývojový diagram

Firmware určený pro zařízení je napsaný v jazyce C. Jako programovací prostředí jsem využil STM32CubeIDE [4] od firmy STMicroelectronics. To má hned několik výhod. Jedna z nich je, že má v sobě zabudované HAL knihovny [3], které ulehčují práci s mikroprocesory od stejnojmenné firmy. Dále se dá ve vývojovém prostředí lehce navolit jednotlivé funkce, zapnout/vypnout jednotlivé sběrnice a pomocí děliček/násobiček vybrat danou frekvenci pro sběrnice, RTC, displej a jiné periferie. V neposlední řadě je také výhodou, že licence k softwaru je zdarma, tudíž se hodí i pro komerční účely.

Vývojový diagram firmwaru je celkem jednoduchý. Jedná se o smyčku, která probíhá neustále dokola. Jakmile se firmware nahraje do mikroprocesoru, spustí se časovač od RTC, který počítá uběhnutý čas. Jedna smyčka trvá 1 hodinu. Z toho času se samotný program vykonává 16 sekund, zbylý čas je mikroprocesor v režimu standby. Doběhne-li časovač do konce, nastane probuzení a inicializace periférií. Poté se sepnou tranzistory, které ovládají senzory. Naměří se data, zpracují a uloží na SD kartu. Poté se zapne GSM modul a data odešlou na internet. Tranzistory se vypne napájení pro senzory a mikroprocesor se přepne opět do režimu standby, kde čeká zbylý čas do hodiny. Jakmile v RTC modulu uběhne hodina, opět probudí mikroprocesor a celá smyčka se opakuje.

Samotné programování bylo jednodušší v případě, kdy se používá obyčejná periferie či sběrnice, jako je sériová komunikace s GSM modulem nebo komunikace s SD kartou po SPI sběrnici. Pro takové případy jsou ve vývojovém prostředí připravené knihovny. Komunikace po I2C sběrnici je také k dispozici, ale abych nemusel nastavovat jednotlivé registry v daných senzorech, rozhodl jsem se využít komunitní knihovny. Zbylé věci jako je RTC, režim spánku a čtení jednotlivých analogových hodnot je z velké části obstaráno v již zmíněných HAL knihovnách.



Obrázek 14: Vývojový diagram

## 3.2 UART komunikace

UART neboli sériovou komunikaci využívám u modulu SIM800H. Komunikace je zprostředkována pomocí dvou vodičů, RX (receive) a TX (transmit). Vodiče jsou u modulu a mikroprocesoru zapojené do kříže.

V kódu pak stačí pracovat s funkcí HAL\_UART\_Transmit, kde první parametr funkce je linka, po které chci data poslat. Druhý parametr jsou samotná data, třetí parametr je velikost dat a poslední je timeout na lince.

```
void sendData(){
    sprintf(data,"%s%d&field2=%d%c\n\r",url,temp,humi,konec_url);
    HAL_UART_Transmit(&hlpuart1, "AT+HTTTPINIT\n\r", sizeof("AT+HTTTPINIT\n\r"), 500);
    HAL_Delay(2000);
    HAL_UART_Transmit(&hlpuart1, data, sizeof(data), 500);
    HAL_Delay(3000);
    HAL_UART_Transmit(&hlpuart1, "AT+HTTTPACTION=0\n\r", sizeof("AT+HTTTPACTION=0\n\r"), 500);
    HAL_Delay(2000);
    HAL_UART_Transmit(&hlpuart1, "AT+HTTTPREAD\n\r", sizeof("AT+HTTTPREAD\n\r"), 500);
    HAL_Delay(2000);
    HAL_UART_Transmit(&hlpuart1, "AT+HTTTPTERM\n\r", sizeof("AT+HTTTPTERM\n\r"), 500);
    HAL_Delay(1000);
}
```

*Zdrojový kód 1: UART komunikace - SIM800H*

Posílaná data jsou pak AT příkazy. Před zavoláním funkce sendData se ještě musí provést připojení modulu k internetu, které opět probíhá přes AT příkazy. Pro nahrání dat do databáze thingspeak.com používám HTTP metodu GET.

## 3.3 SPI komunikace

Jediná periférie, kterou mám na SPI sběrnici připojenou, je SD karta. K tomu, aby se SD karta mohla používat, je nutné, aby byla správně naformátovaná. Formát musí být FAT16 nebo FAT32. Pro komunikaci s SD kartou už je ve vývojovém prostředí připravená knihovna FatFs. Knihovna obsahuje jednotlivé funkce, které jsou potřeba k používání SD karty. Při konfiguraci pinů je potřeba zapnout všechny používané piny pro SPI komunikaci, tj. MOSI, MISO, SCLK a CS. Po následném uložení mi prostředí vytvoří všechny potřebné soubory a nastaví požadované piny. Dále je nutné nadefinovat, který pin byl zvolen jako CS. Pin CS se může nastavit na libovolný digitální pin, v tom případě se pak jenom přepíše sběrnice a samotný pin. Jako další krok bylo nutné upravit zdrojový soubor projektu s obsluhou přerušením, kde se upravil časovač 1 a 2. Postup při obsluze SD karty je jednoduchý. První se zkontroluje, zda je SD karta zasunuta. V případě, že je, otevře se vybraný soubor na kartě nebo se vytvoří nový (záleží na nastavení). Poté se ze souboru může číst, popřípadě na něj zapsat data. Nakonec se soubor řádně uzavře.

## 3.4 RTC

Real time clock, neboli zkráceně RTC je v mikroprocesoru část, která má za úkol držet nastavený čas aktuální (počítat ho) včetně celého kalendáře. Dále může RTC probouzet čip ze SLEEP režimu. V kódu využívám obou vlastností RTC.

Na SD kartu ukládám čas každého měření. Aby to bylo možné, musel jsem si v nastavení zapnout RTC a jednotlivé části, které potřebuji. Dále jsem si nakonfiguroval, aby RTC bylo taktované externím oscilátorem s hodnotu 32,768 kHz, který jsem přidal na hlavní desku. Nastavil jsem si přesný čas, ten se poté nahraje do čipu a od něj se bude čas dále počítat. Další věc, co jsem si zapnul v nastavení je možnost přerušení od RTC, respektive probouzení mikročipu od RTC. Poté stačí už jenom vygenerovat kód s daty a trochu ho poupravit. Musel jsem nastavit jednu důležitou funkci. Funkce je, aby při každém probuzení mikročipu ze SLEEP režimu, se nastavil správný čas a nenastavil se ten původní.

```
if(HAL_RTCEx_BKUPRead(&hrtc, RTC_BKP_DR1) != 0x32F2)
{
    set_time();
}
```

*Zdrojový kód 2: HAL knihovna - nastavování času z registru*

Funkce `set_time` se provede vždy po prvním nahrání firmwaru do mikroprocesoru. V dané funkci se nastavuje původní čas a všechny potřebné registry. Navíc nastavím pomocí funkce `HAL_RTCEx_BKUPWrite` do registru `RTC_BKP_DR1` hodnotu `0x32F2`. Dále v kódu pak testuji podmínku na přečtení tohoto registru, je-li v něm obsažena mnou zadaná hodnota, funkce `set_time` se neprovede a v registrech pro uchování času zůstane původní udržovaný čas.

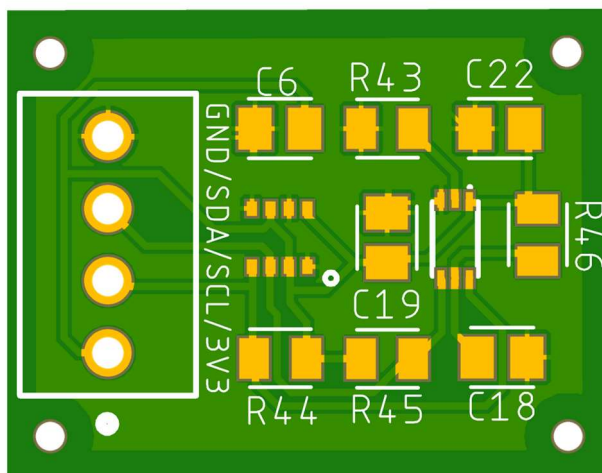
## 3.5 SLEEP režim

Další nepostradatelnou funkcí, kterou využívám je režim SLEEP. Jde o podtaktování samotného jádra mikroprocesoru a vypnutí všech nepotřebných částí, za účelem snížit spotřebu na naprosté minimum. Řada L4 má velice propracované tyhle režimy a má jich hned několik, ze kterých může uživatel vybírat. Úsporné módy začínají od `LPRun` (low power run), `Sleep` a `LPSleep`. Další režimy jsou `Stop 0-2`, které jsou už pro moji potřebu použitelné. Já jsem se však rozhodl využít až režim `Standby`. Režim `Standby` má spotřebu odvíjející se od použitého regulátoru a zapnutého či vypnutého RTC. V mé konfiguraci to je okolo hodnoty 330 nA. Existuje však ještě jeden režim a to je `Shutdown`. V závislosti na konfiguraci může dosáhnout až spotřeby 8 nA. Kód je jednoduchý, v RTC se nastaví požadovaný čas spánku a předdělička, poté se vypne časovač, který řídí přerušení a nakonec se zavolá funkce `HAL_PWREx_EnterSTANDBYMode`, kterou se celý mikroprocesor uspí. Probuzení z tohoto režimu je restart, tzn., že program bude vykonáván od začátku a všechny data kromě RTC budou ztracena.

## 4 Realizace a zabudování zařízení

### 4.1 Vytvoření schémat a desek plošných spojů

Celá moje práce byla vytvořena v softwaru Fusion 360 od Autodesku. Konkrétně schémata a samotné desky plošných spojů byly navrženy v Eaglu, který je integrovaný ve Fusionu. Kompletní schémata jsou dostupná v příloze.



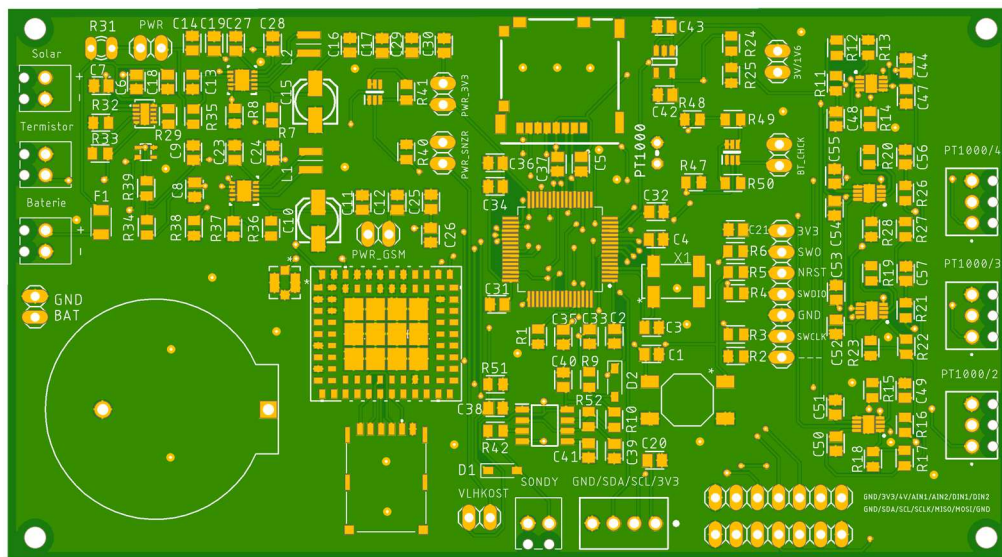
Obrázek 15: Vrchní strana DPS - senzorová deska

Na obrázku je vrchní strana desky plošného spoje, která je osazena senzorem BH1750 a BME280. Deska je jednovrstvá a použité součástky jsou velikosti 0805 v imperiálních jednotkách. Šířka jednotlivých cest je 0,254 mm. Spodní strana desky je neosazená ani na ní není vrstva mědi. Deska je velikosti 21 mm × 16 mm.

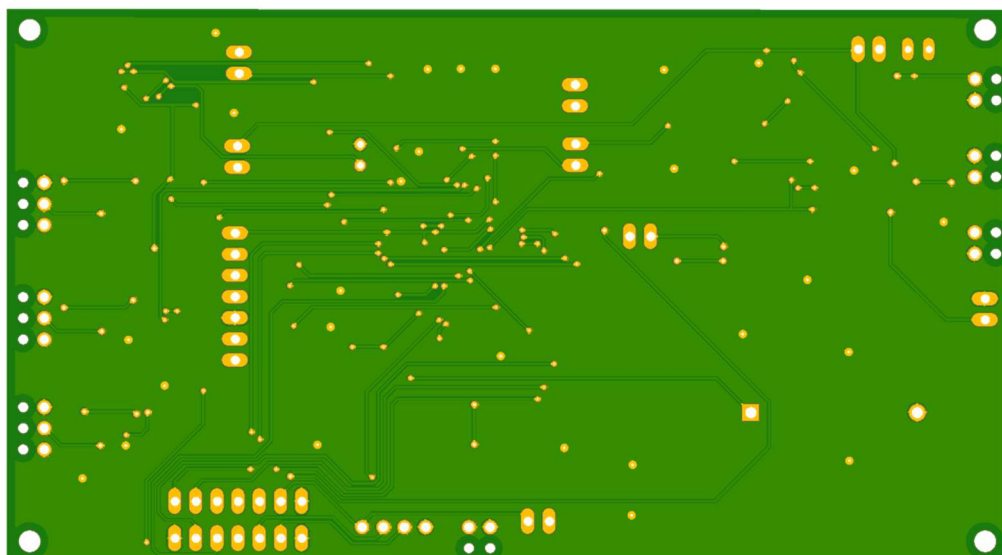


Obrázek 16: Spodní strana DPS - senzorová deska

Na obrázku níže je vrchní strana hlavní desky. Na levé straně jsou tři svorkovnice. Jedna pro termistor, druhá pro solární panel a třetí pro baterie. Vedle svorkovnic jsou regulátory a solární nabíječka. Dole se nachází držák na baterii typu CR2450. Vedle držáku je pak SIM800H s držákem SIM karet. Uprostřed desky je mikroprocesor, nad ním držák SD karet a pod mikroprocesorem obvod TLC555 se svorkovnicí pro sondy a I2C sběrnici, která vede do předchozí malé desky. Na pravé straně od I2C sběrnice se nachází dva „hřebínky“ pro možnost připojení dalších periferních modulů. Vedle mikroprocesoru je potom krystal, tlačítko a programovací „hřebínek“. Na pravé straně desky jsou potom čtyři obvody pro PT1000 a tři svorkovnice, do kterých se připojují jednotlivé PT1000. Spodní strana desky je opět neosazená. Deska je 2-vrstvá.



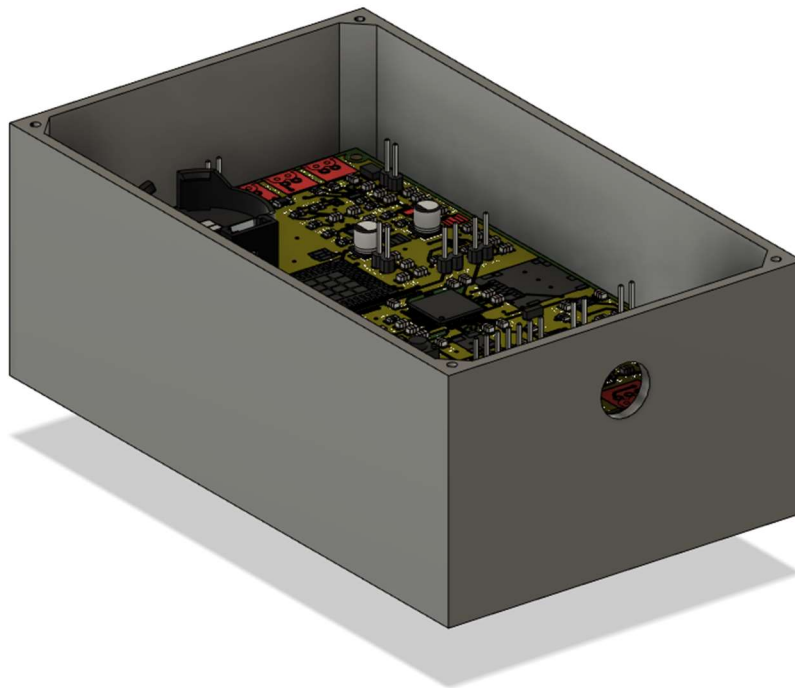
Obrázek 17: Vrchní strana DPS - hlavní deska



Obrázek 18: Spodní strana DPS - hlavní deska

## 4.2 Vytvoření schránky pro zařízení

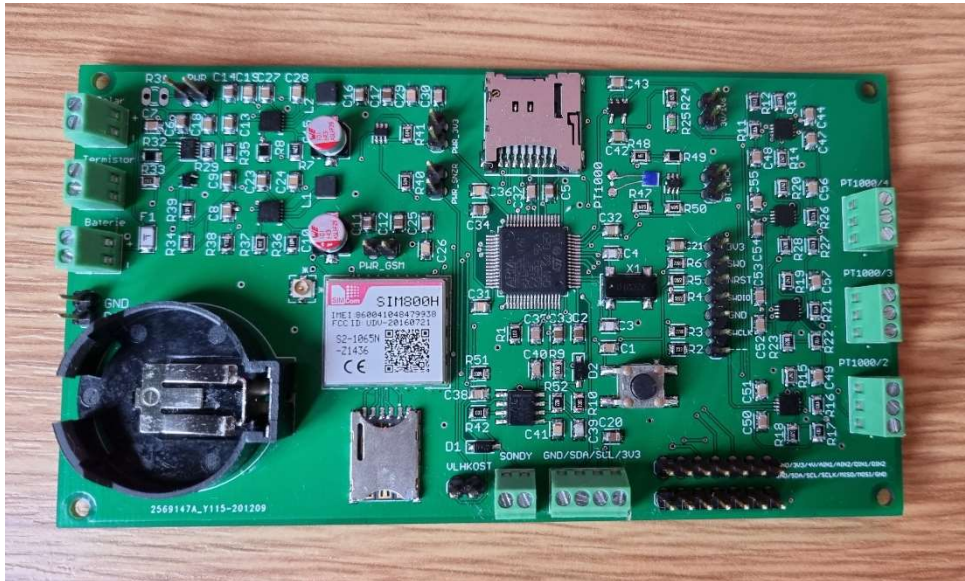
Aby bylo možné zařízení otestovat a naměřit reálná data, musí mít zařízení schránku, ve které bude uloženo. Schránka má rozměr 135 mm × 82 mm × 68 mm. Ve spod schránky je umístěna malá krabička, ke které je přidělaná průchodka pro všechny kabely z PT1000, vlhkoměru a solárního panelu. Prohlubeň zároveň slouží ke kondenzování případné vlhkosti. Baterie jsou uloženy v prostoru pod hlavní deskou, která je posazená na distančních sloupkách. Ve spodní části se také nachází otvor pro anténu. Ze strany je potom otvor pro přidělení k nosné aparatuře, aby schránka nebyla svévolně na zemi. Celou schránku uzavírá víko, přidělané čtyřmi šrouby. Uprostřed víka je pak díra, skrz kterou bude na vodičích přidělaná malá destička se senzory BME280 a BH1750. Senzory se následně uloží do „meteorologického“ komínku, který je přidělaný k horní straně víka. Aby senzor BH1750 měl v komínku přístup ke slunečnímu svitu, vyvrtal jsem do komínku díru a vložil do něj světlovod o průměru 5 mm. Samotný čip jsem pak uložil pokud možno co nejbližší ke světlovodu, aby bylo dosaženo co nejpřesnějšího měření.



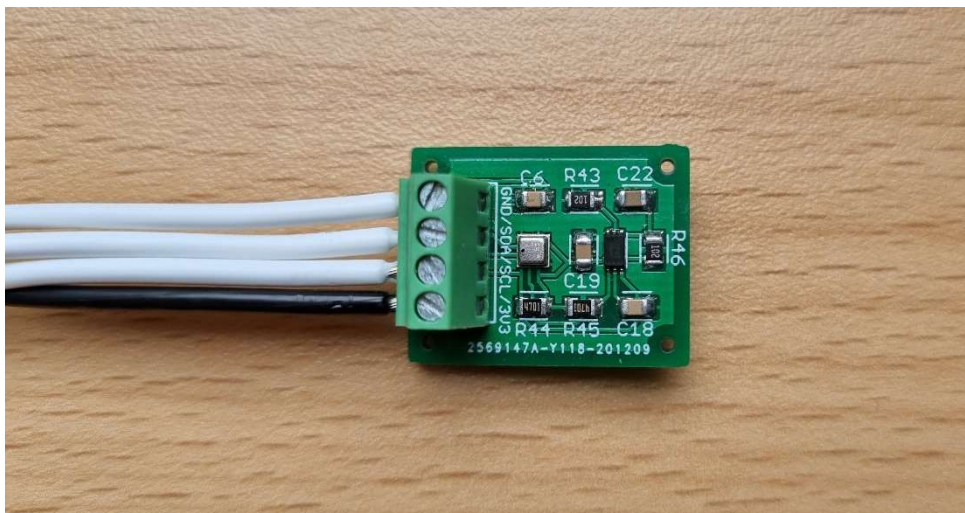
Obrázek 19: Schránka pro zařízení

### 4.3 Realizace zařízení

Všechny odpory a kondenzátory (kromě elektrolytických) jsou velikosti 0805 v imperiálních jednotkách. Jediná pojistka je velikosti 1206 a dvě cívky pro regulátory jsou velikosti 1212. Pouzdra typu WSON a VSON jsem pájel pomocí pájecí pasty a pájecí stanice, kde jsem měl zapnutý spodní ohřev desky. U pouzdra typu LGA jsem si pocínoval desku a poté aplikoval tavidlo a přiložil čip. Nahřívání proběhlo opět ze spodní strany. Elektrolytické kondenzátory a cívky jsem napájel pomocí horkovzdušné pistole. Zbylé součástky jsem napájel hrotovou páječkou.



Obrázek 20: Zrealizované zařízení - hlavní deska



Obrázek 21: Zrealizované zařízení - senzorová deska

## 4.4 Dosažené výsledky

Výsledkem práce je přenosná meteorologická stanice, která je rozšířená o IOT konektivitu. Meteorologická stanice měří teplotu vzduchu, atmosférický tlak, vlhkost vzduchu, intenzitu osvětlení, teplotu půdy (3×) a vlhkost půdy. Zařízení je schopné naměřit potřebná data, uložit je na SD kartu viz příloha D a poslat do databáze thingspeak.com viz příloha E. Zároveň je meteorologická stanice nezávislá na externím zdroji elektrické energie a WiFi signálu, díky čemuž ji lze umístit teoreticky všude. Vytvořená schránka poté umožní efektivní úschovu baterií, zbylých kabelů například od antény a samotnou ochranu zařízení před nepříznivým počasím.

Senzory PT1000 by se mohly dále zpřesnit 4-vodičovým zapojením. Jediný problém nastal s kapacitní sondou vlhkosti půdy. Sonda se chová jako kapacita, která je daná fyzickými rozměry sondy. Jednotlivé elektrody mají jiný rozměr, než pro které byl obvod navržen a to má za následek velké nepřesnosti v měření.

Meteorologická stanice byla testována ve venkovních podmínkách a kromě občasného výpadku signálu na GSM modulu jsem nezaznamenal žádné větší problémy. Problém s anténou by se dal vyřešit buď lepší anténou anebo lepším směrováním samotné antény. Naměřená skutečná spotřeba zařízení se pohybovala okolo hodnoty 820 mWh za den, oproti spočítané 280 mWh. V případě, kdy by nestačily baterie, by se daly do budoucna rozšířit o další paralelně zapojený článěk, popřípadě zapojit větší solární panel. Přibližná cena daného zařízení se solárním panelem, bateriemi a zhotovených desek včetně součástek by se pohybovala okolo 2 500 Kč.



Obrázek 22: Kompletně sestavená meteorologická stanice



## 5 Závěr

Díky bakalářské práci vznikl kompletní návrh a realizace meteorologické stanice. Zařízení je možné rozšířit o další moduly díky vyvedeným konektorům na desce. Vznikl tak základ, který je možné dále zdokonalovat ať už v oblasti battery managementu nebo senzorů jako jsou směr a rychlost větru nebo srážkoměru.

V průběhu práce se vyskytlo pár komplikací, které se mi povedlo vyřešit. Menší problémy jako špatně navržený spoj jsem řešil pomocí drátové propojky. O něco větší problém nastal s GSM modulem, u kterého jsem nezapojil jeden pin. Kvůli pouzdru, ve kterém je obvod schovaný nebylo možné čip sundat a znova připájet, aniž by to ovlivnilo zbytek desky. Problém jsem nakonec vyřešil externím modulem.

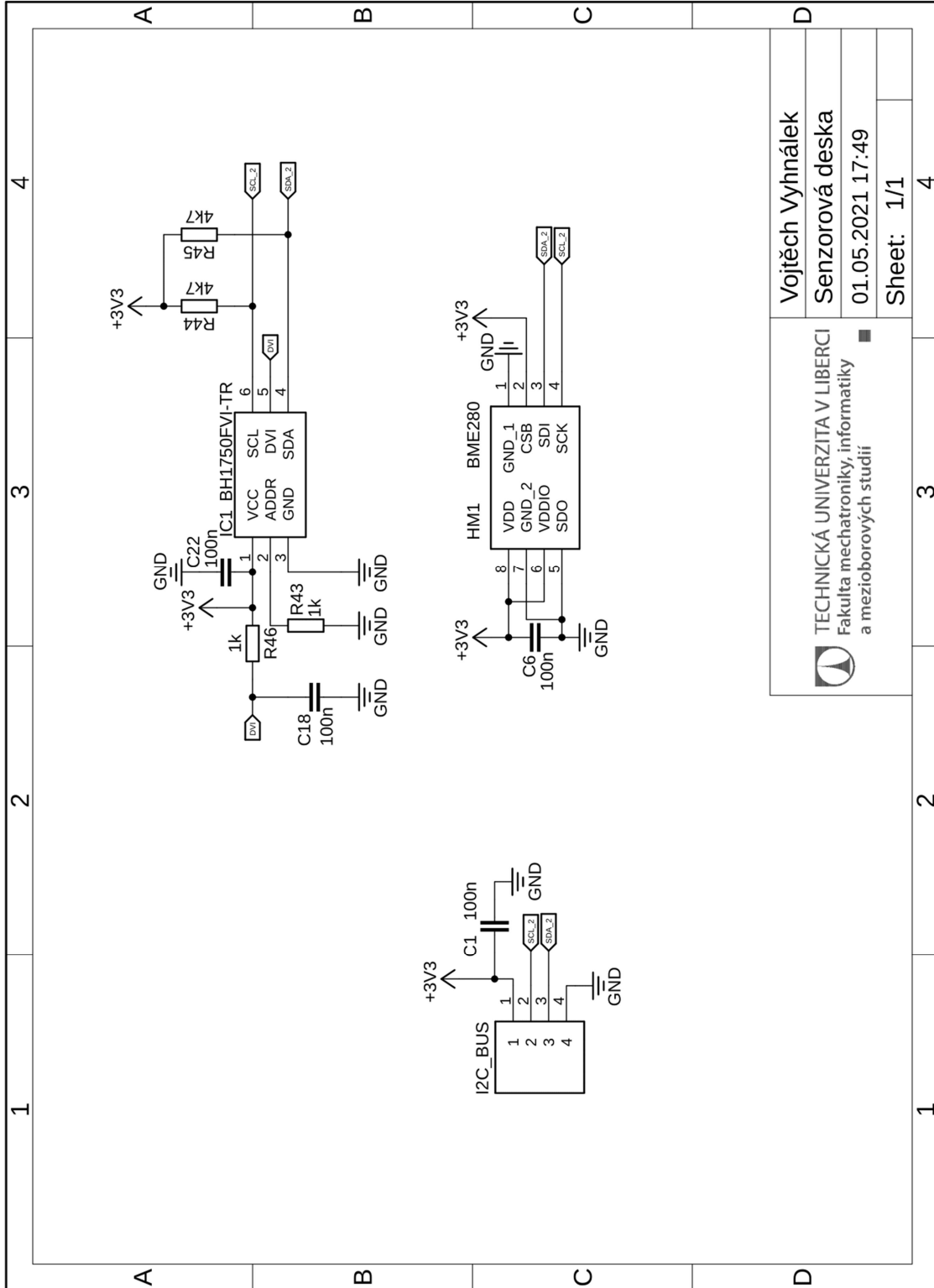
Hlavním přínosem této práce bylo detailní studium analogové a digitální elektroniky, díky čemuž vznikl celý návrh „jádra“ zařízení. Napsaný firmware je možné lehce upravit a nahrát do zařízení a tak popřípadě v budoucnu přidat další funkce v podobě již zmíněných senzorů.


## Použitá literatura

- [1] Solární panely a jak na ně. GM Electronics [online]. Praha [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.522-080.8.pdf>
- [2] Průměrné měsíční doby slunečního svitu ve vybraných lokalitách ČR. Tzb-info.cz [online]. [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/99-prumerne-mesicni-doby-slunecniho-svitu-ve-vybranych-lokalitach-cr>
- [3] Description of STM32L4/L4+ HAL and low-layer drivers. St.com [online]. [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: [https://www.st.com/resource/en/user\\_manual/dm00173145-description-of-stm32l4l4-hal-and-lowlayer-drivers-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00173145-description-of-stm32l4l4-hal-and-lowlayer-drivers-stmicroelectronics.pdf)
- [4] STM32CubeIDE user guide. St.com [online]. [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: [https://www.st.com/resource/en/user\\_manual/dm00629856-stm32cubeide-user-guide-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00629856-stm32cubeide-user-guide-stmicroelectronics.pdf)
- [5] Placidi, P.; Gasperini, L.; Grassi, A.; Cecconi, M.; Scorzoni, A. Characterization of Low-Cost Capacitive Soil Moisture Sensors for IoT Networks. *Sensors* 2020, 20, 3585. <https://doi.org/10.3390/s20123585>
- [6] Datasheety vybraných obvodů.
- [7] Relation Temperature vs. Resistance According to IEC751 / ITS-90. Kongsberg [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: [https://www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/tsiec751\\_ce.pdf](https://www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/tsiec751_ce.pdf)

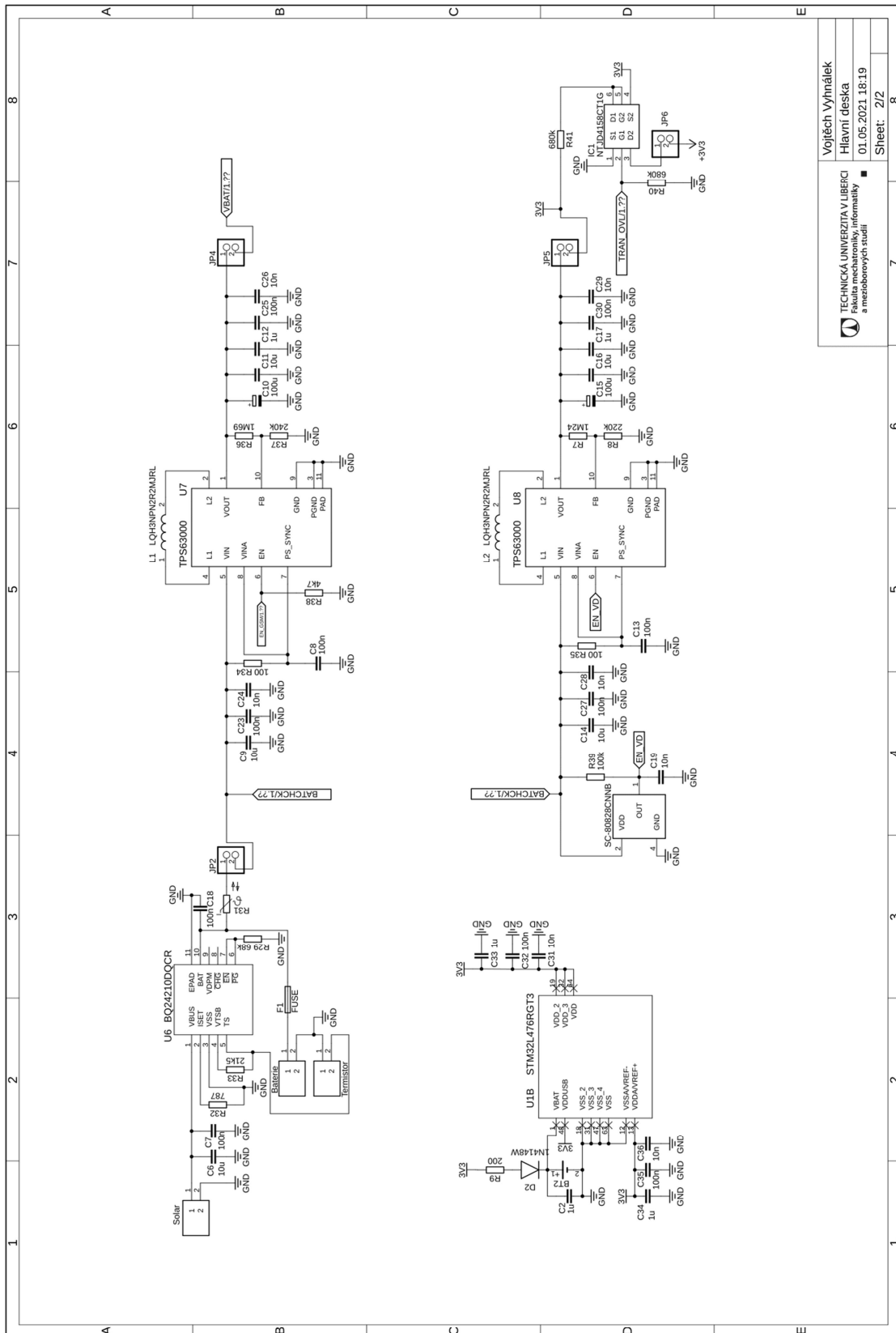
# Přílohy

## A Kompletní schéma sensorové desky

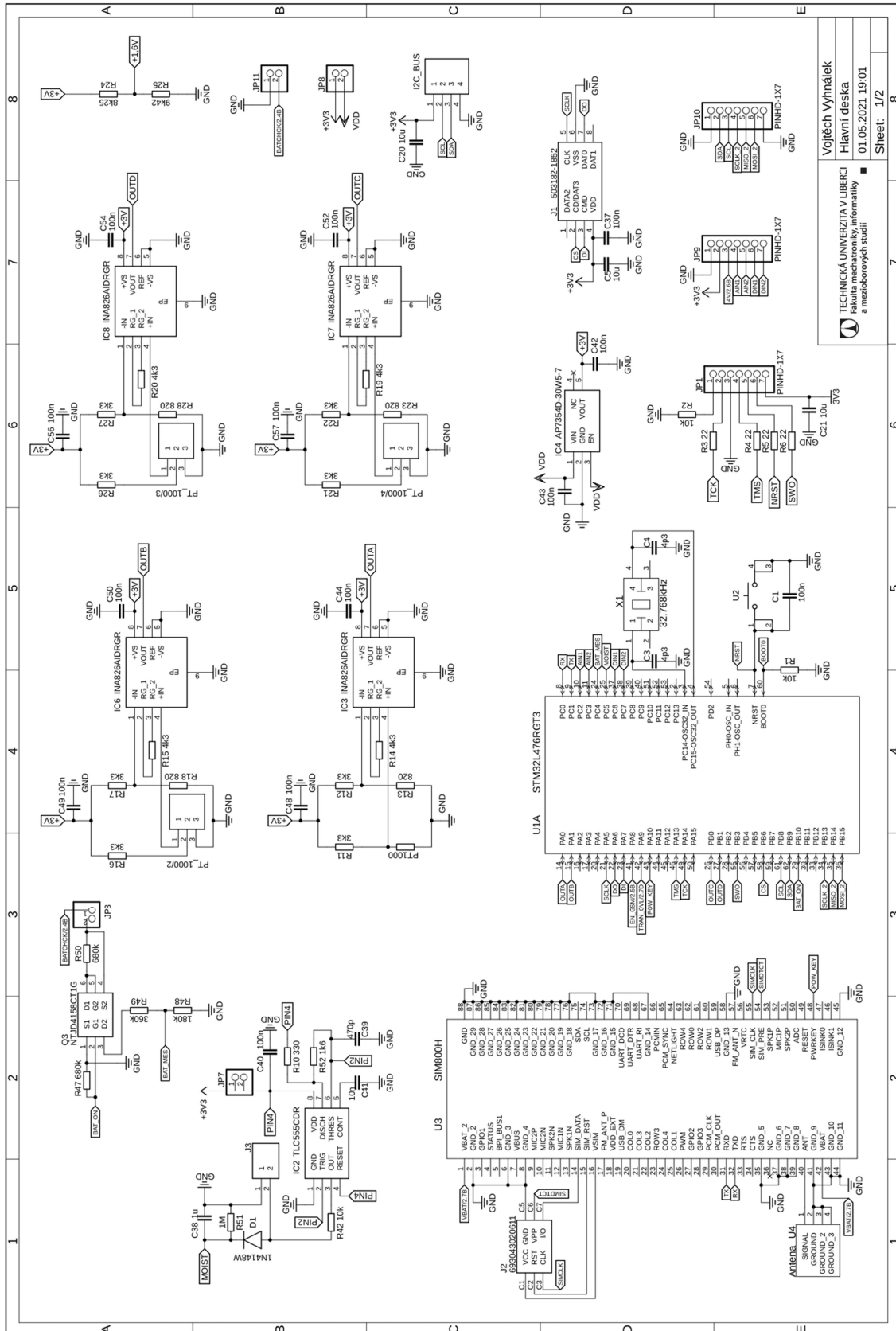


Vojtěch Vyhnaněk		4	
Senzorová deska		4	
01.05.2021 17:49		4	
Sheet: 1/1		4	
 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta mechatroniky, informatiky a mezinárodních studií		3	

# B Kompletní schéma hlavní desky – napájecí část



# C Kompletní schéma hlavní desky – logická část



Vojtěch Vyhnaněk  
Hlavní deska  
01.05.2021 19:01  
Sheet: 1/2

# D Zapsaná data na SD kartě

log file - Pezaminový blok

Soubor Úpravy Ermat Zobrazení Nápořádě

18	30	4	6.5.2021	-	Tlak: 971.50 hPa, Teplota: 11.36 C, Vlhkost: 56.73, Intenzita osvětlení: 4191.67 lx, Pt1000(1): 9.62 C, Pt1000(2): 13.70 C, Pt1000(3): 14.10 C, Pt1000(4): 14.17 C, Vlhkost pudy: 95, Napeti baterie: 97.37
19	30	4	6.5.2021	-	Tlak: 971.61 hPa, Teplota: 8.44 C, Vlhkost: 60.39, Intenzita osvětlení: 464.17 lx, Pt1000(1): 8.71 C, Pt1000(2): 11.73 C, Pt1000(3): 12.10 C, Pt1000(4): 11.35 C, Vlhkost pudy: 95, Napeti baterie: 99.21
20	30	4	6.5.2021	-	Tlak: 971.11 hPa, Teplota: 7.81 C, Vlhkost: 61.81, Intenzita osvětlení: 1.25 lx, Pt1000(1): 7.71 C, Pt1000(2): 10.73 C, Pt1000(3): 10.32 C, Pt1000(4): 9.88 C, Vlhkost pudy: 93, Napeti baterie: 96.84
21	30	4	6.5.2021	-	Tlak: 971.22 hPa, Teplota: 6.74 C, Vlhkost: 70.07, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 6.90 C, Pt1000(2): 9.33 C, Pt1000(3): 10.47 C, Pt1000(4): 10.20 C, Vlhkost pudy: 93, Napeti baterie: 96.58
22	30	4	6.5.2021	-	Tlak: 970.98 hPa, Teplota: 5.93 C, Vlhkost: 78.61, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 6.31 C, Pt1000(2): 9.08 C, Pt1000(3): 8.57 C, Pt1000(4): 8.27 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 97.37
23	30	4	6.5.2021	-	Tlak: 970.24 hPa, Teplota: 5.92 C, Vlhkost: 78.61, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 6.50 C, Pt1000(2): 9.17 C, Pt1000(3): 7.89 C, Pt1000(4): 8.20 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 97.37
0	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 976.24 hPa, Teplota: 5.79 C, Vlhkost: 80.44, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 6.43 C, Pt1000(2): 8.99 C, Pt1000(3): 7.33 C, Pt1000(4): 8.89 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 97.37
1	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 969.45 hPa, Teplota: 5.39 C, Vlhkost: 81.65, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 5.97 C, Pt1000(2): 8.27 C, Pt1000(3): 7.61 C, Pt1000(4): 7.61 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 97.11
2	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 968.98 hPa, Teplota: 5.49 C, Vlhkost: 82.69, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 6.06 C, Pt1000(2): 8.18 C, Pt1000(3): 8.23 C, Pt1000(4): 7.52 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 97.37
3	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 968.82 hPa, Teplota: 5.49 C, Vlhkost: 83.86, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 5.81 C, Pt1000(2): 7.94 C, Pt1000(3): 7.27 C, Pt1000(4): 6.96 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 97.37
4	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 969.13 hPa, Teplota: 5.08 C, Vlhkost: 84.66, Intenzita osvětlení: 0.67 lx, Pt1000(1): 5.53 C, Pt1000(2): 7.93 C, Pt1000(3): 7.49 C, Pt1000(4): 7.36 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 96.84
5	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 976.26 hPa, Teplota: 5.07 C, Vlhkost: 85.36, Intenzita osvětlení: 209.58 lx, Pt1000(1): 5.44 C, Pt1000(2): 7.96 C, Pt1000(3): 6.96 C, Pt1000(4): 7.33 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 97.37
6	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 976.96 hPa, Teplota: 5.38 C, Vlhkost: 85.76, Intenzita osvětlení: 145.38 lx, Pt1000(1): 5.50 C, Pt1000(2): 7.22 C, Pt1000(3): 7.57 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 97.37
7	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 971.85 hPa, Teplota: 5.89 C, Vlhkost: 84.77, Intenzita osvětlení: 7584.36 lx, Pt1000(1): 6.33 C, Pt1000(2): 8.73 C, Pt1000(3): 8.37 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 97.37
8	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 971.85 hPa, Teplota: 5.89 C, Vlhkost: 84.77, Intenzita osvětlení: 7584.36 lx, Pt1000(1): 6.33 C, Pt1000(2): 8.73 C, Pt1000(3): 8.37 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 97.37
9	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 971.85 hPa, Teplota: 5.89 C, Vlhkost: 84.77, Intenzita osvětlení: 7584.36 lx, Pt1000(1): 6.33 C, Pt1000(2): 8.73 C, Pt1000(3): 8.37 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 97.37
10	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 973.96 hPa, Teplota: 12.06 C, Vlhkost: 75.71, Intenzita osvětlení: 01912.58 lx, Pt1000(1): 10.65 C, Pt1000(2): 14.36 C, Pt1000(3): 15.43 C, Pt1000(4): 14.13 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 96.32
11	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 973.92 hPa, Teplota: 12.41 C, Vlhkost: 75.45, Intenzita osvětlení: 27396.25 lx, Pt1000(1): 10.65 C, Pt1000(2): 14.36 C, Pt1000(3): 15.43 C, Pt1000(4): 14.13 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 96.02
12	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 974.31 hPa, Teplota: 33.94 C, Vlhkost: 35.45, Intenzita osvětlení: 27396.25 lx, Pt1000(1): 10.65 C, Pt1000(2): 14.36 C, Pt1000(3): 15.43 C, Pt1000(4): 14.13 C, Vlhkost pudy: 93, Napeti baterie: 94.72
13	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 975.51 hPa, Teplota: 18.91 C, Vlhkost: 30.80, Intenzita osvětlení: 27396.25 lx, Pt1000(1): 10.65 C, Pt1000(2): 14.36 C, Pt1000(3): 15.43 C, Pt1000(4): 14.13 C, Vlhkost pudy: 93, Napeti baterie: 97.89
14	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 976.48 hPa, Teplota: 13.03 C, Vlhkost: 44.80, Intenzita osvětlení: 11107.92 lx, Pt1000(1): 13.58 C, Pt1000(2): 19.21 C, Pt1000(3): 20.86 C, Pt1000(4): 17.28 C, Vlhkost pudy: 94, Napeti baterie: 97.63
15	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 977.19 hPa, Teplota: 11.63 C, Vlhkost: 46.12, Intenzita osvětlení: 4420.83 lx, Pt1000(1): 12.32 C, Pt1000(2): 15.47 C, Pt1000(3): 17.98 C, Pt1000(4): 16.48 C, Vlhkost pudy: 93, Napeti baterie: 98.45
16	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 977.83 hPa, Teplota: 10.77 C, Vlhkost: 53.69, Intenzita osvětlení: 7062.08 lx, Pt1000(1): 11.56 C, Pt1000(2): 14.76 C, Pt1000(3): 15.28 C, Pt1000(4): 10.79 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 97.63
17	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 978.28 hPa, Teplota: 9.85 C, Vlhkost: 50.88, Intenzita osvětlení: 3229.58 lx, Pt1000(1): 10.53 C, Pt1000(2): 13.79 C, Pt1000(3): 14.18 C, Pt1000(4): 17.41 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 97.63
18	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 978.28 hPa, Teplota: 7.77 C, Vlhkost: 50.86, Intenzita osvětlení: 697.92 lx, Pt1000(1): 8.62 C, Pt1000(2): 12.07 C, Pt1000(3): 11.75 C, Pt1000(4): 11.19 C, Vlhkost pudy: 91, Napeti baterie: 98.68
19	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 980.20 hPa, Teplota: 5.74 C, Vlhkost: 62.40, Intenzita osvětlení: 482.08 lx, Pt1000(1): 6.81 C, Pt1000(2): 12.07 C, Pt1000(3): 9.48 C, Pt1000(4): 8.92 C, Vlhkost pudy: 91, Napeti baterie: 98.42
20	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 981.53 hPa, Teplota: 5.74 C, Vlhkost: 65.66, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 6.22 C, Pt1000(2): 7.93 C, Pt1000(3): 7.92 C, Pt1000(4): 7.46 C, Vlhkost pudy: 91, Napeti baterie: 98.68
21	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 982.30 hPa, Teplota: 3.62 C, Vlhkost: 69.62, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 4.57 C, Pt1000(2): 7.19 C, Pt1000(3): 7.27 C, Pt1000(4): 6.31 C, Vlhkost pudy: 91, Napeti baterie: 98.68
22	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 983.00 hPa, Teplota: 1.55 C, Vlhkost: 74.35, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 2.49 C, Pt1000(2): 5.79 C, Pt1000(3): 4.52 C, Pt1000(4): 4.43 C, Vlhkost pudy: 90, Napeti baterie: 96.84
23	30	4	7.5.2021	-	Tlak: 983.43 hPa, Teplota: 0.64 C, Vlhkost: 77.48, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 1.44 C, Pt1000(2): 3.39 C, Pt1000(3): 4.21 C, Pt1000(4): 4.36 C, Vlhkost pudy: 90, Napeti baterie: 97.11
0	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 983.74 hPa, Teplota: 1.55 C, Vlhkost: 79.89, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 1.90 C, Pt1000(2): 4.10 C, Pt1000(3): 3.71 C, Pt1000(4): 2.70 C, Vlhkost pudy: 90, Napeti baterie: 96.58
1	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 983.91 hPa, Teplota: 0.57 C, Vlhkost: 81.03, Intenzita osvětlení: 126.67 lx, Pt1000(1): 1.40 C, Pt1000(2): 3.94 C, Pt1000(3): 2.61 C, Pt1000(4): 2.76 C, Vlhkost pudy: 90, Napeti baterie: 97.37
2	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 984.08 hPa, Teplota: 0.16 C, Vlhkost: 82.35, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 1.70 C, Pt1000(2): 3.30 C, Pt1000(3): 2.14 C, Pt1000(4): 2.18 C, Vlhkost pudy: 90, Napeti baterie: 96.58
3	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 984.03 hPa, Teplota: 0.35 C, Vlhkost: 84.08, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 0.58 C, Pt1000(2): 1.27 C, Pt1000(3): 1.16 C, Pt1000(4): 1.17 C, Vlhkost pudy: 89, Napeti baterie: 96.84
4	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 984.39 hPa, Teplota: -0.06 C, Vlhkost: 85.19, Intenzita osvětlení: 2599.17 lx, Pt1000(1): 0.30 C, Pt1000(2): 2.53 C, Pt1000(3): 1.62 C, Pt1000(4): 2.27 C, Vlhkost pudy: 89, Napeti baterie: 96.84
5	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 984.55 hPa, Teplota: 0.38 C, Vlhkost: 86.00, Intenzita osvětlení: 5491.25 lx, Pt1000(1): 1.43 C, Pt1000(2): 4.03 C, Pt1000(3): 4.45 C, Pt1000(4): 4.64 C, Vlhkost pudy: 89, Napeti baterie: 96.32
6	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 984.83 hPa, Teplota: 5.22 C, Vlhkost: 83.57, Intenzita osvětlení: 940.83 lx, Pt1000(1): 4.13 C, Pt1000(2): 10.17 C, Pt1000(3): 11.16 C, Pt1000(4): 16.15 C, Vlhkost pudy: 90, Napeti baterie: 95.53
7	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 985.14 hPa, Teplota: 18.43 C, Vlhkost: 63.71, Intenzita osvětlení: 7541.25 lx, Pt1000(1): 13.11 C, Pt1000(2): 22.00 C, Pt1000(3): 25.23 C, Pt1000(4): 28.21 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 92.11
8	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 984.88 hPa, Teplota: 25.46 C, Vlhkost: 34.71, Intenzita osvětlení: 27306.25 lx, Pt1000(1): 22.03 C, Pt1000(2): 22.00 C, Pt1000(3): 25.23 C, Pt1000(4): 28.21 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 97.11
9	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 984.88 hPa, Teplota: 24.73 C, Vlhkost: 28.23, Intenzita osvětlení: 2697.67 lx, Pt1000(1): 25.98 C, Pt1000(2): 28.72 C, Pt1000(3): 31.73 C, Pt1000(4): 31.08 C, Vlhkost pudy: 93, Napeti baterie: 92.11
10	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 984.95 hPa, Teplota: 23.50 C, Vlhkost: 29.52, Intenzita osvětlení: 27396.25 lx, Pt1000(1): 25.98 C, Pt1000(2): 28.72 C, Pt1000(3): 31.73 C, Pt1000(4): 31.08 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 96.05
11	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 984.34 hPa, Teplota: 20.91 C, Vlhkost: 27.91, Intenzita osvětlení: 27396.25 lx, Pt1000(1): 21.23 C, Pt1000(2): 23.91 C, Pt1000(3): 26.22 C, Pt1000(4): 24.20 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 97.63
12	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 984.04 hPa, Teplota: 19.37 C, Vlhkost: 28.43, Intenzita osvětlení: 21202.92 lx, Pt1000(1): 21.04 C, Pt1000(2): 23.69 C, Pt1000(3): 25.73 C, Pt1000(4): 25.83 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 98.16
13	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 983.00 hPa, Teplota: 13.35 C, Vlhkost: 33.41, Intenzita osvětlení: 18510.00 lx, Pt1000(1): 24.98 C, Pt1000(2): 23.69 C, Pt1000(3): 27.06 C, Pt1000(4): 26.00 C, Vlhkost pudy: 92, Napeti baterie: 98.42
14	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 985.15 hPa, Teplota: 16.95 C, Vlhkost: 30.25, Intenzita osvětlení: 12374.58 lx, Pt1000(1): 18.30 C, Pt1000(2): 20.25 C, Pt1000(3): 22.16 C, Pt1000(4): 20.73 C, Vlhkost pudy: 91, Napeti baterie: 99.74
15	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 982.60 hPa, Teplota: 15.60 C, Vlhkost: 34.51, Intenzita osvětlení: 9990.00 lx, Pt1000(1): 14.78 C, Pt1000(2): 17.85 C, Pt1000(3): 19.62 C, Pt1000(4): 18.07 C, Vlhkost pudy: 91, Napeti baterie: 98.95
16	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 982.29 hPa, Teplota: 12.85 C, Vlhkost: 37.27, Intenzita osvětlení: 9057.92 lx, Pt1000(1): 13.04 C, Pt1000(2): 16.48 C, Pt1000(3): 15.96 C, Pt1000(4): 15.55 C, Vlhkost pudy: 90, Napeti baterie: 98.68
17	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 981.94 hPa, Teplota: 12.85 C, Vlhkost: 38.27, Intenzita osvětlení: 2827.08 lx, Pt1000(1): 12.35 C, Pt1000(2): 15.46 C, Pt1000(3): 15.96 C, Pt1000(4): 14.35 C, Vlhkost pudy: 96, Napeti baterie: 98.95
18	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 981.55 hPa, Teplota: 11.93 C, Vlhkost: 40.87, Intenzita osvětlení: 1669.58 lx, Pt1000(1): 11.38 C, Pt1000(2): 13.32 C, Pt1000(3): 13.54 C, Pt1000(4): 14.86 C, Vlhkost pudy: 90, Napeti baterie: 97.63
19	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 981.55 hPa, Teplota: 10.39 C, Vlhkost: 45.07, Intenzita osvětlení: 132.92 lx, Pt1000(1): 10.09 C, Pt1000(2): 12.44 C, Pt1000(3): 13.54 C, Pt1000(4): 12.44 C, Vlhkost pudy: 89, Napeti baterie: 97.63
20	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 981.55 hPa, Teplota: 9.75 C, Vlhkost: 47.58, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 9.29 C, Pt1000(2): 11.42 C, Pt1000(3): 12.29 C, Pt1000(4): 12.10 C, Vlhkost pudy: 89, Napeti baterie: 97.63
21	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 981.30 hPa, Teplota: 9.75 C, Vlhkost: 48.12, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 9.27 C, Pt1000(2): 10.36 C, Pt1000(3): 11.79 C, Pt1000(4): 10.76 C, Vlhkost pudy: 89, Napeti baterie: 97.11
22	30	4	8.5.2021	-	Tlak: 981.24 hPa, Teplota: 9.18 C, Vlhkost: 49.96, Intenzita osvětlení: 0.00 lx, Pt1000(1): 8.59 C, Pt1000(2): 10.14 C, Pt1000(3): 10.26 C, Pt1000(4): 10.84 C, Vlhkost pudy: 88, Napeti baterie: 95.00

# E Snímek z databáze thingspeak.com

