VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2019 Petr Mlčák

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ VÝŠKY HLADINY
DEVICE FOR MEASURING FLUID LEVEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Petr Mlčák
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Pavel Sikora
SUPERVISOR

BRNO 2019

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Teleinformatika**
Ústav telekomunikací

Student: Petr Mlčák ***ID:*** 195609
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Zařízení pro měření výšky hladiny

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nastudujte metody elektronického měření výšky hladiny v podzemních nádržích. Metody teoreticky popište a pro alespoň jednu z možností navrhněte a realizujte funkční zařízení umožňující měření výšky hladiny (množství vody) v nádrži daných rozměrů. Zařízení bude umožňovat zobrazení naměřené hodnoty s požadavkem na nízkou spotřebu z důvodu napájení z baterie a dlouhodobého provozu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MONK, S. Programming Arduino: Getting Started with Sketches, 1. vyd. New York: McGraw-Hill, 2011.

[2] MANN, B. C pro mikrokontroléry. BEN - technická literatura, Praha 2003

Termín zadání: 1.2.2019 ***Termín odevzdání:*** 27.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Pavel Sikora
Konzultant:

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:
Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem zařízení pro měření výšky hladiny v podzemních nádržích napájeného z baterií. Zařízení bude umožňovat konfiguraci pro nastavení periody měření a odesílání dat na cloud. Dále bude schopno odesílat varovné emaily v případě dosažení nízkého napětí napájecích baterií nebo při naměření výšky hladiny mimo požadovaný rozsah nastavený uživatelem. V teoretické části jsou obsaženy některé v dnešní době používané metody pro měření výšky vodního sloupce. Tato část obsahuje i stručný popis některých sběrnic a protokolů, které zařízení využívá při své činnosti. Další částí je návrh a následná realizace zařízení. V této části jsou popsány některé použité komponenty, je zde proveden rozbor některých částí software a také návrh a realizace hardwarové části včetně finálního provedení výsledného zařízení.

KLÍČOVÁ SLOVA

hladinoměr, zařízení pro měření výšky hladiny, cloud, WiFi, ESP8266, Attiny85, bateriový provoz

ABSTRACT

Thesis focuses on device design and realization of battery powered fluid level meter with intended use in underground tanks. Device can be configured to set the measurement and send data to cloud periods. Device is able to send warning emails if low battery voltage is detected and also send warning emails if measured water level is outside the range set by user. Theoretical part focuses on some of nowadays used measurement methods used in water level measurement. This part also includes a brief description of bus and protocols used by final device. Next part is about design and realization of device. In this part are described some used components, analyzed some parts of software and also design and realization of hardware including final design of device.

KEYWORDS

fluid level meter, device for measuring fluid level, cloud, WiFi, ESP8266, Attiny85, battery operation

MLČÁK, Petr. *Zařízení pro měření výšky hladiny*. Brno, 2019, 59 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce: Ing. Pavel Sikora

Vysázeno pomocí balíčku `thesis` verze 3.03; `http://latex.feec.vutbr.cz`

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Zařízení pro měření výšky hladiny“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno ....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Pavlu Sikorovi za odborné vedení, konzultace, metodickou pomoc a podnětné návrhy k práci.

Brno ....

podpis autora

Obsah

Úvod **11**

1 Měření výšky hladiny **12**
1.1 Kritéria při výběru senzorů . . . 12
1.2 Jednoduché indikátory hladiny . . . 13
1.2.1 Ponorná tyč . . . 13
1.2.2 Průhledítka a stavoznaky . . . 13
1.2.3 Magnetické stavoznaky . . . 13
1.3 Tlakové hladinoměry . . . 14
1.3.1 Ponorné snímače . . . 14
1.3.2 Statické snímače . . . 15
1.4 Ultrazvukové hladinoměry . . . 15

2 Systémy přenosu informací **18**
2.1 Komunikace v rámci zařízení . . . 18
2.1.1 Sběrnice I2C . . . 18
2.1.2 Sběrnice SPI . . . 19
2.2 Komunikace s IoT cloudem . . . 20
2.2.1 WiFi . . . 20
2.2.2 HTTP . . . 21

3 Návrh zařízení **22**
3.1 Funkcionalita zařízení . . . 22
3.1.1 Konfigurace zařízení . . . 22
3.1.2 Zobrazení naměřených dat . . . 22
3.1.3 Nabíjení baterie . . . 23
3.2 Použité komponenty . . . 23
3.2.1 Senzor . . . 23
3.2.2 Mikrokontrolér . . . 23
3.2.3 Displej . . . 24
3.2.4 Hodiny reálného času . . . 25
3.2.5 Monostabilní klopný obvod . . . 25
3.2.6 Měnič napětí . . . 26
3.2.7 Attiny . . . 26
3.3 Programová realizace . . . 26
3.3.1 Použité knihovny . . . 26
3.3.2 Konfigurace . . . 27

3.3.3 Měření . . . 28
3.3.4 Ukládání naměřených dat . . . 29
3.3.5 Odesílání naměřených dat na cloud . . . 30
3.3.6 Odesílání emailů . . . 33
3.4 Hardwarová realizace . . . 33
3.4.1 Napájecí baterie . . . 33
3.4.2 Nabíjecí obvod . . . 33
3.4.3 Měnič napětí . . . 35
3.4.4 Stabilizátory . . . 36
3.4.5 Nahrávání software . . . 37
3.4.6 Měření napětí baterie . . . 37
3.4.7 Návrh a výroba DPS . . . 38
3.5 Výsledné zařízení . . . 39
3.5.1 Senzor . . . 39
3.5.2 Hlavní část . . . 40
3.6 Spotřeba zařízení . . . 41
3.6.1 Mikrokontrolér . . . 41
3.6.2 Displej . . . 41
3.6.3 Monostabilní klopný obvod . . . 42
3.6.4 Hodiny reálného času . . . 42
3.6.5 Měnič napětí . . . 42
3.6.6 Výpočty spotřeby . . . 42
3.6.7 Naměřená spotřeba . . . 43

4 Test funkčnosti zařízení **44**

5 Závěr **47**

Literatura **48**

Seznam symbolů, veličin a zkratek **51**

Seznam příloh **52**

A Schémata zapojení **53**

B Návod k používání zařízení **56**
B.1 Vytvoření účtu na Thingspeak . . . 56
B.2 Založení emailového účtu . . . 56
B.3 Konfigurace zařízení . . . 56
B.4 Manuální měření . . . 58

Seznam obrázků

1.1 Ponorný snímač hladiny [2]. 15
1.2 Princip měření ultrazvukem. 16
1.3 Ultrazvukový snímač hladiny [2]. 17
2.1 Příklad zapojení I2C [3]. 18
2.2 Příklad zapojení SPI [4]. 19
3.1 Senzor. 24
3.2 Mikrokontrolér. 24
3.3 Displej. 25
3.4 Konfigurační stránka. 27
3.5 Napájecí baterie. 34
3.6 Odpojování měniče. 36
3.7 Měření napětí baterie. 37
3.8 Osazená DPS s Attiny, horní strana. 38
3.9 Osazená DPS s Attiny, spodní strana. 38
3.10 Osazená DPS. 39
3.11 Osazený senzor. 40
3.12 Vnější pohled na zařízení. 40
3.13 Vnitřní pohled na zařízení. 41
4.1 Zobrazení konfiguračních informací. 44
4.2 Naměřená hodnota. 45
4.3 Zobrazení naměřených hodnot. 45
4.4 Graf naměřených hodnot. 46
A.1 Zapojení hlavní části. 53
A.2 Zapojení stabilizátoru 3,3 V. 54
A.3 Zapojení nabíjecího obvodu. 54
A.4 Zapojení měniče napětí. 54
A.5 Zapojení RS-485 převodníku. 55
A.6 Zapojení Attiny, RS485 a stabilizátoru. 55
B.1 Konfigurace. 57
B.2 Channel ID a API klíč. 58

Seznam výpisů

3.1 Přijímání naměřených dat 28
3.2 Formátování dat 30
3.3 Zapisování dat 30
3.4 Načítání dat 31
3.5 Výmaz dat 32

Úvod

V dnešní době nejsou dostupná levná zařízení pro měření výšky hladiny pro rodinné domy a malé firmy. Nejlevnější typy navíc mnohdy umožňují pouze měření se zobrazením přímo na displeji bez možnosti zobrazení historie naměřených dat v delším časovém horizontu. Průmyslové typy jsou pak především z důvodu velmi vysoké ceny nevhodné pro použití ve většině domácností i malých firem.

Tato práce se věnuje návrhu a realizaci zařízení pro měření výšky hladiny v podzemních nádržích. Výška hladiny je měřena pomocí senzoru hydrostatického tlaku, převedena na digitální signál a odeslána prostřednictvím standardu RS-485 do mikrokontroléru k vyhodnocení. Změřené údaje o výšce vodního sloupce jsou odesílány na cloud. Naměřená data lze následně zobrazit dvěma způsoby. Prvním způsobem je využití integrovaného displeje zařízení. Druhým způsobem je možnost zobrazit si naměřená data i jejich historii s využitím cloudu. Zařízení je rovněž možno konfigurovat, nastavit si požadovanou periodu měření a odesílání dat, dále lze nakonfigurovat zasílání emailů v případě dosažení požadovaného minima nebo maxima. Umožněn je také plně bateriový provoz. Baterie je možno nabíjet připojením běžné nabíječky mobilních telefonů s vysoce rozšířeným konektorem microUSB.

Práce je rozdělena do čtyř částí. V první části je proveden rozbor problematiky měření hladiny. Jsou zde popsány jednotlivé metody měření, které jsou v dnešní době využívány. Uvedena jsou některá úskalí jednotlivých metod, stejně jako jejich výhody. V další části jsou vybrány některé komponenty potřebné k realizaci zařízení. Ve třetí části jsou stručně popsány některé části programové realizace. Poslední částí je návrh zařízení včetně návrhu DPS a zahrnuty jsou i výpočty očekávané spotřeby baterie včetně naměřené spotřeby.

1 Měření výšky hladiny

Měření hladiny se v praxi používá k detekci vodních úrovní řek, přehrad, různých typů nádrží apod. Slouží také k optimalizaci využití nádrží, hlídání výšky vody proti přetečení, nebo např. detekci úniků látek. Měřené médium však nemusí být jen v kapalném skupenství, ale i pevném. Na přesnost složitější měření slouží například ke zpřesnění dávkování přísad ve výrobě, inventárním a fakturačním měřením, nebo ke zlepšení managementu zásob [1]. Tato kapitola se bude nadále zabývat metodami pro měření výšky hladiny kapalin, především vody.

1.1 Kritéria při výběru senzorů

U jednotlivých senzorů je důležitá jejich přesnost. Ta je obvykle specifikována výrobcem. Ten ji ale obvykle určuje odvozeným způsobem, z čehož pramení některé problémy. U tlakových senzorů výrobce provádí kalibraci obvykle tlakem vzduchu. V radarových a ultrazvukových snímačích zase měřením proti pevné překážce, typicky proti zdi. Tato udávaná přesnost je proto obvykle zaručena jen v laboratorních podmínkách a v reálném prostředí se může výrazně zhoršit, například při změně hustoty měřeného média u tlakových senzorů, nebo například při tvorbě pěny na hladině kapaliny, což má naopak nepříznivý vliv na přesnost ultrazvukových senzorů [1].

Další věcí, na kterou je zapotřebí si při volbě senzoru dát pozor, je prostor. Volba nevhodného senzoru, který je příliš rozměrný pro daný prostor, může být v konečné fázi montáže fatální. Potřeba je zohlednit i vnitřní uspořádání dané nádoby, kde mohou být různé přepážky, vzpěry, madla nebo výklenky. Ty mohou následně zhoršit přesnost měření nebo způsobit jeho úplnou nefunkčnost, v případě že zastíní pracovní prostor snímačů, typicky například ultrazvukových nebo radarových [1].

V případě měření výbušných kapalin, které se nacházejí zejména v chemickém a petrochemickém průmyslu, je zapotřebí zavést některá opatření. Lze se zde setkat s pojmem jiskrová bezpečnost [1]. Prakticky to znamená, že daný senzor nebo zařízení musí být konstrukčně navržen tak, aby nevyužíval ke své činnosti napětí, které by bylo schopno jiskrou zapálit těkavé páry v atmosféře [1].

Senzor by dále měl disponovat určitým stupněm ochrany proti vlhkosti a vniknutí částic (IP). Jelikož senzory hladiny často pracují v extrémně vlhkém nebo prašném prostředí, obvykle disponují krytím IP67, což je maximální ochrana vůči nebezpečnému dotyku, vniknutí pevných částic a vody [1].

Může se vyskytnout požadavek na měření hladiny v uzavřených tlakových nádobách. Jelikož tlakové nádoby zpravidla musí procházet pravidelnou tlakovou zkouškou při tlaku vyšším než provozním, je zapotřebí použít senzor, který daný maximální tlak vydrží, nebo musí umožňovat snadnou demontáž [1].

1.2 Jednoduché indikátory hladiny

1.2.1 Ponorná tyč

Úplně nejjednodušším a snad i vůbec nejstarším nástrojem pro měření výšky hladiny je ponorná tyč. I v dnešní době se můžeme setkat s měrnými stupnicemi umístěnými na břehu řek. Mírně odlišnou, avšak asi nejvíce rozšířenou variantou, je svislá měrná tyč obvykle uchycená k provázku. Tyč se spustí do média a po následném vytažení obsluhou se zkoumá délka smočené části. Tato zdánlivě primitivní metoda má však své využití i v automobilech, kde se stále ještě využívá k rychlé kontrole stavu motorového oleje [1].

1.2.2 Průhledítka a stavoznaky

Měření hladiny pomocí průhledítek a stavoznaků rovněž patří k jednoduchým indikátorům hladiny. Jedná se typicky o prosklený průzor ve stěně nádoby. Skrz něj můžeme pozorovat aktuální hladinu kapaliny. Takovéto průzory obvykle mají z konstrukčních důvodů omezenou velikost. Tudíž je mnohdy zapotřebí vybavit danou nádobu hned několika stavoznaky pro pokrytí požadovaného rozsahu měření. Alternativou může být použití externích stavoznaků, které mohou být tvořené skleněnou trubicí, nebo kovovou trubicí s průzorem podobným tomu přímo ve stěně nádoby. Externí stavoznaky mohou být připojeny přes pojistné ventily minimalizující únik kapaliny v případě prasknutí skla. Nejsou však vhodné pro kapaliny s vyšším obsahem pevných částic, které mohou způsobit ucpání přívodních ventilů [1].

1.2.3 Magnetické stavoznaky

K jednoduchým indikátorům lze zařadit i magnetické stavoznaky. U tohoto typu indikátorů je hladina kapaliny snímána v plovákové komoře spojené s nádobou. Plovák umístěný v komoře je vybaven permanentním magnetem. Při jeho pohybu se současně jeho poloha přenáší magnetickou vazbou na indikátor v odděleném prostoru. Z toho pramení výhoda, že indikátor nemusí být hermeticky uzavřen, jelikož není ve společném prostoru s kapalinou. Další výhodou je možnost měření i kapalin tvořících neprůhledné usazeniny, což není možné u klasických stavoznaků. Ukazatel může „sledovat“ polohu plováku pomocí magnetické vazby. Častěji je ale využíváno provedení, kdy je řada magnetů zbarvena z obou stran odlišnou barvou. Následně při stoupání plováku dochází k překlápění magnetů do aktivní polohy, v které setrvávají dokud plovák neklesne. Výška hladiny je signalizována místem, kde jsou sousední magnety rozdílné barvy [1].

1.3 Tlakové hladinoměry

Měření hladiny pomocí tlakových hladinoměrů je poměrně rozšířený způsob zjišťování úrovně hladiny. Tvoří téměř polovinu všech používaných hladinoměrů v průmyslu. Fungují na principu měření hydrostatického tlaku. Kapalina svou tíhou vyvíjí hydrostatický tlak

$$P = h \cdot \rho \cdot \mathrm{g}, \tag{1.1}$$

kde h je hloubka pod hladinou v metrech, ρ hustota kapaliny v $\mathrm{kg/m^3}$ a g tíhové zrychlení, které je na Zemi přibližně $9,81\ \mathrm{m.s^{-2}}$ [1].

Jelikož tlak působí do všech stran, je možné ho měřit libovolně orientovaným tlakovým čidlem. Senzory jsou obvykle zabudovány přímo do stěny nádoby, nebo mohou být spuštěny do kapaliny z prostoru nad nádobou – ponorné snímače. Ze vztahu (1.1) vyplývá, že hydrostatický tlak závisí nejen na hloubce kapaliny, ale i na její hustotě. V případě, že by byla měřena kapalina s proměnnou hustotou (např. ve vyhnívacích nádržích čistíren odpadních vod), bude zapotřebí s tímto faktorem počítat, jelikož hladina v nádrži může značně stoupnout při zachování konstantního tlaku. Tíhové zrychlení lze považovat za konstantní [1].

Snímače tohoto typu jsou relativně jednoduché, schopné měřit i silně znečistěné kapaliny, nevadí jim pěna na hladině ani usazeniny na dně nádoby. Běžně dosažitelná přesnost těchto hladinoměrů je v řádu několika centimetrů. Ovlivňovat ji však mohou některé faktory, jako nepřesnosti při určení hustoty kapaliny, teplotní vlivy nebo vlastní nepřesnost senzoru [1].

Měření tímto způsobem můžeme rozdělit na dva základní typy:

- měření v otevřených (atmosférických) nádobách
- měření v uzavřených (tlakových) nádobách.

U obou typů měření se obvykle využívá diferenčních snímačů tlaku. V atmosférických nádobách stačí měřit tlak u dna nádoby jako nárůst vůči barometrickému tlaku atmosféry. Nízkotlaké připojení je pak otevřeno do atmosféry. V tlakových nádobách je pak nutné měřit diferenční tlak mezi dnem nádoby a prostorem par nad hladinou. Lze využít i dvou oddělených snímačů absolutního tlaku a tlakovou diferenci vyhodnotit výpočtem, to ale obvykle vede k znehodnocení přesnosti měření špatným využitím měřícího rozsahu a kumulací nejistot [1]. Dále budou uvedeny pouze snímače užívané k měření v atmosférických nádobách.

1.3.1 Ponorné snímače

Jedná se obvykle o miniaturní ponorný senzor zavěšený na izolovaném elektrickém kabelu. Při spouštění senzoru do dané nádoby roste indikovaný tlak. Jakmile tento tlak přestane růst, lze předpokládat, že senzor dosáhl dna nádoby. Toto řešení je

obvykle využíváno k měření hloubky studní, vodních nádrží apod. Některé senzory mohou obsahovat i obvody pro kompenzaci teplotních závislostí, digitální komunikační rozhraní, apod. Jelikož změny barometrického tlaku mohou způsobit chybu měření až 25 cm vodního sloupce, někteří výrobci vybavují své senzory vyrovnávací tlakovou žilou. Pomocí ní následně kompenzují meteorologické změny barometrického tlaku [1].

Obr. 1.1: Ponorný snímač hladiny [2].

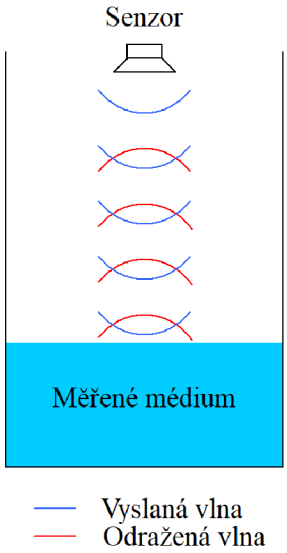
1.3.2 Statické snímače

Tyto typy snímačů jsou vestavěny přímo do stěny nádoby. Měření zde provádí obvykle diferenční senzor tlaku, jehož nízkotlaký vstup je vyveden do atmosféry. Pokud je využíván k měření čistých kapalin, může být připojen přímo. V případě kapalin s vyšší viskozitou než voda a obsahem pevných částic je připojen přes oddělovací membránu a kapilární spoj. Může být také instalován pneumatický opakovač 1:1 a tlak měřen na vzdáleném stanovišti, což však zanáší do systému další nepřesnosti [1].

1.4 Ultrazvukové hladinoměry

Senzory se označují jako ultrazvukové, pokud jejich pracovní pásmo leží nad pásmem slyšitelným pro člověka, tedy přibližně nad 20 kHz. Podstatou zvuku, stejně jako ultrazvuku, je vlnění charakterizované zhušťováním a zřeďováním vzduchu. Lokální zhuštění nebo zředění vzduchu představuje akustický tlak [1]. Princip funkce ultrazvukového hladinoměru je zobrazen na obr. 1.2.

Senzor nejprve generuje klíčovaný impuls o délce asi 1 ms a frekvenci vyšší, než 20 kHz. Následně naslouchá odrazům a dle doby mezi vysláním impulzu a zachycením echa je proveden výpočet vzdálené překážky, v tomto případě hladiny. Jelikož má každý senzor konečně krátkou dobu doznívání (tzv. ringing), po kterou nemůže



Obr. 1.2: Princip měření ultrazvukem.

fungovat jako přijímač signálu, vzniká v blízkosti senzoru „mrtvá zóna“. Její velikost bývá asi 0,2 – 0,8 m. Použitím odděleného přijímače a vysílače lze sice tento neduh odstranit, avšak za cenu složitější konstrukce a vyšší ceny [1].

Pro generování ultrazvukových impulzů se nejčastěji používají převodníky piezoelektrické, případně elektrostatické. Piezoelektrické převodníky ke své činnosti využívají mechanické deformace piezoelektrického materiálu při přiložení elektrického napětí, respektive generování elektrického náboje při mechanickém deformování materiálu. Používá se zde sintrovaná piezokeramika žíhaná v elektrickém poli připojených elektrod. Piezomateriál je buzen elektrickým napětím o velikosti 200 – 400 V. Aby byla zajištěna optimální účinnost, je převodník buzen na mechanické rezonanční frekvenci systému [1].

Jak již bylo nastíněno, ultrazvuk je forma zvuku nad pásmem slyšitelným pro člověka. Rychlost zvuku ve vzduchu je za běžných podmínek asi 340 ms^{-1}. Výpočet přesnější rychlosti zvuku poskytuje vztah

$$c = \sqrt{\kappa \cdot \mathrm{R} \cdot T}, \tag{1.2}$$

kde κ je adiabatická konstanta (1,402 pro vzduch), R je plynová konstanta pro vzduch ($287,05\ \mathrm{J} \cdot \mathrm{kg}^{-1} \cdot \mathrm{K}^{-1}$) a T je termodynamická teplota ($t + 273,15\,\mathrm{K}$) [1].

Případně lze využít vztahu

$$c = 331,8 + 0,61 \cdot t, \tag{1.3}$$

který je zjednodušen oproti (1.2), avšak nedosahuje takové přesnosti [1].

Z výše uvedených vztahů vyplývá značná závislost šíření na teplotě (přibližně $0,6\,\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1} \cdot \mathrm{K}^{-1}$). Z tohoto důvodu se běžně provádí kompenzace teploty vzduchu měřením, například termistorem [1].

Mezi výhody ultrazvukových senzorů patří (většinou) bezdotykové měření, díky čemuž je lze s výhodou využít např. při měření pitné vody, nebo korozivních směsí. Nevýhodou je poměrně velká závislost rychlosti šíření zvuku na teplotě. Také pěna na hladině způsobuje velký útlum a téměř znemožňuje použití senzorů tohoto typu [1].

Obr. 1.3: Ultrazvukový snímač hladiny [2].

2 Systémy přenosu informací

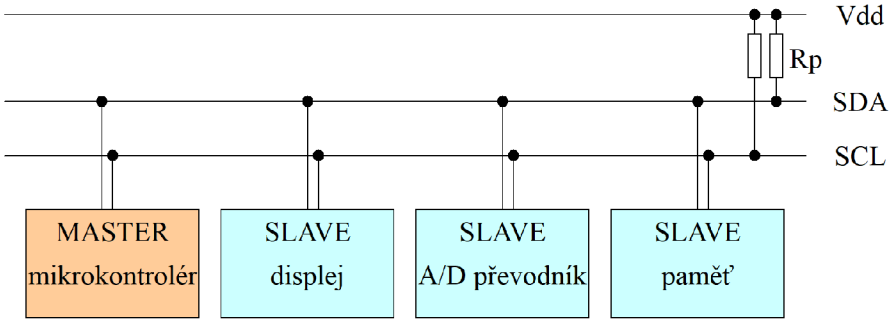
V této kapitole budou probrány systémy přenosu informací využívané jak pro komunikaci mikroprocesoru s ostatními komponentami, tak pro vlastní přenos dat na IoT (Internet of Things) cloud.

2.1 Komunikace v rámci zařízení

Tato sekce se zabývá stručným popisem sběrnic využívaných k transportu dat v rámci zařízení (např. výměna dat mezi mikroprocesorem a pamětí flash).

2.1.1 Sběrnice I2C

Tato sběrnice je využívána v rámci zařízení pro komunikaci mikrokontroléru s displejem a modulem reálného času. Sběrnice je založena na principu master (typicky procesor) - slave (periferie, např. displej). Příklad zapojení je na obrázku 2.1



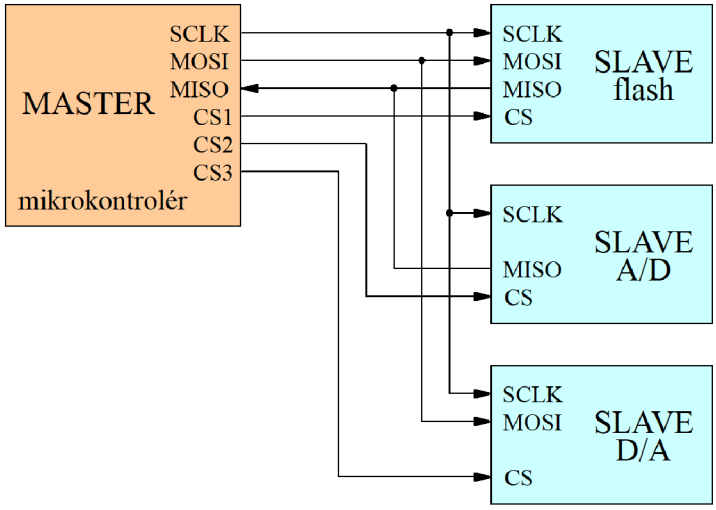
Obr. 2.1: Příklad zapojení I2C [3].

Z obrázku 2.1 vyplývá, že se sběrnice skládá z dvou vodičů, SDA (Synchronous Data) a SCL (Synchronous Clock). SDA slouží k vlastnímu přenosu dat, SCL k přenosu hodinového taktu, který je vysílán masterem. Tyto vodiče jsou pomocí pull-up rezistorů vytaženy na logickou úroveň high. V klidovém stavu oba vodiče setrvávají na vysoké úrovni. Při zahájení komunikace je SDA masterem stažena na nízkou úroveň, přičemž SCL zůstává po určitou dobu v úrovni high (tato doba se odvíjí od zvolené přenosové rychlosti). Tento stav všechny uzly připojené na sběrnici rozeznávají jako zahájení přenosu. Následně master provede adresaci zařízení, s nímž si přeje komunikovat. Vyšle postupně 8 bitů od MSB (Most Significant Bit) k LSB (Least Significant Bit), jednotlivé bity jsou rozděleny pomocí náběžné hrany na SCL. Prvních 7 bitů je adresa zařízení a 8. bit je tzv. R/W (read/write). Tento bit specifikuje, zda chce master na dané zařízení zapisovat, nebo z něj číst, přičemž zápis

je signalizován logickou 0 a vice versa. Připojené uzly následně provedou porovnání přijaté adresy se svou adresou. Vybraný uzel provede potvrzení, že se na vybrané sběrnici nachází a v 9. taktu odešle bit ACK (Acknowledge). Po těchto 9 bitech již probíhá vysílání datových bitů, kterých je 8. Následuje opět ACK, kterým příjemce (ať již master nebo slave) potvrzuje doručení. Při ukončení přenosu přejde nejprve SCL a následně SDA na úroveň high [3].

2.1.2 Sběrnice SPI

Serial Peripheal Interface, neboli sériové periferní rozhraní se využívá ke komunikaci mikroprocesorů s dalšími obvody jako jsou A/D převodníky, displeje, paměti a další. V tomto případě je využíváno k propojení mikrokontroléru s pamětí flash. Příklad zapojení je na obrázku 2.2.



Obr. 2.2: Příklad zapojení SPI [4].

U této sběrnice se využívají datové piny SCLK (Serial Clock), MOSI (Mater Out, Slave In), MISO (Master In, Slave Out) a CS (Chip Select). MOSI slouží k jednosměrné komunikaci zařízení master se zařízením typu slave. MISO zprostředkovává opačnou funkci, tedy zajišťuje jednosměrnou komunikaci uzlu slave se zařízením master. Jedná se tedy o plně duplexní komunikaci. Hodinový signál SCLK řízený masterem je přiveden na vstupy SCLK všech obvodů typu slave. Poslední pin CS slouží k výběru uzlu, se kterým si přeje master v danou chvíli komunikovat. Pokud je vstup CS daného uzlu v neaktivní úrovni, jeho výstup MISO je ve vysokoimpedančním stavu a jeho rozhraní SPI je v danou chvíli neaktivní. Zařízení jsou dále vybavena posuvným registrem zabezpečujícím uchování dat do jejich zpracování.

Jak již bylo řečeno, master se stará o generování hodinového signálu. Pomocí tohoto signálu je prováděna synchronizace vysílání i příjmu dat, tedy časy, kdy dochází ke změně posuvných registrů. Tyto posuvné registry slouží k příjmu i vysílání osmice bitů (jednoho byte). S každým posunem obsahu registru doprava dochází k odeslání vysunutého bitu, v případě uzlu typu master na vodič MOSI. Naopak logická hodnota přijatá na pinu MISO je zapsána do nejnižšího bitu posuvného registru. Obdobně probíhá odesílání a příjem bitů u zařízení typu slave, jen s tím rozdílem, že MOSI zde slouží pro příjem a MISO k odesílání [4].

2.2 Komunikace s IoT cloudem

V této části jsou probrány nástroje využívané pro komunikaci s cloudem, který slouží k následnému zobrazení dat.

2.2.1 WiFi

WiFi (Wireless Fidelity) je označení zastřešující několik standardů IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11 sloužících pro bezdrátovou komunikaci počítačových sítí. Využívá ke své činnosti bezlicenční pásmo 2,4 a 5 GHz. WiFi se v současnosti dělí na několik variant lišících se především použitým pásmem (2,4 nebo 5 GHz) a maximální přenosovou rychlostí:

Označení	Pásmo	Max. přenos. rychlost
802.11a	5 GHz	54 Mb/s
802.11b	2,4 GHz	11 Mb/s
802.11g	2,4 GHz	54 Mb/s
802.11n	2,4 nebo 5 GHz	600 Mb/s
802.11ac	2,4 a 5 GHz	1000 Mb/s

Tab. 2.1: Rozdělení WiFi standardů

Ke zvýšení možného počtu WiFi sítí v jedné oblasti je pásmo 2,4 GHz dále rozděleno na (v Evropě) 13 kanálů. Šířka jednoho kanálu je 22 MHz. Jednotlivé kanály jsou však od sebe „vzdáleny“ pouze 5 MHz (2,412 GHz pro 1. kanál a 2,472 GHz pro 13. kanál). Z toho vyplývá, že lze v tomto spektru dosáhnout pouze 3 kanálů současně, které se nepřekrývají – 1., 6. a 11. kanál. WiFi síť se skládá z přístupového bodu AP (Access Point), který vysílá a přijímá data od stanic připojených k síti. Dále vysílá tzv. beacon rámec, který obsahuje mimo jiné identifikátor sítě SSID (Service Set Identifier) a identifikátor AP, BSSID (Basic Service Set Identifier) [5]. V rámci zařízení se síť WiFi používá k odesílání naměřených dat na cloud.

2.2.2 HTTP

HTTP (Hypertext Transfer Protocol) je internetový aplikační protokol. Využívá se ke komunikaci mezi klientem a serverem. Ke své činnosti využívá transportní protokol TCP (Transmission Control Protocol) a standardně port 80. V současnosti se používá HTTP ve verzi 1.1. Protokol je založený na principu dotaz – odpověď. Nejprve uživatel pošle serveru dotaz ve formě čistého textu, který obsahuje označení požadovaného dokumentu, informace o schopnostech prohlížeče apod. V rámci zařízení jsou naměřená data zasílána ve formátu JSON (Javascript Object Notation), což je opět čistý text. Server následně odpoví a to v případě např. internetového prohlížeče pomocí několika řádků textu, které popisují výsledek dotazu – typ dokumentu, zda se dokument vůbec podařilo najít, apod., přičemž následují samotná data požadovaného dokumentu [6]. V případě tohoto zařízení, kdy jsou data serveru zasílána, server odpovídá pomocí stavových kódů. Tyto kódy se dělí do několika skupin dle první číslice:

- 1XX – informační,
- 2XX – úspěch,
- 3XX – přesměrování,
- 4XX – chyba na straně klienta,
- 5XX – chyba na straně serveru.

Kódy začínající číslem 1 jsou informační, indikují například stav, kdy byl požadavek přijat a bylo mu porozuměno, přičemž se očekávají další příchozí data. Tyto kódy se nepoužívají. 2XX signalizuje úspěch, typicky že akce provedená klientem byla doručena, přijata a zpracována. Další skupina kódů značí přesměrování, například že byl požadovaný objekt trvale přemístěn na jinou adresu. V takovém případě je od klienta vyžadována další akce. Předposlední skupina s první číslicí 4 značí chybu na straně klienta. Pravděpodobně nejznámější kód z této skupiny je kód 404, který značí, že požadovaný objekt nebyl na serveru nalezen. S tímto kódem se můžeme setkat např. u některých webových stránek, které již nefungují správně. Poslední skupina slouží k oznámení chyby na straně serveru. I s těmito kódy se lze setkat při prohlížení webových stránek, například 500 – internal server error, což znamená, že se serveru něco stalo a nemůže vyplnit požadavek [7].

3 Návrh zařízení

Tato kapitola se věnuje návrhu a realizaci zařízení. První částí je popis některých funkcí zařízení. V další části jsou uvedeny hlavní použité komponenty. Následuje sekce programové realizace obsahující vybrané části kódu s jejich vysvětlením. Další částí je rozbor hardwarového návrhu zařízení včetně fotografií hotového zařízení. Konec kapitoly je věnován spotřebě a jejímu snižování.

3.1 Funkcionalita zařízení

V této části kapitoly jsou popsány některé funkce realizovaného měřiče hladiny.

3.1.1 Konfigurace zařízení

Pro zajištění univerzálnosti zařízení je nutné umožnit uživateli zařízení nakonfigurovat pro danou aplikaci. K tomu bylo využito WiFi funkcionality desky. Po prvotním zapnutí je vytvořen WiFi hotspot, přičemž je zobrazena IP adresa na displeji. Uživatel se následně připojí k WiFi a zadá do prohlížeče na svém zařízení IP adresu zobrazenou na displeji. Zobrazí se mu konfigurační stránka, na které vyplní požadované údaje: název a heslo k připojení k WiFi používanou k odesílání dat na cloud, dále zde zadá periodu měření a periodu odesílání na cloud. Pokud uživatel nakonfiguruje odesílání emailů, v případě nízkého napětí baterie bude uživatel 1x denně upozorňován emailem na tuto skutečnost. Uživatel si také může nastavit možnost odesílání varovných emailů, pokud výška hladiny dosáhne minimální nebo maximální hodnoty, kterou je možno libovolně nastavit. Poté se daná konfigurace uloží do paměti zařízení a následně je využívána při samotné činnosti.

3.1.2 Zobrazení naměřených dat

Naměřená data je nutno nějakým způsobem zobrazit. K tomu lze využít jednak displeje zařízení a jednak cloudu.
Pro zobrazení aktuální výšky hladiny na displeji lze využít integrované tlačítko. V případě krátkého stisku tlačítka dojde ke změření aktuální výšky hladiny. Tato hodnota je následně zobrazena na displeji po dobu 10 sekund a zároveň je zapsána do paměti zařízení.
Jako cloud, na který se budou odesílat data, byl zvolen thingspeak.com [8], jelikož jako jeden z mála umožňuje využití služeb bezplatně. Uživatel si po připojení k tomuto cloudu může kdykoliv zobrazit historii naměřených hodnot. Zde je potřeba mít na paměti, že data jsou buďto odeslána na cloud pouze jednou za určitý počet

měření, nebo při každém měření (dle volby uživatele). Při odesílání dat po každém měření je ale spuštěn WiFi modul v každém měřicím cyklu, což zvyšuje spotřebu zařízení a zkracuje životnost baterie, obecně je tedy lepší volit spíše méně časté odesílání dat.

3.1.3 Nabíjení baterie

Pro usnadnění provozu zařízení a eliminování potřeby mít k dispozici externí nabíjecí zařízení je zařízení vybaveno nabíjecím obvodem určeným k nabíjení integrovaných baterií. K připojení nabíječky, nebo například v případě nedostupnosti elektrické sítě rovněž powerbanky, lze využít široce rozšířený microUSB konektor a následně baterii nabít.

3.2 Použité komponenty

Kapitola se věnuje hlavním použitým komponentům v návrhu zařízení. Jsou zde uvedeny některé informace, například proč byl zvolen konkrétní typ. Podrobnější rozbor návrhu hardware je uveden v kapitole 3.4.

3.2.1 Senzor

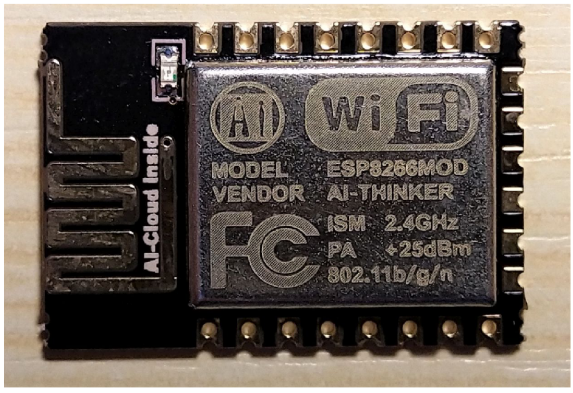
Při výběru senzoru připadaly v úvahu dvě metody měření a to měření ultrazvukem pomocí ultrazvukového senzoru a měření hydrostatického tlaku vody. Nevýhoda ultrazvukového měření spočívá v malém dosahu (řádově do 5 m) běžně dostupných senzorů. Tento nedostatek sice eliminují průmyslové senzory, jejich ceny bývají ale značně vysoké, což je v rozporu se zaměřením tohoto zařízení s požadavkem na nízkou cenu. Nakonec byl vybrán převodník hydrostatického tlaku s rozsahem 0-60 psi, což odpovídá rozsahu do přibližně 41m výšky vodního sloupce. Napájecí napětí tohoto senzoru je 5 V. Senzor se nachází na obrázku 3.1.

3.2.2 Mikrokontrolér

Z důvodu požadavku odesílaní naměřených hodnot na IoT cloud a napájení na baterie byl vybrán modul s označením ESP-12E, viz obrázek 3.2. Tento modul obsahuje mikrokontrolér od firmy Espressif typ ESP8266. Jedná se o poměrně levné zařízení s implementovaným WiFi rádiovým modulem, což lze výhodně využít pro odesílání naměřených dat. Umožňuje rovněž režim hlubokého spánku, tzv. deepsleep, což umožňuje šetřit energii. Spotřeba v režimu spánku dle datasheetu [9] dosahuje 20 µA.

Obr. 3.1: Senzor.

S touto spotřebou lze dosáhnout dobré výdrže při napájení z baterií. Mikorokontrolér rovněž obsahuje vlastní flash paměť, která je připojena přes rozhraní SPI. Tuto paměť lze využít pro průběžné ukládání dat.

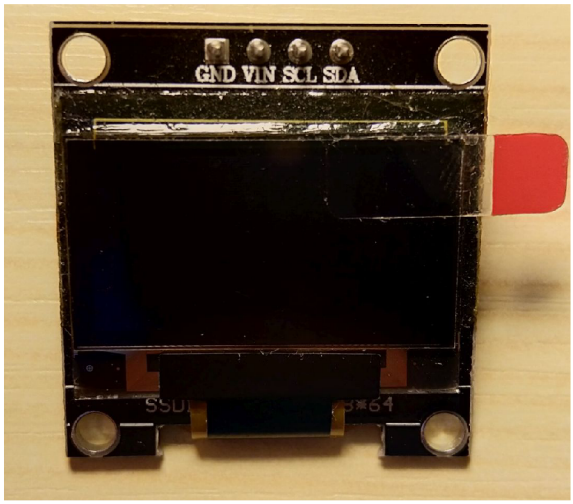


Obr. 3.2: Mikrokontrolér.

3.2.3 Displej

Základní možností pro zobrazení dat je využití displeje. Z důvodu nízké spotřeby byl vybrán OLED displej s kontrolérem SSD1306 [10]. Velikost tohoto displeje je

0,96"a rozlišení 128x64. Tento displej disponuje I2C rozhraním, přes které komunikuje s mikrokontrolérem. Displej je možno vidět na obrázku 3.3.



Obr. 3.3: Displej.

3.2.4 Hodiny reálného času

Jelikož je možno naměřená data uložit do paměti a odeslat jednou za čas, je nutné přiřadit naměřeným datům časové razítko. Samotný mikrokontrolér má v režimu hlubokého spánku aktivní pouze jednoduchý časovač, který dle měření dosahuje odchylky přibližně 9-10 sekund na 10 minut, navíc není teplotně kompenzován a odchylka se tudíž může dále lišit se změnou teploty. Z tohoto důvodu bylo nutné využít externí hodiny reálného času. Konkrétně byl použit typ DS 3231 od firmy Maxim Integrated [11], který je velmi přesný a vyznačuje se nízkou spotřebou v režimu napájení na baterie, dle datasheetu pouze 3 µA. Tento IO (Integrovaný Obvod) rovněž obsahuje teplotní kompenzaci krystalového oscilátoru, čímž je dle datasheetu zajištěna přesnost ±2 minuty ročně při okolní teplotě -40°C až +85°C.

3.2.5 Monostabilní klopný obvod

Použitý mikrokontrolér využívá k probuzení z režimu spánku pin RST (Reset). Tento pin je stále držen v logické 1. Propojením pinu IO16 a RST je mikrokontroléru umožněno pravidelné probouzení. Standardně je na pinu IO16 logická úroveň 1. Jakmile nastane čas probuzení hlídaný interním timerem, krátkodobě dojde ke stažení pinu IO16 na logickou 0 a tím zároveň i pinu RST. Nevýhoda použitého mikrokontroléru spočívá v tom, že lze využít pouze jeden pin pro reset (probuzení) mikrokontroléru a tento následně nedokáže odlišit, zda k probuzení došlo v důsledku timeru, nebo

se jednalo o externí reset, vyvolaný stiskem tlačítka. Mikrokontroléru trvá asi 0,3 – 0,5 s, než plně naběhne po probuzení. K rozlišení důvodů probuzení byl využit monostabilní klopný obvod, který je aktivován v době stisknu tlačítka a drží na svém výstupu logickou 1, než mikrokontrolér plně naběhne a je schopen na jednom ze svých vstupů přečíst tuto logickou úroveň a z toho usoudit, zda k probuzení došlo plánovaně pomocí timeru, nebo zásahem uživatele (stiskem tlačítka). Nakonec byl zvolen z důvodu spotřeby a dostupnosti konkrétně typ CD4047BM od firmy Texas Instruments [12], který má dle datasheetu klidovou spotřebu pouze 0.02 µA.

3.2.6 Měnič napětí

K napájení senzoru je zapotřebí 5 V, avšak li-ion baterie mají při plném nabití napětí pouze 4,2 V, které dále klesá s vybíjením baterie. Baterie budou navíc umístěny v krabičce spolu s ostatními komponenty a senzor tudíž bude napájen na relativně velkou vzdálenost, což způsobí napěťové ztráty na vedení. Z tohoto důvodu návrh zařízení obsahuje zvyšující (boost) měnič napětí sloužící k napájení senzoru.

3.2.7 Attiny

Jelikož má senzor výstupní napětí 0,5-4,5 V dle aktuálního tlaku vody, pro zvýšení spolehlivosti měření a snížení možnosti rušení je vhodné přenos od senzoru k mikrokontroléru digitalizovat. K tomu je využito mikročipu Attiny85 od firmy Atmel. Pomocí AD převodníku Attiny85 [13] je změřeno aktuální výstupní napětí senzoru. K přenosu dat je využito sběrnice UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter). Tato sběrnice nicméně není určena pro přenos na vyšší vzdálenosti, které mohou dosahovat v případě vrtaných studen i 40 m. Pro přenos dat na větší vzdálenosti existují standardy jako jsou například RS-232 nebo RS-485. Z dostupných standardů pro přenášení dat na vyšší vzdálenost byl vybrán standard RS-485 pro svou odolnost vůči rušení při využití kroucené dvojlinky. K převodu UART na RS-485 a zpět je použit IO SN75176AD [14] firmy Texas Instruments.

3.3 Programová realizace

Tato kapitola se věnuje programové části realizovaného zařízení. Obsahuje některé vybrané části kódů spolu s popisem jejich funkce. U některých částí je také uvedeno, proč bylo zapotřebí daný algoritmus použít.

3.3.1 Použité knihovny

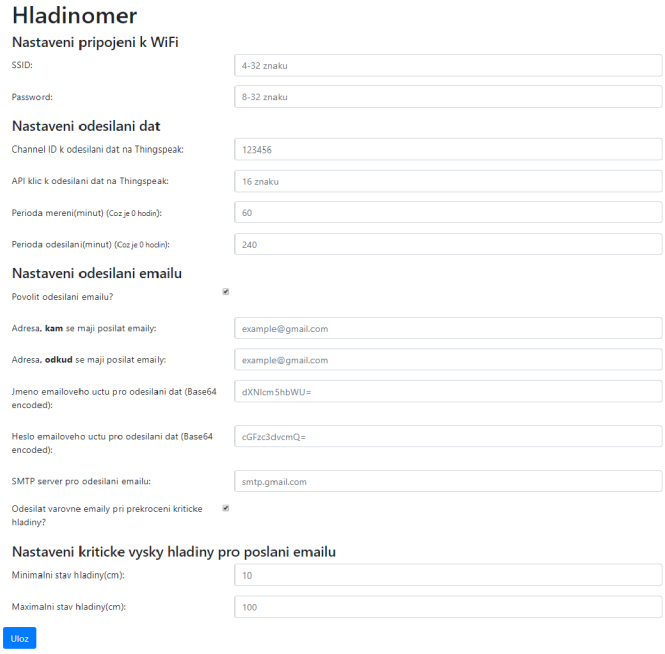
Při tvorbě programu byly využity následující knihovny:

- **Adafruit_SSD1306.h** - knihovna usnadňující práci s displejem [15]
- **Adafruit_GFX.h** - knihovna potřebná k zobrazování na displej [16]
- **ESP8266WiFi.h** - tato knihovna poskytuje funkce pro ovládání WiFi
- **WiFiClientSecure.h** - knihovna podporující TLS protokol potřebný pro odesílání emailů na portu 465 [17]
- **Wire.h** - standardní knihovna pro I2C komunikaci
- **RTClib.h** - knihovna pro práci s modulem reálného času [18]
- **FS.h** - knihovna umožňující práci se souborovým systémem [19]
- **NTPtimeESP.h** - knihovna pro synchronizaci času z NTP serveru [20]
- **SoftwareSerial.h** - standardní knihovna k softwarovému vytvoření sériového portu

Knihovny bez uvedeného zdroje je možno stáhnout přímo ve vývojovém prostředí Arduino IDE.

3.3.2 Konfigurace

Teoretická funkčnost konfigurace, viz kapitola (3.1.1). Pro tvorbu jednoduché konfigurační stránky bylo využito jazyka HTML v kombinaci s JavaScriptem pro úpravu vyžadovaných parametrů v závislosti na zadaných hodnotách. Použitá knihovna CSS stylů pochází ze stránky Getboostrap.com [21], a implementována do HTML kódu stránky byla dle návodu [22] na stránce Getboostrap.com. Stránka je zobrazena na obrázku 3.4



Obr. 3.4: Konfigurační stránka.

3.3.3 Měření

Pro změření výšky hladiny je nejprve spuštěn měnič napětí pro napájení senzoru, Attiny a RS-485 převodníku. Pro ustálení výstupního napětí měniče a eliminaci přechodných jevů na vedení je implementována prodleva mezi spuštěním měniče a začátkem měření o délce 100 ms. Následně probíhá komunikace mezi ESP a Attiny. Attiny měří aktuální napětí senzoru a odesílá jej v podobě digitální hodnoty získané AD převodníkem sériovým rozhraním převedeným na RS-485 s časovými rozestupy 50 ms. RS-485 komunikace je následně převáděna zpět na sériové rozhraní a přes převodník napěťových úrovní přivedena do ESP. K příjmu dat je využit následující kód:

Výpis 3.1: Přijímání naměřených dat

```
1   const byte pocetCharakteru = 32;
2   char prijataData[pocetCharakteru];
3   uint8_t pocetDat = 0;
4   int hodnotaAd[11];
5   static byte n = 0;
6   char prichozi;
7   do{
8     if (mySerial.available() > 0) {
9         prichozi = mySerial.read();
10
11        if (rc != '\n') {
12            prijataData[n] = prichozi;
13            n++;
14            if (n >= pocetCharakteru) {
15                n = pocetCharakteru - 1;
16            }
17        }
18        else {
19            prijataData[n] = '\0';
20            n = 0;
21            hodnotaAd[pocetDat] = atoi(prijataData);
22            pocetDat++;
23        }
24    }
25    yield();
26  } while(pocetDat < 10);
```

Nejprve je zkontrolováno, zda má mikrokontrolér ve vstupním zásobníku příchozí data. Pokud ano, je proveden test na přítomnost znaku „\n“, který značí konec řádku. Dokud se tento znak na aktuální pozici nenachází, je prováděno naplnění pole znaků *prijataData*. Jakmile je tento znak detekován, je toto pole zakončeno zakončujícím znakem „\0“. Výsledné pole je převedeno na datový typ int a uloženo do dalšího pole *hodnotaAd*. Celý proces probíhá do té doby, dokud není v poli *hodnotaAd* 10 záznamů pro snížení pravděpodobnosti chybného měření. V tuto chvíli dojde k vypnutí měniče napětí pro úsporu energie. Data jsou následně seřazena pomocí algoritmu BubbleSort [23] od nejmenšího po největší, zprůměrováním 5. a 6. prvku pole *hodnotaAd* je proveden výběr mediánu a tím je příjem dat u konce. Následně se převede výsledná hodnota AD převodníku na napětí a převede na tlak vody z nějž je vypočítána výška hladiny.

3.3.4 Ukládání naměřených dat

Použitý mikrokontrolér při přechodu do režimu spánku ztratí všechna data z paměti RAM. Pokud se tedy uživatel rozhodne, že chce využít možnosti zasílat více měření najednou, je nutno naměřená data nějakým způsobem uchovávat do dalšího odeslání. K tomu byl využit souborový systém, tzv. „SPIFFS“ (SPI flash file system), který mikrokontrolér podporuje a jehož velikost je v závislosti na konfiguraci samotného mikrokontroléru řádově několik MB. Pro ukládání a správu samotných dat se využívá dvou textových souborů, z nichž do jednoho se ukládají naměřená data již v podstatě připravená k odeslání na cloud ve formátu JSON. Nejprve je nutno vytvořit pole typu char a naplnit jej ve formátu požadovaném cloudem. K tomu slouží následující funkce, přičemž se pracuje nejen s naměřenou výškou hladiny, ale i datem a časem, při kterém k danému měření došlo. Tato funkce je převzata z návodu [24] k odesílání dat na Thingspeak.

Výpis 3.2: Formátování dat

```
1  void zformatujJson(char* jsonBuffer){
2    char temp[40];
3    strcat(jsonBuffer,"{\"created_at\":\"");
4    size_t lengthT = String(datum).length();
5    String(datum).toCharArray(temp,lengthT+1);
6    strcat(jsonBuffer,temp);
7    strcat(jsonBuffer,",");
8    strcat(jsonBuffer, "\"field1\":");
9    lengthT = String(vyskaVody).length();
10   String(vyskaVody).toCharArray(temp,lengthT+1);
11   strcat(jsonBuffer,temp);
12   strcat(jsonBuffer,"},");
13   zapisMereni();
14 }
```

Zde je na konci zavolána funkce pro zapsání dat do paměti. To je poměrně jednoduchá procedura využívající třídu File pro práci se souborovým systémem [25].

Výpis 3.3: Zapisování dat

```
1 void zapisMereni() {
2   String dataString = "";
3   dataString += String(jsonBuffer);
4   File zapisDat = SPIFFS.open("mereni.txt", "a");
5   zapisDat.println(dataString);
6   zapisDat.close();
7 }
```

Jak již bylo řečeno, využívá se dvou souborů. Druhý soubor slouží k ukládání počtu aktuálně uložených dat, na jehož základě se vyhodnocuje, kdy má dojít k odeslání dat, v závislosti na konfiguraci uživatele. Algoritmus zápisu je podobný výpisu 3.3, liší se jen cílový soubor a k zápisu se nevyužívá žádné formátování, nýbrž se přímo zapíše aktuální hodnota počtu uložených dat. Tím je proces zápisu naměřených dat do paměti ukončen.

3.3.5 Odesílání naměřených dat na cloud

Když je dosaženo počtu naměřených dat, při kterém se má odesílat na cloud, je provedeno připojení k WiFi. Následně jsou naměřená data načtena ze souboru do pole typu char a připravena k odeslání. Jelikož pole této velikosti konzumuje velké množství paměti RAM, je načtení ze souboru i vlastní odeslání a případný výmaz

odeslaných dat z paměti proveden v rámci jedné funkce, aby se nemusela předávat data z jedné funkce do druhé a tím se dále neomezila využitelnost paměti. Nejprve tedy načítání dat:

Výpis 3.4: Načítání dat

```
1  bool odeslano = false;
2    unsigned long pozice = 0;
3    uint8_t pocetDat = 0;
4    File cteniDat = SPIFFS.open("mereni.txt", "r");
5    if (cteniDat) {
6
7      char data[2000]="{\"write_api_key\":\"";
8      strcat(data, APIkey);
9      strcat(data,"\",\"updates\":␣[");
10     Serial.println("Vytvoreno␣pole␣2000␣znaku");
11     size_t delka = strlen(data);
12     int i = delka;
13     while(cteniDat.available() && (pocetDat < 32)) {
14       if(cteniDat.peek() == '}') {
15         pocetDat++;
16       }
17       data[i] = cteniDat.read();
18       i++;
19       if(pocetDat == 32) {
20         strcat(data,",\r\n");
21         i += 3;
22       }
23     }
24     pozice = cteniDat.position();
25     data[i-3] = '\0';
26     cteniDat.close();
27     size_t len = strlen(data);
28         data[len] = ']';
29         strcat(data,"}");
```

Po otevření a načtení dat se vytvoří pole typu char. Do něj je vložena hlavička ve formátu požadovaném cloudem. Za tuto hlavičku se již postupně načítá obsah souboru. Pokud soubor již další data neobsahuje, nebo obsahuje více než 32 hodnot, což je maximum pro pole o velikosti 2000 znaků, načítání je přerušeno a pokračuje se dále k odeslání. Po odeslání dat se ještě provádí kontrola, zda server odpověděl stavovým kódem 202. Pokud ano, nastaví se proměnná typu boolean *odeslano* na

true, čímž je umožněn následný výmaz odeslaných dat. Pokud by server neodpověděl kódem 202, případně nedošlo vůbec ke spojení, nedojde k výmazu naměřených dat a mikrokontrolér se je pokusí odeslat při příštím probuzení. Výmaz odesílaných dat:

Výpis 3.5: Výmaz dat

```
1  if (odeslano == true) {
2     bool konec = false;
3     char data[2000] = "";
4     while (konec == false) {
5       memset(data, 0, sizeof(data));
6       File cteniDat = SPIFFS.open("mereni.txt", "r");
7       cteniDat.seek(pozice+2);
8       uint8_t pocetDatPrev = 0;
9       int i = 0;
10      while (cteniDat.available() && (pocetDatPrev < 32)) {
11        if(cteniDat.peek() == '}') {
12          pocetDatPrev++;
13        }
14        data[i] = cteniDat.read();
15        i++;
16      }
17      if(!cteniDat.available()) {
18        konec = true;
19      }
20      pozice = cteniDat.position();
21      data[i+1] = '\0';
22      cteniDat.close();
23      File zapisDat = SPIFFS.open("mereni2.txt", "a");
24      bool zastav = false;
25      int j = 0;
26      while (zastav != true) {
27        if (data[j] == '\0') {
28          zastav = true;
29        } else {
30          zapisDat.print(data[j]);
31          j++;
32        }
33      }
34      zapisDat.close();
35    }
36    pocetMereni -= pocetDat;
```

Zde po otevření souboru je provedeno nastavení kurzoru až za poslední odeslaný symbol. Následně se opět data načítají do pole znaků. Z něj jsou následně uložena do nového souboru s jiným názvem. Pokud by bylo dat více než 32, proběhne celý cyklus znovu s tím rozdílem, že se kurzor nastaví za poslední uložený symbol. Na konci se ještě provede ponížení aktuálního počtu uložených dat o počet odeslaných dat. Po ukončení zápisu je již pouze vymazán původní soubor a nový soubor je následně přejmenován na název shodný se souborem původním.

3.3.6 Odesílání emailů

Funkce pro zasílání emailů byla s drobnými úpravami převzata z knihovny Mailer.h [26].

3.4 Hardwarová realizace

V této kapitole je znázorněna tvorba zařízení po hardwarové stránce. Rozebrána jsou některá specifika návrhu spolu s použitými komponenty pro tvorbu DPS. Na konci této kapitoly se nachází fotografie hotové DPS.

3.4.1 Napájecí baterie

Napájení zařízení je realizováno prostřednictvím 2 kusů nabíjecích li-ion baterií KEEPPOWER ICR18650-340PCM [27] o kapacitě 3400 mAh, viz obrázek 3.5. Tyto baterie obsahují i ochranný obvod proti přebití, podvybití, přetížení a zkratu. To je velmi užitečná vlastnost, jelikož především v případě přebití nebo zkratu li-ion baterií může dojít k požáru nebo i výbuchu těchto baterií.

3.4.2 Nabíjecí obvod

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1.3, součástí návrhu zařízení je možnost nabíjení integrovaných baterií. V úvahu připadalo několik nabíjecích integrovaných obvodů. Jelikož mají baterie poměrně vysokou kapacitu a při lineárním nabíjení vzniká velké množství ztrátového tepla, které roste s nabíjecím (protékajícím) proudem dle známého vztahu

$$P = U \cdot I, \tag{3.1}$$

byl zvolen řídící IO s externím výkonovým tranzistorem, jelikož dostupné typy s integrovanými tranzistory by poskytovaly nízký nabíjecí proud do 0,2 A a tím pádem velmi dlouhou dobu nabíjení baterií. Jako řídící obvod byl nakonec vybrán typ BQ2057CSN od firmy Texas Instruments [28]. Nabíjecí proud je nastaven pomocí

Obr. 3.5: Napájecí baterie.

sense rezistoru na 1,05 A. Jako regulační prvek byl použit výkonový bipolární PNP tranzistor typu D45H11 od firmy ST Microelectronics [29]. Z dostupných výkonových tranzistorů má velmi vhodné parametry pro nabíjení uvažovaným proudem 1,05 A, především tedy vysoké proudové zesílení h_{FE}, dle datasheetu minimálně 60 při proudu kolektorem 2 A a nízké saturační napětí $U_{CE(sat)}$ 1 V při kolektorovém proudu 8 A.

Chlazení tranzistoru

Největší výkonová ztráta na tranzistoru je ve chvíli, kdy je napětí baterie 3,0 V. V tuto chvíli nabíjecí obvod nastaví maximální nabíjecí proud. Datasheet obvodu BQ2057CSN specifikuje i minimální a maximální hodnoty napětí na sense pinu připojeném k sense rezistoru a tím rozmezí nabíjecího proudu v závislosti na konkrétním kusu použitého IO. Nejvyšší možný nabíjecí proud při maximálním napětí na sense pinu a minimální ohmické hodnotě použitého sense rezistoru řady E24, tedy s 1% přesností, je 1,167 A. Ze znalosti vstupního napětí 5 V, minimálního napětí baterie 3,0 V pro nabíjení maximálním proudem a maximálním úbytku napětí na sense rezistoru dle datasheetu [28] 115,5 mV lze dosazením do (3.1) snadno spočítat vyzářený výkon tranzistoru

$$P = (5 - 3 - 0,1155) \cdot 1,17, \tag{3.2}$$

tedy 2,205 W. V datasheetu tranzistoru D45H11 [29] je specifikován i tepelný odpor R_{thJA} 62,5 °C/W a maximální teplota PN přechodu 150 °C. Z toho důvodu byl tranzistor doplněn chladičem s tepelným odporem 30,2 K/W. Při znalosti tepelného

odporu PN přechod-pouzdro R_{thJC}=2,5 °C/W, uvažované teplotě okolí 40°C lze bez započítání vlivu odporu pouzdro-chladič R_{thCC} vypočítat maximální teplotu PN přechodu dle vztahu [30]:

$$\theta = R_{thJA} \cdot P + \theta_a. \tag{3.3}$$

Tedy po dosazení

$$\theta = (30,2 + 2,5) \cdot 2,205 + 40, \tag{3.4}$$

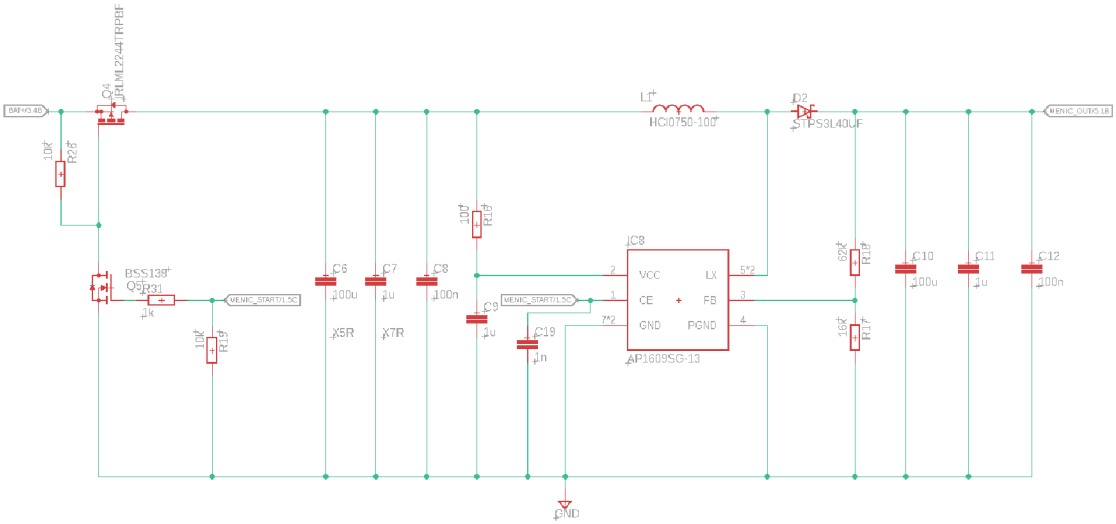
vychází maximální teplota PN přechodu 112,1 °C. Jak již bylo řečeno, tento výpočet neposkytuje maximální přesnost, jelikož zde není započítán neznámý tepelný odpor přechodu pouzdro-chladič R_{thCC} a tepelný odpor přechod-okolí R_{thJA}.

3.4.3 Měnič napětí

V kapitole 3.2.6 bylo již zmíněno, že součástí návrhu je také zvyšující měnič napětí. Trh nabízí poměrně velké množství různých IO k tomuto účelu, avšak většina z nich je v pouzdrech pro strojní osazování které buďto znemožňují nebo velmi ztěžují ruční osazení. Zvolený obvod AP1609SG-13 od firmy Diodes Incorporated má dle datasheetu [31] vysokou účinnost a především umožňuje snadné ruční osazení díky pouzdru SO-8.

Odpojování měniče

Výše uvedený IO umožňuje uspávání obvodu prostřednictvím *chip enable* pinu, čímž dle datasheetu [31] poklesne klidový proud na 1 µA. Toto je nedostatečné řešení, jelikož přes indukci a diodu je na výstup měniče stále připojeno nezvýšené napětí baterie, což by způsobilo protékání proudu do zátěže a přílišné vybíjení baterie. Schéma zapojení měniče je na obrázku 3.6. Využitím kombinace P-MOSFET (ve schématu Q4) a N-MOSFET (Q5) tranzistorů dojde k odpojení napájení již na vstupu měniče a protékající klidový proud je určen pouze klidovým proudem P-MOSFET tranzistoru. Tento tranzistor musí být dimenzován na vyšší protékající proud, než běžné signálové tranzistory. Z dostupných tranzistorů byl vybrán IRLML2244TRPbF fy Infineon [32]. Dle datasheetu je maximální kontinuální proud tranzistoru I_D při napětí gate–source $V_{GS} = -4,5\,V$ roven -4,3 A, což je více než dostatečná hodnota. Klidový proud I_{DSS} datasheet specifikuje maximálně na 1 µA při $V_{GS} = 0\,V$ a $V_{DS} = -16\,V$. Druhý tranzistor typu N-MOSFET zajišťuje obrácení logiky připojování měniče, kdy přivedením log. 1(3,3 V) dojde k otevření tohoto tranzistoru a tím spojení elektrody gate P-MOSFET tranzistoru se zemí, čímž se tento tranzistor otevře.



Obr. 3.6: Odpojování měniče.

3.4.4 Stabilizátory

Stabilizátor 3,3 V

Napájecí napětí veškerých komponent s výjimkou senzoru, Attiny85 a RS-485 převodníků je 3,3 V. Napětí li-ion baterie může dosáhnout 4,2 V při plném nabití. Ke stabilizaci napájecího napětí na 3,3 V byl využit stabilizátor Torex XC6210B332MR [33]. Tento stabilizátor má velmi dobré parametry pro napájení z baterií, především velmi nízký klidový proud dle datasheetu 35 µA a zároveň nízký úbytek napětí pouze 50 mV při zátěži 100 mA, respektive 100 mV při zátěži 200 mA, což velmi dobře zvyšuje využitelnou kapacitu napájecích baterií. Maximální proud stabilizátoru 700 mA je rovněž více než dostatečný, jelikož spotřeba ESP8266 by dle datasheetu [9] měla v režimu odesílání dat přes WiFi dosahovat 120 mA, přičemž spotřeba ostatních použitých komponent je vůči tomuto proudu zanedbatelná.

Stabilizátor 5 V

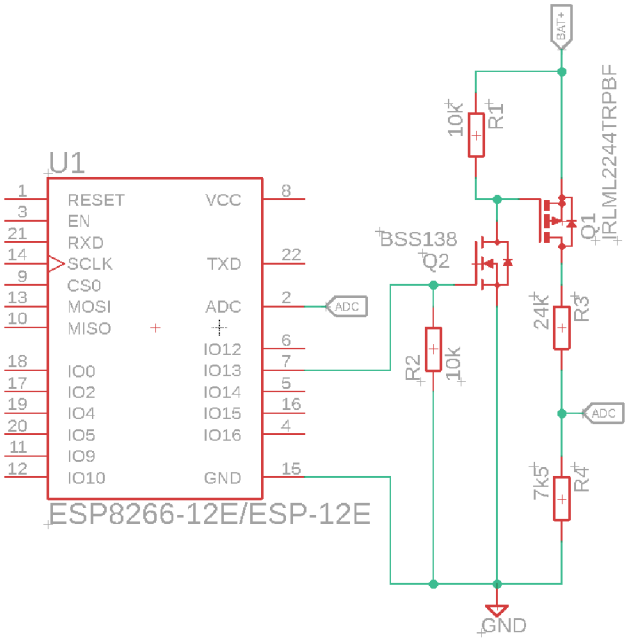
Napětí baterie je měničem zvýšeno na 6 V z důvodu rezervy pro úbytek napětí na vedení směrem k senzoru. Senzor má, jak již bylo řečeno, napájecí napětí 5 V. Před vstup senzoru bylo nutné použít stabilizátor napětí na 5 V, z nějž je napájeno rovněž i Attiny85 a RS-485 převodník SN75176AD. Použitý stabilizátor MCP1825S-5002E/DB [34] firmy Microchip poskytuje opět nízký klidový proud 120 µA, nízký úbytek napětí 50 mV při proudu 100 mA a vysoký maximální výstupní proud 500 mA. Tento stabilizátor je použit i k napájení RS-485 převodníku připojenému přes převodník napěťových úrovní k ESP8266.

3.4.5 Nahrávání software

Pro přechod mikrokontroléru do nahrávacího režimu je nutna přítomnost logické úrovně 0 na pinu *IO0* v době startu mikrokontroléru. Mikrokontrolér je možno restartovat krátkým stažením pinu *EN* na logickou úroveň 0. O obojí se stará zapojení převzaté z vývojové desky Nodemcu Lolin v3 [35]. Využitím pinů DTR (Data Terminal Ready) a RTS (Ready To Send) z USB–UART převodníku je pak možno provést automatické nahrání programu bez nutnosti ručního nastavení. V běžném pracovním režimu musí být na pinech *EN* i *IO0* logická úroveň 1. Z toho důvodu jsou použity pull-up rezistory o standardní hodnotě 10 kΩ.

3.4.6 Měření napětí baterie

K měření napětí baterie je využito integrovaného A/D převodníku mikrokontroléru ESP8266. A/D převodník má vstupní rozsah jen 0–1 V, přičemž napětí baterie jak již bylo řečeno může dosahovat až 4,2 V. K možnosti změření napětí baterie byl využit dělič napětí o ohmických hodnotách rezistorů 24 kΩ a 7,5 kΩ, čímž je umožněno využití plného rozsahu převodníku. Pokud by byl delič stále připojen, protékal by děličem klidový proud a docházelo by k rychlejšímu vybití baterie. Schéma zapojení je na obrázku 3.7. Implementací P-MOSFET tranzistoru (ve schématu Q1) je možno dělič včetně A/D převodníku odpojit pokud není třeba měřit napětí a tím šetřit baterii. Rezistor *R1* zde slouží jako pull-up, aby bylo napětí tranzistoru Q1

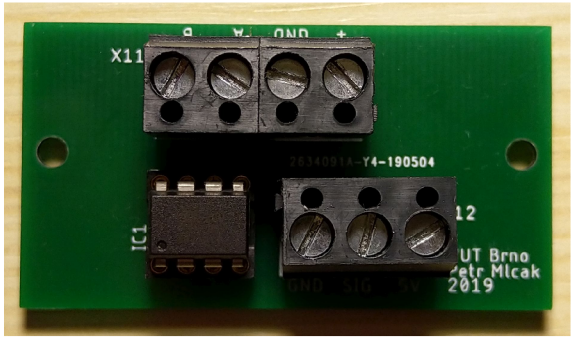


Obr. 3.7: Měření napětí baterie.

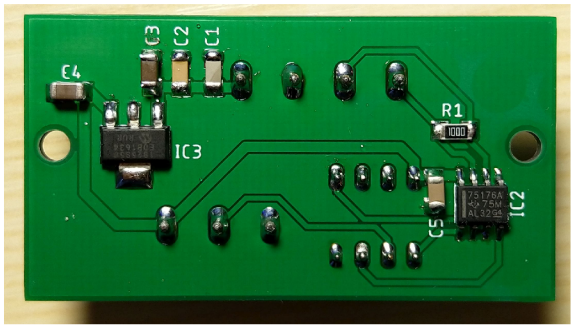
$U_{GS} = 0\,V$ a tím tranzistor uzavřen. Rezistor *R2* slouží jako pull-down, aby bylo napětí N-MOSFET tranzistoru (ve schématu Q2) U_{GS} rovněž 0 V, čímž je tento tranzistor také uzavřen. Mikrokontrolér přivedením logické úrovně 1 na gate tranzistoru Q2 tento tranzistor otevře. Gate tranzistoru Q1 je v tu chvíli uzemněna, přičemž vzroste napětí U_{GS} nad prahové napětí $U_{GS(th)}$ a tranzistor se otevře.

3.4.7 Návrh a výroba DPS

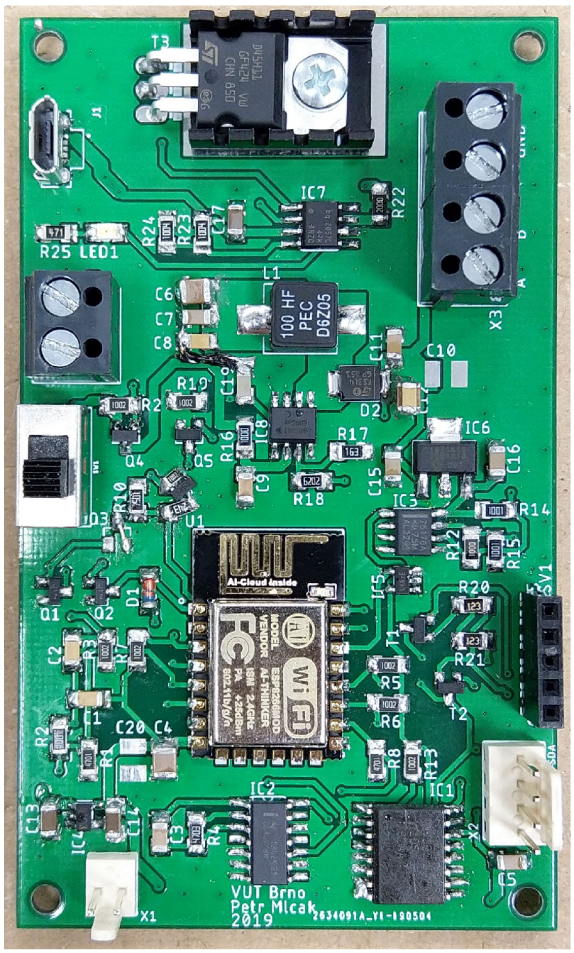
K návrhu DPS byl využit program pro návrh plošných spojů EAGLE ve verzi 9.3.0. Schémata zapojení a předlohy pro výrobu, viz příloha A. Výsledné DPS byly vyrobeny firmou JLCPCB. Osazená hlavní DPS je zobrazena na obrázku 3.10. Na obrázku 3.8 a obrázku 3.9 je osazená DPS s Attiny85, stabilizátorem a RS-485 převodníkem určená k připojení senzoru.



Obr. 3.8: Osazená DPS s Attiny, horní strana.



Obr. 3.9: Osazená DPS s Attiny, spodní strana.



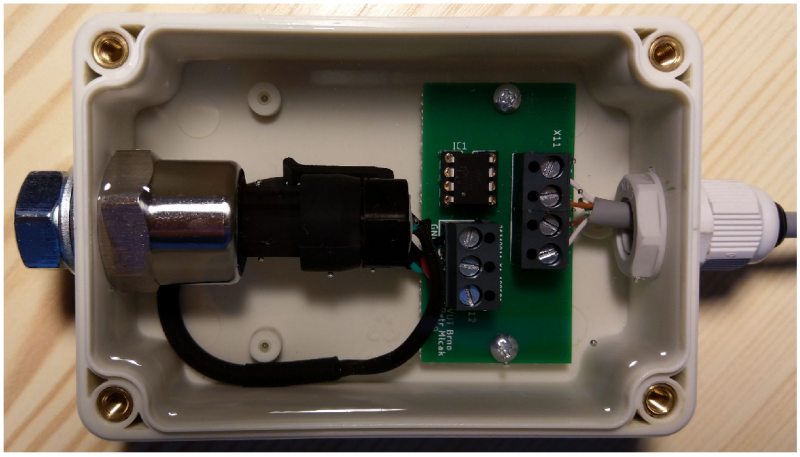
Obr. 3.10: Osazená DPS.

3.5 Výsledné zařízení

V této kapitole je zobrazeno hotové zařízení umístěné do ochranné krabice. Součástí kapitoly je i senzor a měřicí DPS umístěné do krabičky.

3.5.1 Senzor

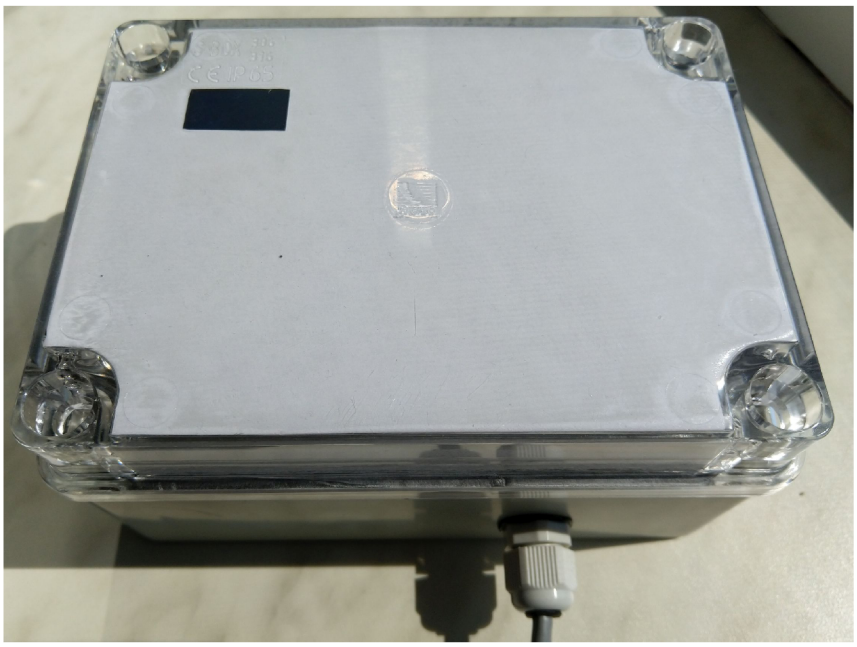
Senzor a měřicí DPS s Attiny byly umístěny do krabice Combiplast CP-11-4 s krytím IP65. Toto krytí by nebylo dostatečné pro ponoření do vody, proto byl obsah krabice vyplněn zalévacím gelem pro elektronické obvody Zalewa Silikonowa 031 firmy AG Termopasty. Výsledné zařízení je na obrázku 3.11.



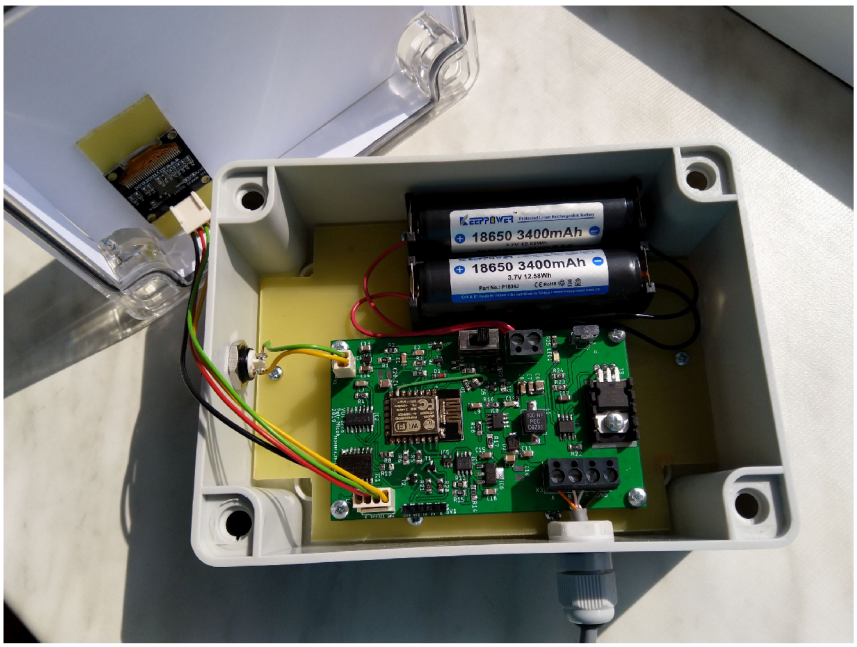
Obr. 3.11: Osazený senzor.

3.5.2 Hlavní část

Hlavní část zařízení s mikrokontrolérem ESP8266 byla umístěna do ochranné krabice Pawbol S-Box 316-P s krytím IP65. Pro zajištění tohoto krytí i přes nutnost použití tlačítka pro účely manuálního měření a možnosti výmazu konfigurace bylo použito tlačítko rovněž s krytím IP65. K vyvedení UTP kabelu pro přenos dat od senzoru byla využita kabelová průchodka s krytím IP68. Hotové zařízení tedy plní standard IP65. Vnější pohled na zařízení je zachycen na obrázku 3.12, vnitřní pohled je na obrázku 3.13.



Obr. 3.12: Vnější pohled na zařízení.



Obr. 3.13: Vnitřní pohled na zařízení.

3.6 Spotřeba zařízení

Obsahem této kapitoly je problematika ohledně spotřeby zařízení. První část je věnována spotřebě některých komponent. V druhé části jsou zahrnuty teoretické výpočty spotřeby a naměřená spotřeba zařízení.

3.6.1 Mikrokontrolér

Jak již bylo řečeno v kapitole 3.2.2, spotřeba samotného mikrokontroléru v režimu spánku by měla být dle datasheetu 20 µA. V provozním režimu je spotřeba mikrokontroléru dle datasheetu 15 mA. Pokud je aktivní WiFi připojení, dle datasheetu by měl mít mikrokontrolér odběr maximálně 120 mA.

3.6.2 Displej

Použitý displej má dle měření spotřebu 0,5 mA v případě, že nic nezobrazuje. Řídící obvod displeje však umožňuje využití režimu spánku, čehož lze samozřejmě využít pro další snížení spotřeby. U displeje typu SSD 1306 výrobce specifikuje maximální protékající proud při použití režimu spánku na 10 µA. Dle měření displej v režimu spánku spotřebovává 4,9 µA. Aktivní displej má spotřebu dle počtu aktivních pixelů, obecně se ale jeho spotřeba dle měření pohybuje kolem 3,5 mA.

3.6.3 Monostabilní klopný obvod

Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.2.5, spotřeba použitého obvodu CD4047BN by dle datasheetu měla být typicky 0,02 µA.

3.6.4 Hodiny reálného času

V kapitole 3.2.4 již bylo uvedeno, že spotřeba použitého IO DS3231 je dle datasheetu 3 µA.

3.6.5 Měnič napětí

Při spuštění měniče vzroste spotřeba zařízení přibližně o 100 mA. Největší zátěž představují zakončovací rezistory na vedení pro RS-485 komunikaci, zbytek spotřeby připadá na napájení senzoru, Attiny a RS-485 převodníky. Měnič je spuštěn v každém měřicím cyklu jen na přibližně 650 ms.

3.6.6 Výpočty spotřeby

Při výpočtech budou uvažována data poskytnutá výrobcem mikrokontroléru, tedy spotřeba v režimu spánku 20 µA, při normální činnosti (měření) 15 mA a při odesílání dat 120 mA. Ke spotřebě v režimu spánku je nutno připočítat ještě především spotřebu displeje, tedy 10 µA. Spotřeba hodin reálného času a monostabilního klopného obvodu je dle datasheetu 3 µA, resp. 0,2 µA. Po přičtení spotřeby stabilizátoru 35 µA vychází celková spotřeba v režimu spánku 68,2 µA.

V režimu měření je celková spotřeba tvořena především spotřebou běžícího mikrokontroléru a komponent napájených z měniče napětí.

Při odesílání dat se bude uvažovat uvedená spotřeba 120 mA. Tato doba zahrnuje kromě odesílání dat i připojování k WiFi síti. Samotné připojování trvá nejdéle a závisí především na kvalitě signálu. Dle testování se tato doba pohybuje mezi 10 až 15 sekundami, přičemž následné odesílání dat je otázka několika milisekund.

Pro výpočet průměrné spotřeby lze využít vztah

$$I_{avg} = Q/t, \tag{3.5}$$

Při měření například 1x za hodinu lze dosadit do vztahu (3.5) a vypočítat průměrnou spotřebu za 1 h v případě neodesílání dat:
$\mathrm{I_{avg(1h)}} = 68,2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3598}{3600} + 125 \cdot \frac{0,65}{3600} + 15 \cdot \frac{1,35}{3600} \doteq 0,0964$ mAh.
Stejným způsobem lze vypočítat průměrnou spotřebu za 1 h v případě odesílání dat na cloud:
$\mathrm{I_{avg(1h)}} = 68,2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3585}{3600} + 125 \cdot \frac{0,65}{3600} + 120 \cdot \frac{14,35}{3600} \doteq 0,5688$ mAh. V případě odesílání na cloud 2x denně lze jednoduchým sečtením hodinových násobků uvedených

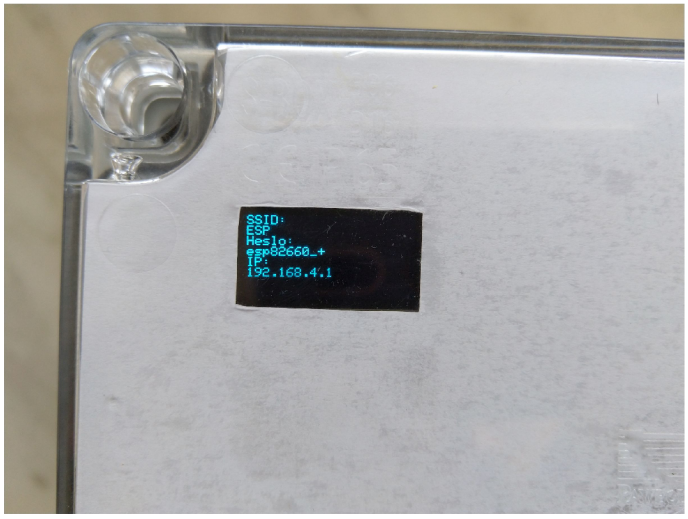
hodnot zjistit očekávanou denní spotřebu 3,2575 mAh, což odpovídá roční spotřebě 1188,9807 mAh.

3.6.7 Naměřená spotřeba

Spotřeba zařízení dle měření dosahuje 61 µA v režimu spánku. Pokud se neodesílají data a probíhá pouze běžný měřicí cyklus, je spotřeba při spuštěném měniči napětí 130 mA a po vypnutí měniče než přejde mikrokontrolér do režimu spánku 15 mA. V případě odesílání dat se po spuštění WiFi modulu spotřeba pohybuje kolem 80 mA.

4 Test funkčnosti zařízení

Po výmazu konfigurace nebo prvotním spuštění zařízení je jej nutno nakonfigurovat. Na displeji se zobrazí název vytvořené WiFi sítě, heslo k připojení a IP adresa, kterou je nutno zadat do prohlížeče po připojení, viz obrázek 4.1.



Obr. 4.1: Zobrazení konfiguračních informací.

Po připojení na WiFi a zadání IP adresy do prohlížeče se zobrazí na zařízení konfigurační stránka, viz obrázek 3.4.

Následně se provede test připojení k nakonfigurované WiFi síti. Pokud je připojení úspěšné, daná konfigurace je uložena do paměti, o čemž je uživatel informován na displeji.

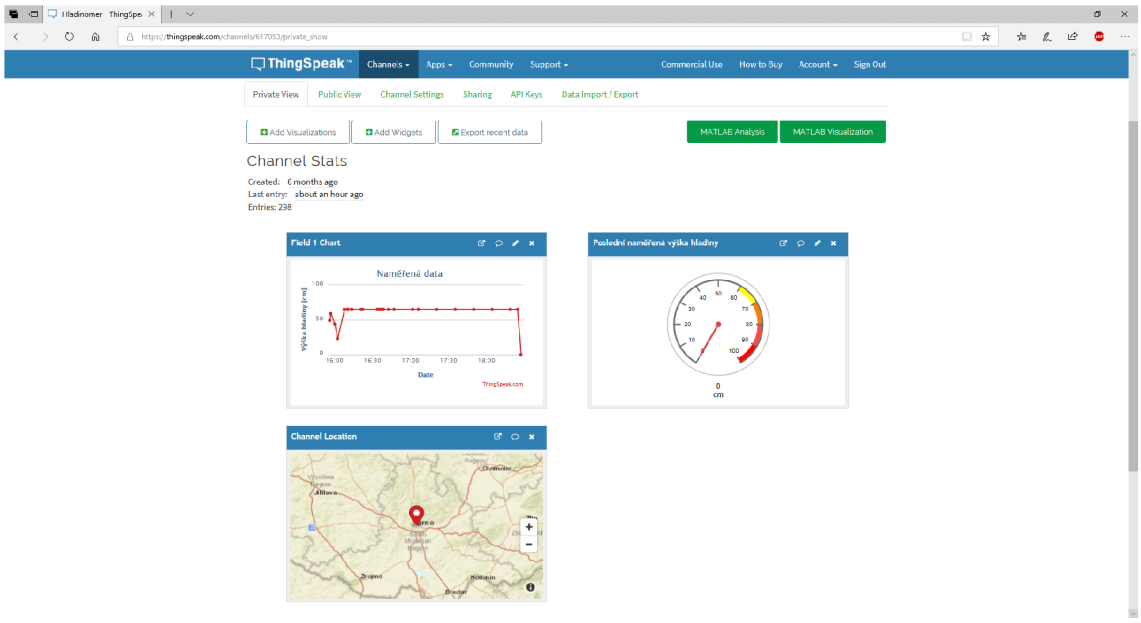
V opačném případě nedojde k uložení konfigurace a na displeji se znovu zobrazí údaje pro připojení k WiFi síti a zároveň je znovu vytvořena WiFi síť.

Po úspěšném uložení konfigurace je následně změřena první hodnota. Stisknutím tlačítka je rovněž možno zařízení probudit ze spánku. Následně se na krátkou chvíli zobrazí na displeji zpráva o probíhajícím měření.

Jakmile je měření dokončeno, což trvá přibližně 650 ms, zobrazí se na displeji po dobu 10 sekund aktuální výška hladiny v centimetrech, viz obrázek 4.2.

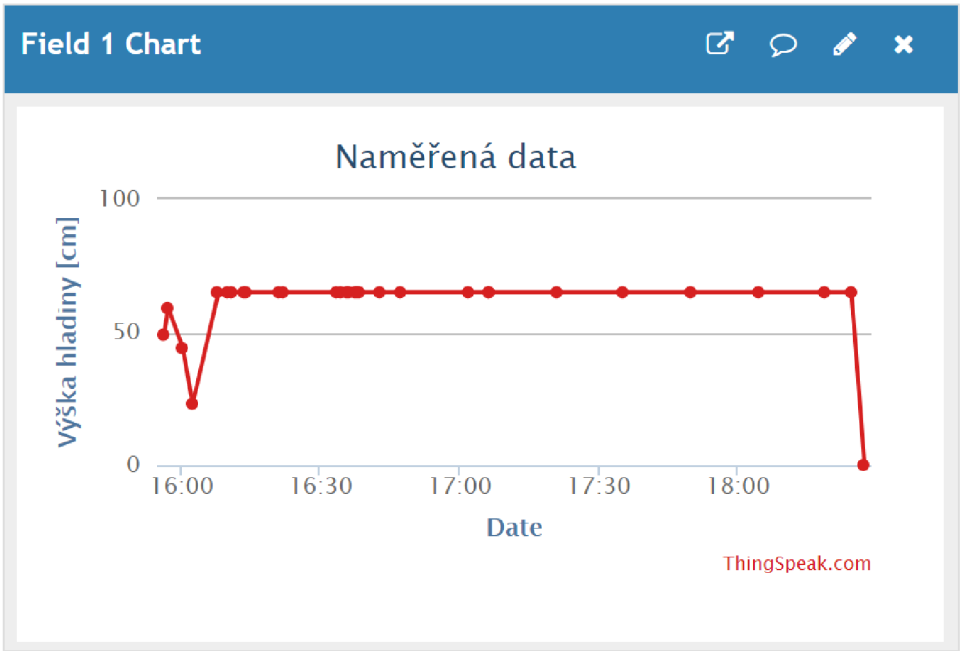
Obr. 4.2: Naměřená hodnota.

Zařízení se následně probouzí v pravidelných časových intervalech dle nastavené konfigurace. Po určitém počtu měření, opět dle konfigurace, je provedeno připojení k WiFi síti a odeslání dat na cloud. Tato data je následně možno po přihlášení k účtu zobrazit na stránce thingspeak.com [8], viz obrázek 4.3.



Obr. 4.3: Zobrazení naměřených hodnot.

Testování zařízení probíhalo ve venkovní nádrži o výšce 80 cm. Zvětšení grafu z obrázku 4.3 je na obrázku 4.4.



Obr. 4.4: Graf naměřených hodnot.

Z obrázku je patrné počáteční manuální měření při umisťování senzoru do různé hloubky. Následně byl senzor spuštěn na dno nádrže kde bylo provedeno postupně několik manuálních měření. Od 17:05 pak probíhalo pouze automatické měření s nastavenou periodou měření po 15 minutách. Poslední naměřená hodnota 0 cm byla naměřena opět manuálně po vytažení senzoru z nádrže.

5 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout zařízení pro měření výšky hladiny. Požadavkem bylo napájení na baterie, možnost konfigurace zařízení dle volby uživatele a zobrazení naměřených dat alespoň dvěma způsoby, pomocí displeje a cloudu.

Pro měření výšky hladiny byl zvolen snímač hydrostatického tlaku. K zajištění vyšší spolehlivosti měření a omezení možnosti rušení na vedení k senzoru byla zhotovena DPS s Attiny85 a RS-485 převodníkem zajišťující převod analogového signálu senzoru na digitální v bezprostřední blízkosti senzoru.

Součástí návrhu hlavní DPS s mikrokontrolérem ESP8266 byl zvyšující měnič napětí pro napájení senzoru. K umožnění nabíjení baterií bez potřeby externího nabíjecího zařízení li-ion baterií byl součástí návrhu DPS rovněž nabíjecí obvod. Díky použitému konektoru microUSB je možno baterie nabíjet například běžnou nabíječkou mobilních telefonů nebo v případě nedostupnosti elektrické sítě rovněž powerbankou.

Po prvotním spuštění nebo výmazu konfigurace lze zařízení konfigurovat. Na konfigurační stránce si lze navolit požadovanou periodu měření a odesílání dat na cloud. V případě nakonfigurování odesílání emailů zařízení při poklesu napětí baterie pod 3,4 V odesílá 1x denně varovné emaily. Navíc lze nastavit i možnost odesílání varovných emailů v případě, že bude naměřeno překročení zadané minimální nebo maximální výšky hladiny. K zobrazení naměřených dat byl vybrán IoT cloud Thingspeak.com, jelikož umožňuje registraci a užívání zdarma.

Zařízení jako celek bylo navrhováno s důrazem na nízkou spotřebu. K dalšímu prodloužení výdrže na baterie zařízení obsahuje dvě li-ion baterie o kapacitě 3400 mAh.

Literatura

[1] ĎAĎO, S., L. BEJČEK a A. PLATIL. *Měření průtoku a výšky hladiny.* Praha: BEN – technická literatura, 2005, 448 s. ISBN 80-7300-156-x.

[2] *JSP, s.r.o. - Měření a regulace* [online]. [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: `http://www.jsp.cz/`

[3] TIŠNOVSKÝ, P. *Komunikace po sériové sběrnici I2C.* Root.cz [online]. Praha: Internet Info, 2009 [cit. 2018-11-4]. Dostupné z: `https://www.root.cz/clanky/komunikace-po-seriove-sbernici-isup2supc/`

[4] TIŠNOVSKÝ, P. *Externí sériové sběrnice SPI a I²C.* Root.cz [online]. Praha: Internet Info, 2008 [cit. 2018-12-07]. Dostupné z: `https://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/`

[5] SIKORA, M. a P. ČÍKA. *SMĚROVÁNÍ, FIREWALL, BEZDRÁTOVÉ SÍTĚ.* Vysoké učení technické v Brně. Návod k laboratornímu cvičení BPIS.

[6] JEŘÁBEK, J. Komunikační technologie [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2013 [cit. 2018-12-07]. ISBN 978-80-214-4713-4. Dostupné z: `https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=71518`

[7] SIKORA, M. a P. ČÍKA. *TERMINÁLOVÉ APLIKACE TELNET A SSH, PROTOKOL HTTP A HTTPS.* Vysoké učení technické v Brně. Návod k laboratornímu cvičení BPIS.

[8] *Thingspeak* [online]. MathWorks, ©2018 [cit. 2018-12-14]. Dostupné z: `https://thingspeak.com/`

[9] *ESP8266 Datasheet* [online]. Verze 6.0. Espressif, ©2018 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: `https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf`

[10] *SSD1306 datasheet* [online]. Solomon Systech Limited, ©2008 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: `https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SSD1306.pdf`

[11] *DS3231 datasheet* [online]. Maxim Integrated, ©2015 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: `https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf`

[12] *CD4047BM datasheet* [online]. Texas Instruments, ©2003 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: `http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4047b-mil.pdf`

[13] *Attiny85 datasheet* [online]. Atmel, ©2013 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2586-AVR-8-bit-Microcontroller-ATtiny25-ATtiny45-ATtiny85_Datasheet.pdf

[14] *SN75176AD datasheet* [online]. Texas Instruments [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn75176a.pdf

[15] *Knihovna Adafruit_SSD1306* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: https://github.com/adafruit/Adafruit_SSD1306

[16] *Knihovna Adafruit_GFX* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: https://github.com/adafruit/Adafruit-GFX-Library

[17] GROKHOTKOV, Ivan. *Knihovna WiFiClientSecure* [online]. ©2015 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: https://github.com/esp8266/Arduino/blob/master/libraries/ESP8266WiFi/src/WiFiClientSecure.h

[18] *Knihovna RTClib* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: https://github.com/adafruit/RTClib

[19] *Knihovna FS* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: https://github.com/esp8266/Arduino/blob/master/cores/esp8266/FS.h

[20] GROKHOTKOV, Ivan. *Knihovna NTPtimeESP* [online]. ©2015 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: https://github.com/SensorsIot/NTPtimeESP

[21] *Download.* Bootstrap [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: https://getbootstrap.com/docs/4.3/getting-started/download/

[22] *Forms.* Bootstrap [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: https://getbootstrap.com/docs/4.3/components/forms/

[23] *Bubble sort.* Algoritmy.net [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://www.algoritmy.net/article/3/Bubble-sort

[24] *Write many entries to a channel in JSON format with a single HTTP POST* [online]. MathWorks, ©1994-2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://www.mathworks.com/help/thingspeak/bulkwritejsondata.html

[25] GROKHOTKOV, Ivan. *Filesystem.* ESP8266 Arduino Core [online]. ©2016 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/filesystem.html

[26] *Send email from ESP32.* Keri's lab [online]. ©2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: https://kerikeri.top/posts/2017-04-08-esp32-mail/

[27] *ICR18650-340PCM datasheet* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://www.tme.eu/Document/da4d66c21b75bddd27c72eccdfa5d0e1/ACCU-18650-3.4PCB.pdf

[28] *BQ2057CSN datasheet* [online]. Texas Instruments [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq2057t.pdf

[29] *D45H11 datasheet* [online]. ST MICROELECTRONICS [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://www.st.com/resource/en/datasheet/d44h8.pdf

[30] KUBÍČEK, Michal. *Chlazení polovodičových součástek.* Vysoké učení technické v Brně. Přednáška z předmětu BNEZ.

[31] *AP1609SG-13 datasheet* [online]. Diodes Incorporated, ©2009 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://www.diodes.com/assets/Datasheets/AP1609.pdf

[32] *IRLML2244TRPBF datasheet* [online]. Infineon [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://www.infineon.com/dgdl/irlml2244pbf.pdf?fileId=5546d462533600a401535664bfff25f0

[33] *XC6210B332MR datasheet* [online]. Torex [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://www.torexsemi.com/file/xc6210/XC6210.pdf

[34] *MCP1825S-5002E/DB datasheet* [online]. Microchip, ©2008 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22056b.pdf

[35] GROKHOTKOV, Ivan. *Nodemcu Reset Method.* ESP8266 Arduino Core [online]. ©2017 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/faq/a01-espcomm_sync-failed.html#nodemcu

Seznam symbolů, veličin a zkratek

AP	Access Point
BSSID	Basic Service Set Identifier
CS	Chip Select
DTR	Data Terminal Ready
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IO	Integrovaný Obvod
IoT	Internet of Things
JSON	JavaScript Object Notation
LSB	Least Significant Bit
MISO	Master in, Slave out
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MOSI	Master out, Slave in
MSB	Most Significant Bit
RTS	Ready To Send
SCL	Synchronous Clock
SCLK	Serial Clock
SDA	Synchronous Data
SPI	Serial Peripheral Interface
SSID	Service Set Identifier
TCP	Transmission Control Protocol
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
USB	Universal Serial Bus
WiFi	Wireless Fidelity

Seznam příloh

A Schémata zapojení **53**

B Návod k používání zařízení **56**

B.1 Vytvoření účtu na Thingspeak 56

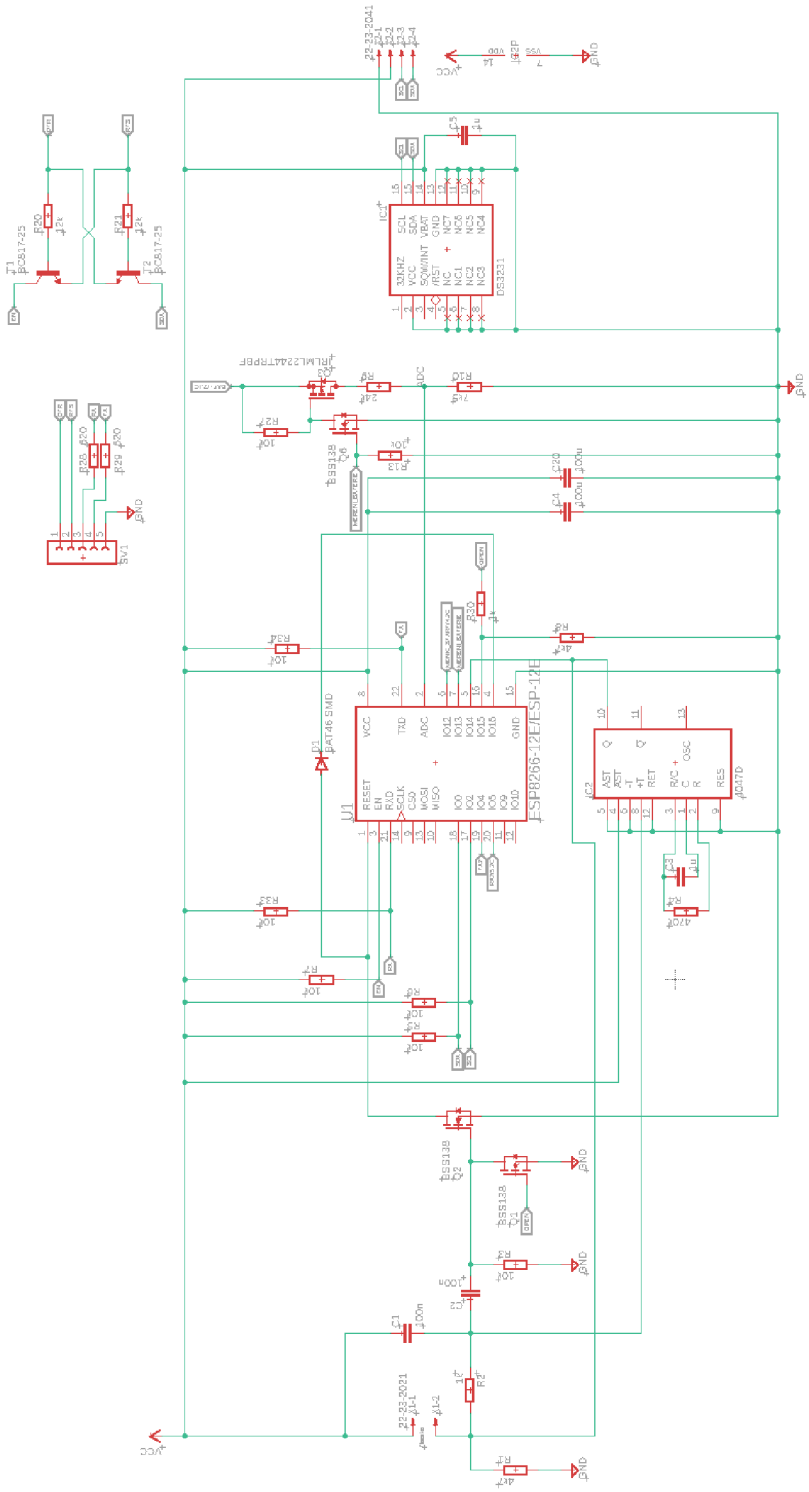
B.2 Založení emailového účtu 56

B.3 Konfigurace zařízení 56

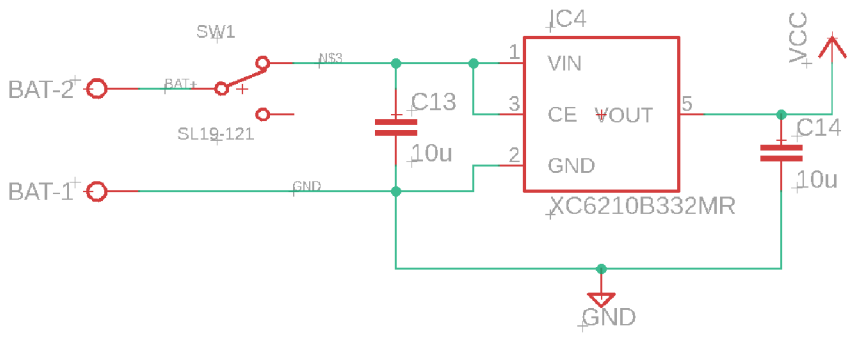
B.4 Manuální měření 58

C Obsah přiloženého DVD **59**

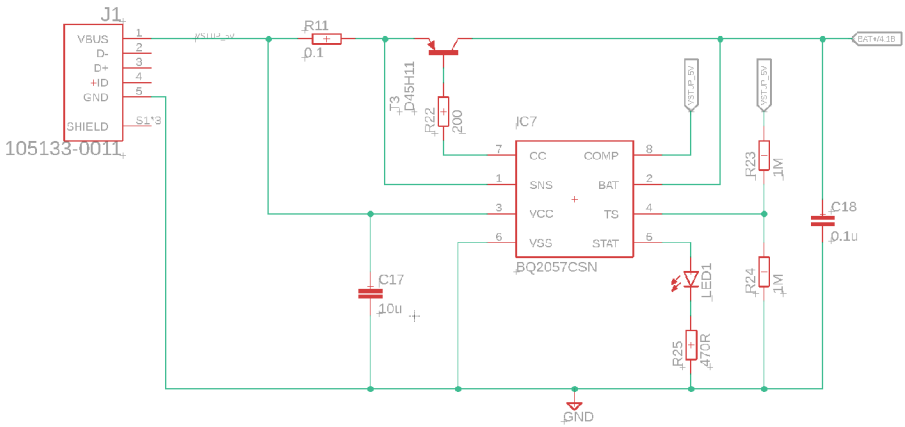
A Schémata zapojení



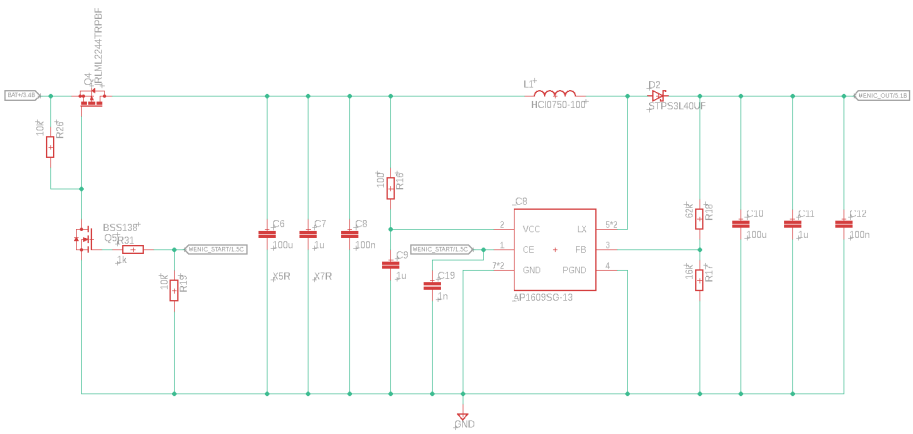
Obr. A.1: Zapojení hlavní části.



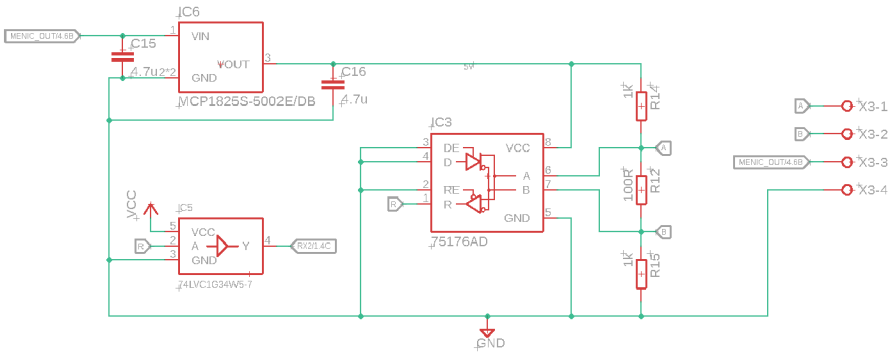
Obr. A.2: Zapojení stabilizátoru 3,3 V.



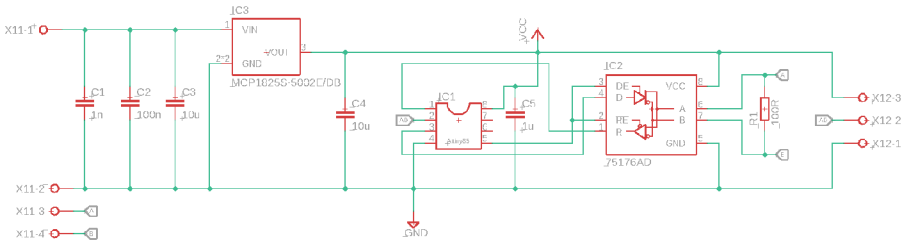
Obr. A.3: Zapojení nabíjecího obvodu.



Obr. A.4: Zapojení měniče napětí.



Obr. A.5: Zapojení RS-485 převodníku.



Obr. A.6: Zapojení Attiny, RS485 a stabilizátoru.

B Návod k používání zařízení

B.1 Vytvoření účtu na Thingspeak

Pro možnost zobrazení dat je nutné si nejprve založit účet na stránce Thingspeak.com a následně potvrdit registraci kliknutím na link v příchozím emailu. Po úspěšném vytvoření účtu po rozkliknutí kolonky Channels se provede založení nového channelu kliknutím na New Channel. Zde je zapotřebí vyplnit pouze název channelu a případně je možno přejmenovat pole Field 1, do kterého zařízení standardně odesílá data.

B.2 Založení emailového účtu

Z důvodu nešifrované komunikace při přenosu hesla při odesílání emailů prostřednictvím SMTP protokolu je vhodné si založit oddělený email určený pouze pro účely odesílání emailů zařízením. Zasílání emailů bylo testováno s emailem založeným na doméně gmail.com. Pokud není vyžadováno zasílání varovných emailů, lze tento krok vynechat.

B.3 Konfigurace zařízení

Po výmazu konfigurace nebo prvotním spuštění zařízení je nutno zařízení nakonfigurovat. K tomu se stačí připojit k WiFi síti vytvořené zařízením pomocí SSID a hesla zobrazeného na displeji. Po úspěšném připojení a zadání IP adresy zobrazené na displeji zařízení do prohlížeče již lze provést samotnou konfiguraci, viz obrázek B.1.

Nejprve je nutno vyplnit údaje SSID a Password pro připojení k vlastní WiFi síti, přes kterou se budou následně odesílat data. Dále je zapotřebí vyplnit Channel ID a API klíč k posílání dat na Thingspeak. Tyto údaje lze nalézt na stránce Thingspeak.com po přihlášení k již vytvořenému účtu po rozkliknutí kolonky Channels a následně API keys, viz obrázek B.2.

Následně se provede nastavení periody měření a odesílání dat v minutách. Periodu měření lze nastavovat od 15 do 60 minut v násobcích 15 minut a od 1 hodiny do 12 hodin v násobcích 1 hodiny. Periodu odesílání lze nastavovat v násobcích periody měření, maximálně do 32-násobku této hodnoty.

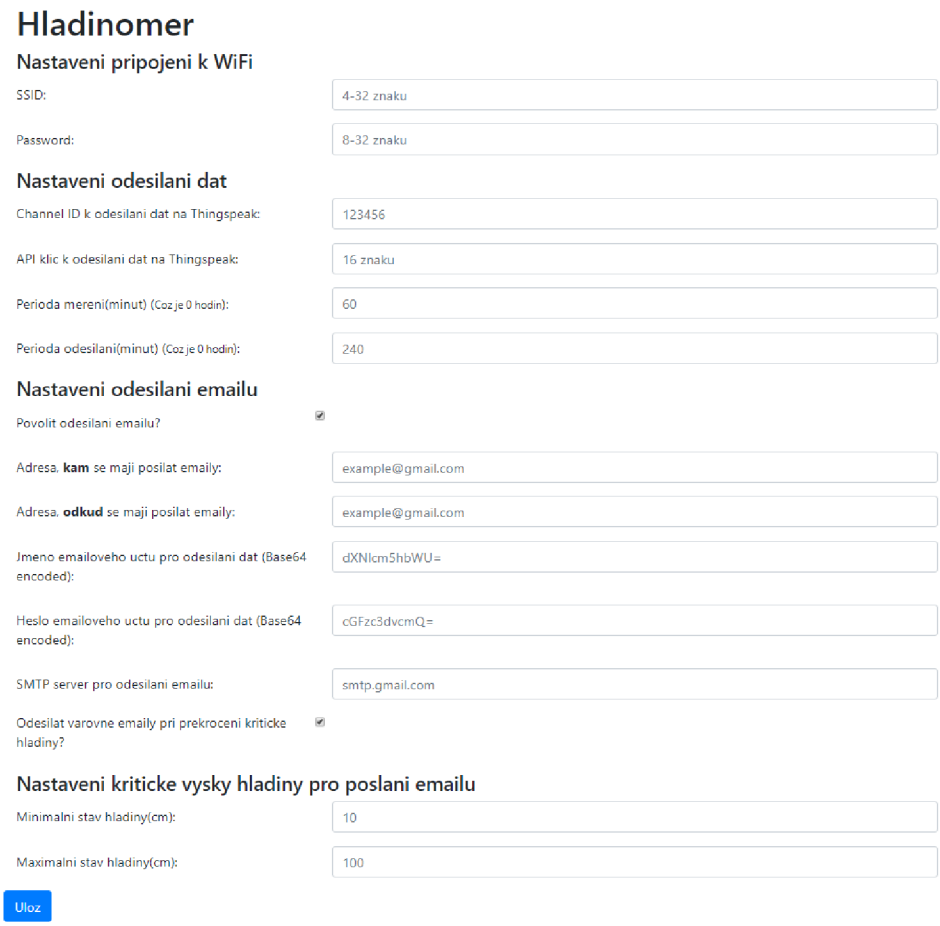
Dále lze volitelně nastavit zasílání emailů. Zde jsou povinnými položkami adresy příjemce a odesílatele, přihlašovací jméno k emailovému účtu ve formátu Base64 a

heslo k přihlášení k tomuto účtu rovněž ve formátu Base64. K převedení do formátu Base64 lze využít volně dostupných nástrojů na internetu. Poslední povinnou položkou je uvedení adresy SMTP serveru pro odesílání emailů. Zařízení nyní bude automaticky zasílat varovné emaily v případě nízkého napětí baterie 1x denně.

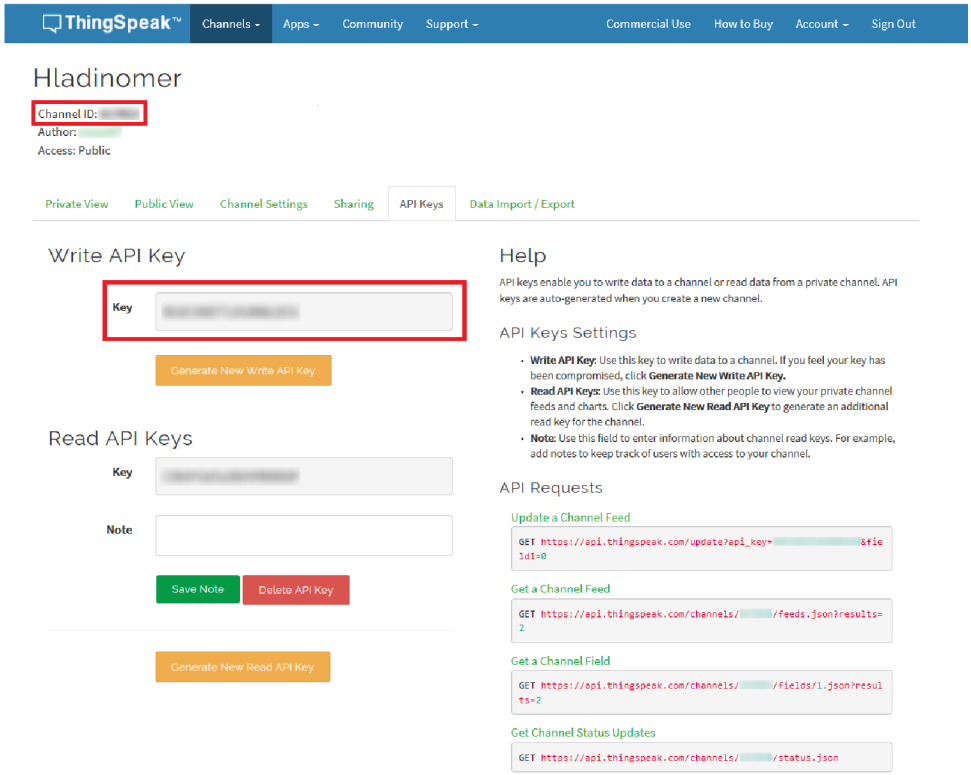
Pokud je nastaveno zasílání emailů, volitelně lze nastavit zasílání emailů v případě, že bude naměřena výška hladiny mimo požadovaný rozsah. K tomu stačí pouze povolit odesílání varovných emailů a vyplnit minimální a maximální stav hladiny v centimetrech, který nemá být překročen.

Po uložení konfigurace zařízení provede test připojení k nakonfigurované WiFi síti. Pokud je tento test úspěšný, je konfigurace uložena do paměti a zařízení bude v nastavených intervalech měřit výšku hladiny a data odesílat na cloud. V případě, že připojení k WiFi síti selže, je vytvořen opět WiFi hotspot a zařízení je nutno znovu nakonfigurovat a uvést správné údaje k připojení k WiFi síti.

Výmaz konfigurace lze provést dlouhým stiskem tlačítka po dobu přibližně 5 sekund.



Obr. B.1: Konfigurace.



Obr. B.2: Channel ID a API klíč.

B.4 Manuální měření

Zařízení umožňuje provádět manuální měření. Pokud již bylo zařízení správně nakonfigurováno, krátkým stiskem tlačítka se provede probuzení zařízení a změření aktuální výšky hladiny. Tato hodnota je následně zobrazena na displeji po dobu 10 sekund.

C Obsah přiloženého DVD

Na médiu je přiložen text práce ve formátu PDF, Eagle soubory navržených DPS a zdrojové kódy k ESP8266 a Attiny85. Ve složce Zdrojové kódy/Zdrojový kód ESP8266/data se nacházejí soubory konfigurační stránky.

```
/ ..............................................kořenový adresář přiloženého DVD
├── Text
│   └── Bakalarska_prace.pdf
├── Eagle
│   ├── DPS_hlavni.brd
│   ├── DPS_hlavni.sch
│   ├── DPS_senzor.brd
│   └── DPS_senzor.sch
└── Zdrojové kódy
    ├── Zdrojový kód Attiny85
    │   ├── attiny.ino
    │   └── attiny.txt
    └── Zdrojový kód ESP8266
        ├── data
        │   ├── bootstrap.css
        │   ├── index.html
        │   └── javascript.js
        ├── hladinomer.ino
        └── hladinomer.txt
```