



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY**

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

**REALIZACE MONITOROVACÍHO SYSTÉMU
POKOJOVÝCH ROSTLIN V PROSTŘEDÍ IOT**

IMPLEMENTATION OF MONITORING SYSTEM OF HOUSE PLANTS IN IOT ENVIRONMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Sebastián Mach

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Stanislav Věchet, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student: **Bc. Sebastián Mach**
Studijní program: Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor: Mechatronika
Vedoucí práce: **doc. Ing. Stanislav Věchet, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

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

Realizace monitorovacího systému pokojových rostlin v prostředí IoT

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je realizace senzorické soustavy vhodné pro měření fyzikálních veličin spojených s pěstováním pokojových rostlin. Důraz je kladen především na volbu a návrh hardware použitých senzorů. Senzorická výbava musí umožňovat bezdrátové připojení a komunikaci s vybranou cloudovou službou pro zprávu měřených dat.

Cíle diplomové práce:

1. Proved'te rešeršní studii dostupných senzorů.
2. Prostudujte možnosti cloudových služeb na zpracování dat.
3. Navrhněte sensor s bezdrátovou komunikací a dostatečnou výdrží na vestavěné akumulátory.
4. Propojte senzory s cloudovou službou pro zpracování dat.
5. Navržené řešení prakticky otestujte.

Seznam doporučené literatury:

LIGHT, R. A., Mosquitto: server and client implementation of the MQTT protocol, The Journal of Open Source Software, vol. 2, no. 13, May 2017, DOI: 10.21105/joss.00265

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto diplomová práca sa zaoberá návrhom a vývojom senzora do kvetináča, ktorý monitoruje údaje spojené s pestovaním izbových rastlín. Senzor dáta posiela na cloud, kde prebieha analýza a vyhodnotené životné podmienky sledovanej rastliny sú zobrazené užívateľovi.

ABSTRACT

This master's thesis is about the design and development of a flower pot sensor, which monitors data related to the cultivation of houseplants. The sensor sends the data to the cloud, where the analysis is performed and the evaluated living conditions of the monitored plant are displayed to the user.

KLÍČOVÁ SLOVA

Internet věcí, senzor, rostlina, cloud, analýza dat

KEYWORDS

Internet of Things, sensor, plant, cloud, data analysis

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MACH, Sebastián. *Realizace monitorovacího systému pokojových rostlin v prostředí IoT*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124891>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Stanislav Věchet.

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval svojmu vedúcemu práce doc. Ing. Stanislavovi Věchetovi, Ph.D., za jeho vedenie, konzultácie a rady pri tvorbe tejto práce. Ďalej by som chcel poďakovať Jakubovi Lešinskému za rady pri tvorbe praktickej časti tejto práce.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením doc. Ing. Stanislava Věcheta, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname literatúry.

V Brne dňa 11.2. 2020

.....

Sebastián Mach

OBSAH

1	ÚVOD.....	7
2	PRIESKUM TRHU	8
2.1	PARROT FLOWER POWER.....	8
2.2	XIAOMI MI FLORA.....	9
2.3	FYTA BEAM.....	10
2.4	PLANT LINK.....	11
2.5	POROVNANIE	12
3	SENZORY	13
3.1	SENZOR PRE VLHKOSŤ PÔDY _z	13
3.1.1	ODPOROVÝ TYP	13
3.1.2	KAPACITNÝ TYP.....	15
3.2	SENZOR PRE INTENZITU OSVETLENIA	16
3.2.1	KY-018	16
3.2.2	BH1750	17
3.3	SENZOR PRE TEPLOTU A VLHKOSŤ VZDUCHU.....	18
3.3.1	BME280	18
3.4	ZHRNUTIE.....	18
4	MIKROKONTROLÉR	19
4.1	BEZDRÔTOVĚ SIEŤOVÉ TECHNOLOGIE	19
4.1.1	BLUETOOTH.....	19
4.1.2	WI-FI	19
4.1.3	IQRF	20
4.1.4	ZigBee.....	20
4.1.5	LoRa.....	21
4.2	KOMUNIKÁCIA SO SENZORMI.....	21
4.2.1	I ² C	21
4.2.2	ANALÓGOVO-DIGITÁLNY PREVODNÍK.....	23
4.3	MODULY	24
4.3.1	EY-08.....	24
4.3.2	ESP-12F	25
4.3.3	TR-72D	26
4.3.4	ZÁVER	26
5	CLOUDOVÉ ÚLOŽISKO	27
5.1	VARIANTY CLOUDOVÝCH ÚLOŽÍSK.....	27
5.1.1	GOOGLE CLOUDS'S IOT PLATFROM.....	27
5.1.2	AMAZON WEB SERVICES IOT PLATFORM.....	27
5.1.3	THINGSPEAK.....	27
5.1.4	MONGODB ATLAS	28
6	MODUL ESP	29
6.1	PINY	30
6.2	PAMÄŤ.....	31
6.3	KRYŠTÁL	31
6.4	SPOTREBA	31

7	VÝVOJ FUNKČNÉHO MODULU	32
7.1	SOFTWARE DEVELOPMENT KIT.....	32
7.1.1	NODEMCU.....	32
7.1.2	WEMOS D1 MINI	32
7.2	PRÁCA SO SENZORMI.....	33
7.2.1	BME280	33
7.2.2	BH1750	34
7.2.3	SENZOR VLHKOSTI.....	35
7.3	NAPÁJANIE	36
7.3.1	TYPY BATÉRIÍ.....	37
7.3.2	NABÍJACÍ MODUL	38
7.3.3	SCHÉMA NAPÁJANIA.....	39
7.4	NAHRANIE UŽÍVATEĽSKÉHO PROGRAMU	39
7.5	WI-FI MANAŽÉR	40
7.6	RESET	41
7.7	PRIPOJENIE NA A/D PREVODNÍK.....	42
7.7.1	MOSFET TRANZISTORY	43
7.7.2	ANALÓGOVÝ MULTIPLEXER.....	44
7.8	PRIEBEH VYBÍJANIA BATÉRIE	45
7.9	KOMUNIKÁCIA	46
8	MONITOROVANIE PODMIENOK	47
8.1	DATABÁZA RASTLÍN.....	47
8.2	MONITOROVANIE MERANÝCH VELIČÍN	47
8.3	MONITOROVANIE VLHKOSTI V KVETINÁČI.....	47
8.4	MONITOROVANIE VÝDRŽE BATÉRIE.....	48
9	UŽÍVATEĽSKÁ APLIKÁCIA	50
9.1	NODE.JS.....	50
9.2	REACT NATIVE	51
9.3	EXPO	51
9.4	UKÁŽKY Z APLIKÁCIE	52
10	ZÁVER.....	59
11	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	60
12	ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK	64
13	PRÍLOHY	66
13.1	NÁVRH DOSKY PLOŠNÝCH SPOJOV SENZORA	66
13.2	SCHÉMA ZAPOJENIA SENZORA.....	68

1 ÚVOD

V súčasnosti sa často stretávame so slovným spojením Internet vecí (Internet of Things skrátené IoT), ktoré reprezentuje skupinu prístrojov komunikujúcich cez internet.

Túto skupinu je možné rozdeliť na dva hlavné segmenty, a to priemyselný a spotrebný v domácnostiach, ktorého hlavným poslaním je uľahčiť ľuďom život. Najčastejšie sa tento pojem používa v súvislosti s inteligentnou domácnosťou. K základným úlohám takejto domácnosti patrí automatizácia jednoduchých úloh, šetrenie nákladov, času a možnosť sledovať či ovládať svoju domácnosť vzdialene napríklad pomocou aplikácie.

Internet vecí v domácnosti sa začal dostávať do povedomia cez elementárne zariadenia ako termostat alebo žiarovka. Dnes s rastúcou popularitou inteligentnej domácnosti sa IoT zariadenia dostávajú aj do nových oblastí napríklad hlasoví asistenti, chytré elektrické zásuvky, zvončeky, autonómne vysávače, bezpečnostné kamery alebo senzory pre rastliny.

Práve poslednou oblasťou sa bude zaoberať táto práca. Cieľom bude navrhnuť a vyrobiť senzor pre monitorovanie základných veličín potrebných pre pestovanie interiérových rastlín. Senzor bude zbierať a analyzovať informácie o podmienkach pre rastlinu, ktoré budú prehľadne prístupné pre užívateľa. Zmyslom tejto práce je zvýšenie úrovne pestovania rastlín tým, že umožňuje optimalizáciu životných podmienok rastliny na základe priebehov monitorovaných veličín a zatriktívnenie pestovania rastlín pre fanúšikov smart home zariadení.

2 PRIESKUM TRHU

Senzory pre monitorovanie podmienok interiérových rastlín sú dnes časťou ekosystému inteligentných domácností. Ich cieľom je sprevádzať používateľa pri pestovaní rastlín tak, aby boli podmienky pre daný typ rastliny ideálne. Dosahujú to meraním vlhkosti zeme alebo svetelnej intenzity. Tieto dáta sú spracované a výsledky poslané napríklad pomocou aplikácie v smartfóne formou notifikácií.

Senzory sú dostupné od viacerých výrobcov za relatívne nízke náklady pre základné modely. Je možné ich rozdeliť podľa typu vyhotovenia na kvetináč s integrovanými senzormi alebo senzor s hrotom, ktorý sa zapichne do už existujúceho kvetináča.

Táto práca sa bude zaoberať druhým typom, ktorý je užívateľsky viacej prívetivý z hľadiska ceny, náročnosti inštalácie a mobility.

2.1 PARROT FLOWER POWER

Parrot Flower Power je jeden z najznámejších senzorov do kvetináča. Je dostupný vo viacerých farebných prevedeniach a pripomína tvar konára. Obal je vodotesný, meria intenzitu svetla, teplotu vzduchu, vlhkosť zeme a jej elektrickú vodivosť pre vyhodnotenie množstva hnojiva.

Pre bezdrôtovú komunikáciu používa Bluetooth. Na napájanie používa vymeniteľnú AAA batériu, ktorá v kombinácii s nízkou energetickou náročnosťou použitého typu komunikácie vydrží 6 mesiacov používania.

Pre spracovanie dát zo senzora sa používa aplikácia od výrobcu. Obsahuje databázu 7 000 rastlín, ktoré sú doplnené o informácie pre ich pestovanie. Senzoru je možné priradiť profil s rastlinou z databázy a aplikácia následne po vyhodnotení dát začne posilať upozornenia pokiaľ senzor zaznamená zhoršené podmienky. Výhodou tohto senzora je možnosť použitia v exteriéri. Nevýhodou je vysoká cena, ktorá sa pohybuje okolo 55 dolárov. [1]



Obr.1: Parrow Flower Power [2].

2.2 XIAOMI MI FLORA

Čínska firma Xiaomi je známa svojím širokým sortimentom zariadení do domácnosti. Jedným z nich je aj senzor do kvetináča s názvom Xiaomi Mi Flora, ktorý meria teplotu, osvetlenie, pH, vlhkosť zeme a množstvo živín.

Pre komunikáciu používa technológiu Bluetooth. Napájanie je riešené pomocou vymeniteľnej batérie CR2032, ktorá zabezpečí chod na približne rok.

Na spracovanie a prehľad nameraných dát slúži aplikácia Mi Home, ktorá zastrešuje množstvo ďalších zariadení od tohto výrobcu. Po pripojení k senzoru sú dáta zosynchronizované a aplikácia poskytne či už aktuálne hodnoty meraných veličín, ale aj ohodnotenie kvality starostlivosti a tipy na jej zlepšenie.

Plusom tohto senzora sú kompaktné rozmery a nízka cena, ktorá sa pohybuje okolo 20 dolárov. Nevýhodou je absencia notifikácií napríklad pri zníženej úrovni vlhkosti. [3]



Obr. 2: Xiaomi Mi Plant [4].

2.3 FYTA BEAM

FYTA Beam je senzor do kvetináča, ktorý podporuje meranie vlhkosti zeminy, živín, svetelnej intenzity a teploty. Vývoj senzora je financovaný z crowdfundingovej kampane. Funguje ako doposiaľ spomenuté senzory – meria podmienky v kvetináči a posiela notifikácie pre správnu starostlivosť.

Komunikuje pomocou technológie Bluetooth. Poskytuje možnosť vytvorenia siete z viacerých FYTA zariadení pre zvýšenie dosahu až na 100 metrov. Napájanie je zabezpečené kombináciou solárneho článku a gombíkovej batérie. Ovládanie a prehľad dát je možný z aplikácie, ktorá obsahuje databázu rastlín pestovaných v domácnosti. Cena tohto senzora začína na 40 dolároch. [5]



Obr. 3: FYTA Beam [6].

2.4 PLANT LINK

Plant Link je senzor pre rastliny do interiéru aj exteriéru. Základnú funkciu merania vlhkosti zeminy dopĺňa o možnosť automatického zavlažovania pomocou ventilu, ktorý je možný so zariadením dokúpiť. Komunikuje na odlišnom princípe ako komunikovali doteraz uvedené senzory. Senzory nekomunikujú priamo s aplikáciou, ale posielajú namerané dáta na zbernicu, ktorá je ako jediná pripojená na internet a ukladá dáta na cloud. Toto riešenie zvyšuje životnosť batérie, ale prináša so sebou potrebu centrálnej jednotky, ktorá celé riešenie predražuje. Cena sa pohybuje okolo 70 dolárov. [7]



Obr. 4: Plant Link [8].

2.5 POROVNANIE

Názov senzora	Typ komunikácie	Výdrž batérie	Merané veličiny	Cena
Parrot Flower Power	Bluetooth	6 mesiacov	intenzita osvetlenia, teplota, vlhkosť zeminy a jej elektrická vodivosť	55 \$
Xiaomi Mi Flora	Bluetooth	12 mesiacov	intenzita osvetlenia, teplota, vlhkosť a živiny v zemine, pH,	20 \$
FYTA Beam	Bluetooth	neuvedené	intenzita osvetlenia, vlhkosť a živiny v zemine, teplota	40 \$
Plant Link	Wi-Fi (cez centrálnu jednotku)	neuvedené	vlhkosť zeminy	70 \$

Tabuľka 1: Porovnanie dostupných senzorov do kvetináča.

3 SENZORY

Z analýzy dostupných senzorov do kvetináča vyplýva zoznam veličín, ktoré by malo konkurencieschopné zariadenie merať. Najdôležitejším údajom je vlhkosť zeme v kvetináči, ktorú merajú všetky uvedené senzory v kapitole č. 2. Druhým podstatným ukazovateľom je intenzita osvetlenia, ktorá má výrazný vplyv na životné podmienky rastliny. Ďalšou potrebnou veličinou je teplota okolia v interiéri. Niektoré senzory ponúkajú aj meranie teploty zeme. Drahšie senzory poskytujú aj údaje o pH a množstve živín v kvetináči. Meranie pH vyžaduje dlhší čas a vlhkú pôdu z čoho vyplýva, že presnosť tohto merania je otázná.

Do návrhu senzora do kvetináča bude zakomponované meranie vlhkosti zeme, svetelnej intenzity, teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu v okolí. Senzor bude zložený modulárnym systémom, čo znamená, že už z existujúcich senzorov pre meranie jednotlivých veličín. Táto kapitola sa bude zaoberať zoznamom vhodných senzorov, princípom fungovania, porovnaním a výberom finálneho riešenia.

3.1 SENZOR PRE VLHKOSŤ PÔDY

3.1.1 ODPOROVÝ TYP

Odporový typ senzora pre vlhkosť pôdy sa obvykle skladá z dvoch sond, ktoré sa zapichnú do zeme. Medzi týmito sondami preteká prúd a okolitá zem pôsobí ako odpor. Pokiaľ je v zemi vysoké množstvo vody, odpor je nižší a pri vysychaní zeme sa odpor zvyšuje. Problémom týchto senzorov je to, že sondy sú vyrobené z elektricky vodivého materiálu, ktorý vo vlhkej zemi začína po krátkom čase korodovať.

Názov	Crowtail moisture sensor
Vstupné napätie	3,3 / 5 V
Výstupné napätie	0 – 4,2 V
Cena	2,15 \$

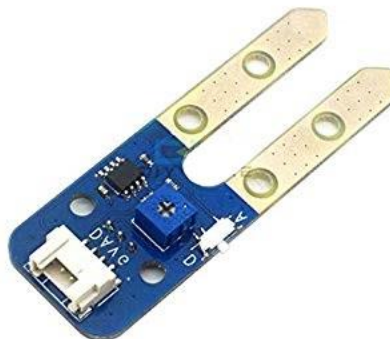
Tabuľka 2: Crowtail Moisture sensor [9].



Obr. 5: Crowtail Moisture sensor [9].

Názov	Soil moisture sensor detection module
Vstupné napätie	3,3 V
Výstupné napätie	neuvedené
Cena	0,57 \$

Tabuľka 3: Soil moisture sensor [10].



Obr. 6: Soil moisture sensor detection [10].

Názov	Hygrometer detection soil moisture
Vstupné napätie	3,3 / 5 V
Výstupné napätie	0 – 2,3 V
Cena	0,42 \$

Tabuľka 4: Hygrometer detection soil moisture [11].



Obr. 7: Hygrometer detection soil moisture [11].

3.1.2 KAPACITNÝ TYP

Kapacitný typ senzora pre vlhkosť pôdy funguje na princípe kondenzátora. Ten sa skladá z kladnej a zápornej dosky, ktoré sú umiestnené pozdĺž tela senzora. Dielektrikum reprezentuje zem v kvetináči.

Senzor meria zmeny kapacity v dôsledku zmeny v dielektriku. Dielektrikum sa môže meniť z viacerých dôvodov ako napríklad pridanie hnojiva, ale najvplyvnejší faktor pri jeho zmene zohráva vlhkosť zeme. Na rozdiel od odporového typu nie sú dosky kondenzátora v priamom kontakte so zemou, čo znamená výrazne dlhšiu životnosť [12].

Názov	Moisture sensor v1.2
Vstupné napätie	3,3 / 5 V
Výstupné napätie	0 – 3,0 V
Cena	0,90 \$

Tabuľka 5: Capacitive soil moisture sensor v1.2 [13].



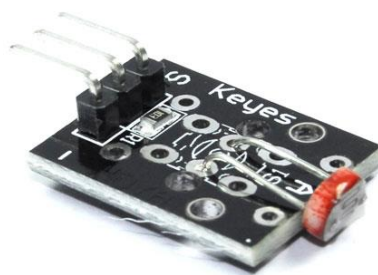
Obr. 8: Capacitive soil moisture sensor v1.2 [13].

3.2 SENZOR PRE INTENZITU OSVETLENIA

3.2.1 KY-018

KY-018 je modul, ktorý meria intenzitu osvetlenia. Cena tohto senzora je približne 0,25 dolára. Výstupom tohto senzora je analógový signál na fotorezistore.

Fotorezistor je dvojpólová súčiastka, ktorej odpor je závislý na osvetlení. Táto závislosť je dosiahnutá fotoelektrickým javom – pohlcované svetelné žiarenie vyvolá zmenu veľkosti elektrickej vodivosti. Počas tmy má súčiastka vysoký odpor, ktorý sa znižuje osvetlením citlivej vrstvy fotorezistoru. Vzťah medzi veľkosťou odporu a osvetlením je nelineárny. Medzi výhody fotorezistorov patrí citlivosť a nízka cena. K negatívnym vlastnostiam patrí teplotná závislosť, dlhá doba odozvy a degradácia snímača [14].

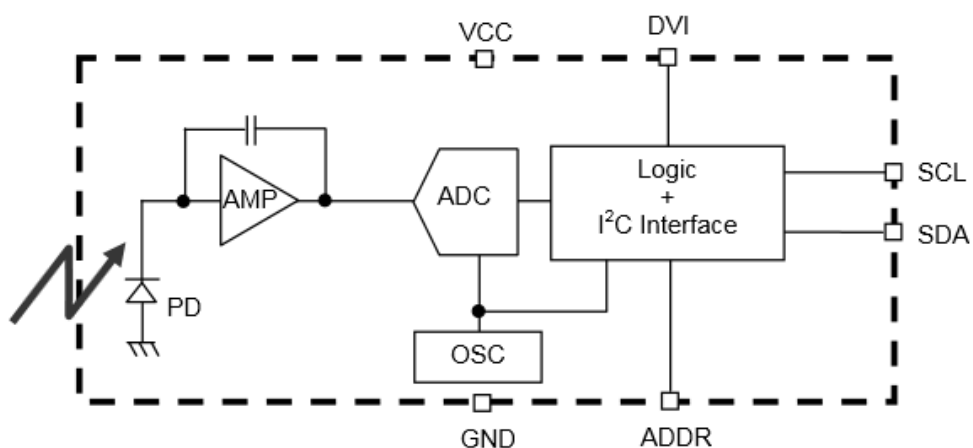


Obr. 9: KY-018 [15].

3.2.2 BH1750

BH1750 je digitálny snímač intenzity osvetlenia s komunikačnou zbernicou I²C. Výstupná hodnota tohto snímača je v SI jednotkách intenzity osvetlenia – lux. Základnou časťou je fotodióda.

Fotodióda je konštrukčne upravená dióda tak, aby na jej PN prechod prenikalo svetlo. Pokiaľ nie je osvetlená, chová sa ako klasická dióda. Pri osvetlení dochádza vplyvom fotoelektrického javu k prechodu elektrického prúdu v závernom smere. Tento jav sa používa pri detekcii osvetlenia [16].



Obr. 10: Bloková schéma fungovania BH1750 [17].

Proces merania svetelnej intenzity začína na fotodióde. Signál z fotodiódy je zosilnený a prevedený do 16 bitového digitálneho signálu. Proces je zakončený I²C logikou, ktorá používa interný oscilátor. Dĺžka procesu merania závisí na nastavenej presnosti merania. Je možné nastaviť presnosť 0,5 / 1 / 4 luxy s dĺžkou merania 120 / 120 / 16 ms. Rozsah merania je od 0 do 65 535 luxov. Cena tohto senzora sa pohybuje okolo 2 dolárov [17].



Obr. 11: BH1750 [17].

3.3 SENZOR PRE TEPLOTU A VLHKOSŤ VZDUCHU

3.3.1 BME280

Pre meranie teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu bol zvolený senzor od firmy Bosch BME280. Jedná sa o digitálny senzor, ktorý navyše meria aj tlak vzduchu. Komunikácia prebieha cez I²C rozhranie. Výhody tohto senzora sú malé rozmery, rýchla odozva, nízka spotreba a cena. Nevýhodou je menšia presnosť, ktorá sa pri teplote pohybuje ± 1 stupeň Celzia a ± 3 % pri vlhkosti vzduchu. Rozsah merania teploty je od -40 do 85 °C [18].



Obr. 12: BME-280 [19].

3.4 ZHRNUTIE

Po teoretickom prieskume a praktickom otestovaní jednotlivých druhov senzorov boli vybrané najvhodnejšie pre aplikáciu v senzore do kvetináča. Ako senzor vlhkosti pôdy bol vybraný kapacitný typ a to hlavne z dôvodu vysokej odolnosti voči vlhkosti v zemi. Pre meranie intenzity osvetlenia je použitý senzor BH1750 vďaka jeho výstupnej hodnote priamo v luxoch, I²C zbernici a nezhodnoteniu snímača v porovnaní s typom, ktorý obsahuje fotorezistor. Teplota a relatívna vlhkosť vzduchu bude meraná senzorom BME280 s I²C zbernicou.

4 MIKROKONTROLÉR

Nasledujúcim krokom pri návrhu senzora do kvetináča je výber vhodného mikrokontroléra. Je to kompaktný integrovaný obvod navrhnutý pre riadenie určitej konkrétnej operácie v zabudovaných (embedded) systémoch. Obsahuje procesor, pamäť, vstupné a výstupné periférie [20].

4.1 BEZDRÔTOVÉ SIEŤOVÉ TECHNOLOGIE

Prvým z najdôležitejších parametrov pri výbere bol typ technológie pre bezdrôtovú komunikáciu. Väčšina zariadení v kapitole č. 2 pracovala s technológiou Bluetooth vďaka jej menšej energetickej náročnosti. Nevýhodou tohto riešenia je to, že užívateľ musí byť v dosahu signálu samotného senzora. Na trhu absentujú zariadenia, ktoré by používali napríklad Wi-Fi, ktorá je v domácnostiach už štandardom. Sensory do kvetináča, ktoré by používali pre komunikáciu novšie technológie ako napríklad ZigBee alebo LoRa sa na trhu takisto nenachádzajú.

4.1.1 BLUETOOTH

Bluetooth je štandard pre bezdrôtovú komunikáciu medzi zariadeniami ako napríklad mobilné telefóny. Bol vytvorený firmou Ericsson ako náhrada za sériové drôtové rozhranie RS-232. Spadá do kategórie osobných počítačových sietí. Pracuje v pásme 2,4 GHz a k prenosu používa rádiovú technológiu FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), ktorá funguje na princípe preskakovania medzi niekoľkými frekvenciami pri prenose bitov. Bluetooth rozdeľuje prenášané dáta do paketov a vysiela každý paket na jednom z kanálov v závislosti na šírke pásma.

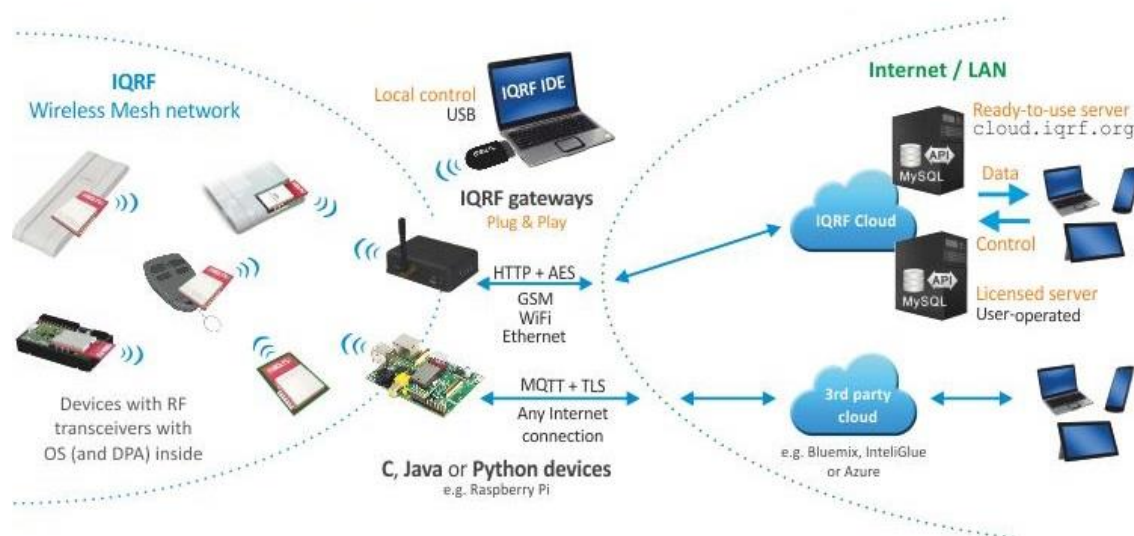
Rýchlosť prenosu dát závisí na používanej verzii. Dosah Bluetooth zariadení je ovplyvnený výkonovou úrovňou zariadenia a rýchlo klesá v uzavretom priestore s prekážkami [21].

4.1.2 WI-FI

Wi-Fi je skupina bezdrôtových sieťových technológií, ktoré sa používajú na lokálne sieťové pripojenie zariadení a prístup na internet. Wi-Fi je navrhnutá tak, aby jednoducho spolupracovala s Ethernetom. Rozličné verzie Wi-Fi sú špecifikované rozličnými protokolovými štandardmi IEEE 802.11. Najčastejšie sa používa frekvenčné pásmo 2,4 alebo 5 GHz. Dosah signálu ovplyvňujú prekážky v interiéri, ktoré ale kladne pôsobia na rušenie medzi viacerými sieťami. Prístupový bod má v interiéri priemerný dosah 20 metrov [22].

4.1.3 IQRF

IQRF je typ bezdrôtovej sieťovej technológie určený pre zariadenia s malým výkonom, ktoré prenášajú malé množstvo dát na bezlicenčnom voľnom pásme ISM 868, 916 a 433 MHz. Vďaka tejto vlastnosti sa používa hlavne v zariadeniach IoT. Dosah sa pohybuje v stovkách metrov vo voľnom priestore. Z IQRF zariadení je možné vytvárať siete, vďaka čomu sa dosah môže zásadne predĺžiť tým, že zariadenia postupne preposielajú správu až k adresátovi. Jeden dátový paket môže prejsť takto až cez 240 prostredníkov než sa dostane k adresátovi. Sieťová architektúra umožňuje pripojenie na internet cez cloud [23].



Obr. 13: IQRF topológia [24].

4.1.4 ZigBee

ZigBee je bezdrôtová technológia pre zariadenia, ktoré komunikujú na krátku vzdialenosť a vyžadujú nízke náklady a elektrickú spotrebu. Podporuje konektivitu skrz sieť zariadení, vďaka čomu sa hodí pre automatizáciu budov. Je založená na rádio štandarde IEEE 802.15.4 podobne ako Bluetooth. V Európe komunikuje v bezlicenčných pásmach 868 MHz, vďaka čomu nie je rušená od Wi-Fi sietí na frekvenciách 2,4 prípadne 5 GHz. ZigBee je možné používať v troch typoch topológie siete ako hviezda, sieť alebo peer-to-peer. Najvhodnejším je topológia siete, ktorá zabezpečuje robustnosť siete v prípade výpadku niektorého z uzlov. Veľkosť prenášaných dát sa pohybuje od 20 do 250 kbps.

Jadro ZigBee siete predstavuje uzol koordinátora siete, ktorý inicializuje sieťovú štruktúru a synchronizuje dáta medzi koncovými zariadeniami [25].

4.1.5 LoRa

LoRa je patentovaná digitálna bezdrôtová dátová komunikačná technológia. Je primárne určená pre aplikácie vo svete internetu vecí, kde si vystačí s nízkym prenosovým objemom dát. Jej výhodou je veľký dosah až v jednotkách kilometrov a veľmi nízka spotreba. Dosah na priamu vzdialenosť je 40 km, v mestskej zástavbe približne 2 km.

Patent na moduláciu patrí firme Semtech, ktorá túto technológiu odkúpila od francúzskej firmy Cycleo. LoRa technológia pozostáva z dvoch častí, a to LoRa modulácia a LoRaWAN protokol. LoRa je patentovo chránený prístup, založený na modulácii Chirp, ktorá sa rozprestiera po celom vysielacom kanáli (125, 250, 500 kHz). Rozdielny je v tom, že Chirp má lineárnu zmenu kmitočtu. To zvyšuje odolnosť voči Dopplerovmu javu, znižuje nároky na zdroj kmitočtu a jeden kanál je schopný obslúžiť niekoľko vysielateľov. LoRaWAN je sieťový protokol nízkej spotreby, určený na bezdrôtové pripojenie batériových zariadení na internet. Je to verejne dostupný open-source protokol, o ktorého rozvoj sa stará nezisková organizácia LoRa Alliance. LoRaWAN prenosové rýchlosti sa pohybujú od 0,3 do 50 kbps [26].

4.2 KOMUNIKÁCIA SO SENZORMI

Pre možnosť pripojenia senzorových modulov na senzor do kvetináča je nutné, aby zvolený mikrokontrolér podporoval zbernicu prípadne rozhranie pre komunikáciu nameraných dát. V kapitole č. 3 boli vybrané konkrétne moduly, ktoré budú použité pre meranie. Pre meranie teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu bol zvolený senzor BME280, ktorý používa zbernicu I²C. Pre meranie svetelnej intenzity sa používa senzor BH1750 s rovnakou zbernicou. Výstup kapacitného senzora na meranie vlhkosti pôdy je analógový signál. Pre spracovanie takéhoto signálu bude použitý analógovo-digitálny prevodník (A/D).

4.2.1 I²C

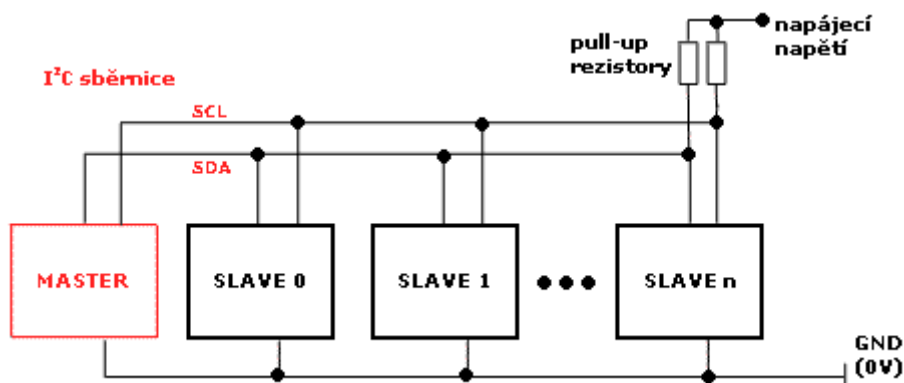
I²C je synchronná zbernica vyvinutá firmou Philips, ktorá slúži pre komunikáciu a prenos dát medzi jednotlivými integrovanými obvodmi najčastejšie na jednom zariadení. Obojsmerná komunikácia prebieha po dvoch vodičoch a to:

- SDA (serial data) pre dáta,
- SCL (serial clock) pre hodinový signál.

Identifikácia zariadení pripojených na jednu linku funguje na princípe adresovania. Je možné 7 alebo 10 bitové adresovanie, čo predstavuje 128 / 1024 zariadení pripojených na

jednu linku. V praxi sa používa 3 bitová adresa zariadenia. V niektorých prípadoch je adresa pre dané zariadenie daná od výroby.

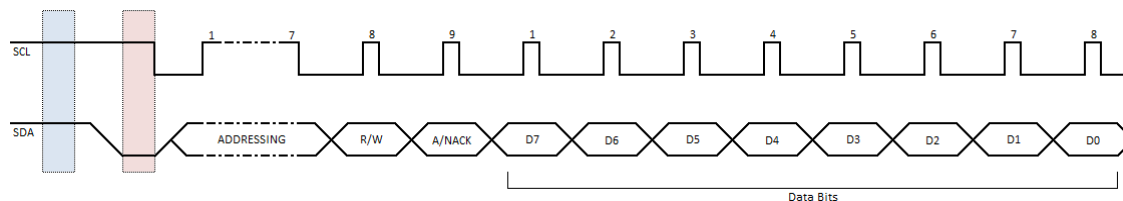
Najčastejší princíp, akým takáto linka funguje je jeden uzol master, ktorý generuje hodinový signál na vodiči SCL a ostatné uzly pripojené v režime slave. Obidva vodiče sú pomocou pull-up rezistorov na začiatku komunikácie v logickej jednotke. Pri vysielaní jedného uzla sú informácie prijímané všetkými uzlami, ale spracovanie prebehne na základe adresy, ktorej sú tieto dáta určené. Uzol, ktorý dáta prijíma/vysiela musí definovať adresu uzla, s ktorým zahajuje komunikáciu a špecifikovať R/W (read/write) bitom, či pôjde o čítanie alebo zápis.



Obr. 14: I²C zapojenie [27].

Priebeh prenosu:

1. Stav kľúdu – logická jednotka na oboch vodičoch SDA a SCL zaistená pull-up rezistormi.
2. Štart bit – zahajuje prenos alebo jeho pokračovanie zmenou hodnoty SDA z 1 na 0 pričom hodnota SCL je v logickej 1.
3. Prenos dát – dáta sú prenášané po jednom Byte čiže 8 po sebe idúcich bitoch od najvyššieho po najnižší. Pri prenose dát sa môže logická úroveň SDA meniť iba pokiaľ je SCL v logickej 0. Pri každom pulze SCL je prenesený jeden bit.
4. Stop bit – predstavuje ukončenie prenosu a je vygenerovaný ako štart bit. Stop bit môže byť vygenerovaný iba po prijatí potvrdzovacieho bitu Ack (acknowledge). Tento bit slúži k potvrdeniu správneho prijatia dát. Posiela sa ako deviaty bit v poradí, ale generuje ho adresát správy. Pokiaľ prenos prebehol v poriadku, odošle logickú 0. Pokiaľ prenos zlyhal odošle sa logická 1. Logická 0 od adresáta môže takisto znamenať pokračovanie komunikácie. Ukončenie komunikácie je dosiahnuté tak, že adresát nepošle nič, čím sa SDA dostane do logickej 1 pomocou pull-up rezistora a Ack bit odošle vysielateľ [27].



Obr. 15: Priebeh signálu I²C [28].

Prenášané dáta nie sú okrem potvrdzovacieho Ack bitu nijak kontrolované. Pri návrhu sa odporúča dodržiavať malé vzdialenosti vodičov SDA a SCL a zamedziť v ich blízkosti výkonné alebo vysokofrekvenčné obvody. Prenosové rýchlosti tejto zbernice sú:

- 100 kbps štandardný režim,
- 400 kbps full-speed režim,
- 1 mbps rýchly režim,
- 3,2 mbps vysokorýchlostný režim [29].

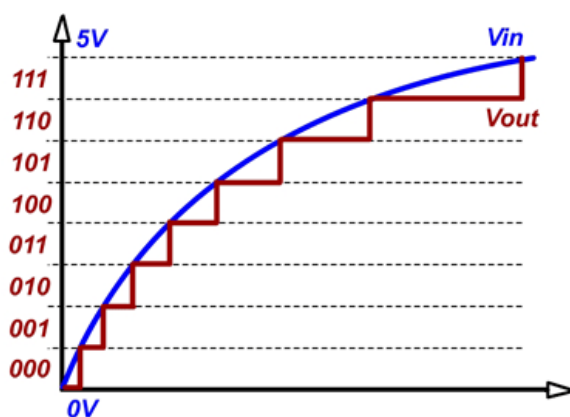
4.2.2 ANALÓGOVO-DIGITÁLNY PREVODNÍK

A/D prevodník je systém, ktorý prevádza analógový signál na digitálny pre lepšie spracovanie a záznam. Predstavuje napríklad prevod vstupného elektrického napätia alebo prúdu na digitálne číslo, ktoré reprezentuje ich veľkosť. Z dôvodu zložitosti sa A/D prevodníky implementujú ako integrované obvody.

Prevod analógového signálu so spojitým časom na digitálny signál s diskretným časom zahŕňa vzorkovanie a následné kvantovanie vstupu s periodickým krokom, ktorý obmedzuje prípustnú šírku pásma vstupného signálu. A/D prevodník je charakterizovaný šírkou pásma a pomerom signálu k šumu (SNR).

Vzorkovanie signálu je rozdelenie časovej vodorovnej osi signálu na rovnomerné úseky s intervalom rovným vzorkovacej frekvencii. Pri zvolení nízkej frekvencie vzorkovania v porovnaní s prevádzaným signálom môže prísť k efektu s názvom aliasing – výskyt frekvencie vyššej než je polovica vzorkovacej frekvencie.

Kvantovanie je rozdelenie zvislej osi na tolerančné pásma a priradenie daného časového intervalu z procesu vzorkovania k úrovni kvantizácie. Počet týchto úrovní predstavuje rozlíšenie prevodníka [30].



Obr. 16: Princíp A/D prevodníka [31].

4.3 MODULY

Ďalším krokom bol výber modulu, ktorý zabezpečí komunikáciu senzora zvoleným typom bezdrôtovej sieťovej technológie. Modul musí obsahovať potrebné zbernice a rozhrania pre pripojenie senzorov.

4.3.1 EY-08

EY-08 je modul s podporou Bluetooth s verziou 4.0, kompatibilný s Android aj Apple, podporuje iBeacon protokol. Pracuje na frekvencii 2,4 GHz s dosahom 15 až 30 metrov (60 v otvorenom priestore). Modul má 3,3 V logiku, čím je vhodný aj pre napájanie z batérií. Modul disponuje zabudovanou I²C zbernicou pre pripojenie senzorov. Neobsahuje A/D prevodník, ktorý by bolo možné pripojiť externe a komunikovať cez dostupné UART piny. Cena modulu sa pohybuje okolo 3 dolárov [32].

Prevádzkové režimy s uvedenou spotrebou:

	Pripojený [mA]	Nepripojený [μA]	Pohotovostný režim [μA]
Slave Transparent mode	0,8	300	1
Slave Broadcast mode (iBeacon, snímač)	0,5	300	1
Host Transmitted mode	20	9000	1
Host observer mode	25	25000	25000

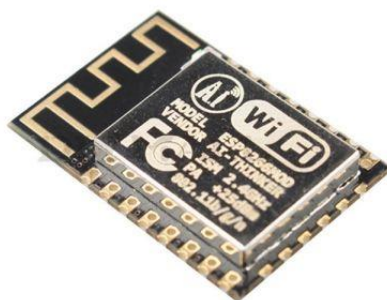
Tabuľka 6: Prevádzkové režimy EY-08 [32].



Obr. 17: EY-08 [32].

4.3.2 ESP-12F

ESP-12F je modul s podporou Wi-Fi protokolom 802.11 b/g/n s pracovnou frekvenciou 2,4 GHz. Napájacie napätie je v rozsahu 3 až 3,6 V s priemerným pracovným elektrickým prúdom 80 mA v stave pripojenom na sieť Wi-Fi. V deep-sleep režime sa táto hodnota znižuje na 20 μ A. Modul obsahuje zabudovanú anténu a jeho signál je závislý na signále Wi-Fi routera. Tento modul podporuje vstavanú zbernicu I²C, UART a má A/D prevodník. Cena tohto modelu je približne 1,5 dolára [33].



Obr. 18: ESP-12F [34].

4.3.3 TR-72D

TR-72D je IQRF modul pracujúci vo frekvenciách 868 a 916 MHz s integrovanými RF obvodmi, LDO regulátorom, sériovou EEPROM, snímačom teploty a voliteľnou zabudovanou anténou. Obsahuje vlastný vstavaný operačný systém, ktorý znižuje časovú náročnosť vývoja. Vyznačuje sa nízkou spotrebou energie a je vhodný pre napájanie z batérie. Napájacie napätie má veľký rozsah vďaka vstavanému LDO regulátoru od 3,1 do 5,3 V. Spotreba v deep-sleep režime je 1,7 μ A. Spotreba v aktívnom režime odosielania sa pohybuje v rozsahu od 8,3 do 25 mA. Modul obsahuje potrebné komunikačné rozhrania a to konkrétne dva A/D prevodníky a I²C zbernicu. Cena takéhoto modulu je 19 dolárov [35].



Obr. 19: TR-72D [36].

4.3.4 ZÁVER

Po prieskume trhu už existujúcich senzorov do kvetináča a dostupných modulov, na ktorých je možné postaviť riešenie s podobnou funkcionalitou bol zvolený modul ESP-12F, ktorý komunikuje pomocou Wi-Fi. Táto bezdrôtová komunikačná sieť bola vybraná z dôvodu jej dostupnosti v interiéroch domácností, pre ktoré je tento senzor primárne určený. Úlohu zohrala takisto nízka cena modulu a prítomnosť všetkých potrebných komunikačných rozhraní pre vybrané senzory. Nevýhodou zvolenej komunikačnej siete je vysoká spotreba elektrickej energie v dôsledku vysokej frekvencie 2,4 GHz. Tento fakt bude kompenzovaný čo najprípustnejšou energetickou optimalizáciou a dostatočnými intervalmi merania.

5 CLOUDOVÉ ÚLOŽISKO

Táto kapitola sa zaoberá prieskumom cloudových úložísk, s ktorým bude následne komunikovať senzor a budú na ňom uložené namerané dáta. Všeobecne môžu byť tieto úložiská rozdelené podľa prístupu k nim. Jeden druh predstavujú tie, ktoré poskytujú Application programming interface (API) a je k nim možné pristupovať priamo z aplikácie, ktorá beží na module so senzormi. Druhou možnosťou je využitie cloudovej služby Database-as-a-Service (DBaaS), ktorá predstavuje softvér, ktorý umožňuje nastavenie, prevádzku a škálovanie databázy. Medzi takouto databázou a modulom je nutná prítomnosť gateway servera, ktorý cez API uloží namerané dáta zo senzora do správnych štruktúr na základe jeho typu a identifikácie.

5.1 VARIANTY CLOUDOVÝCH ÚLOŽÍSK

5.1.1 GOOGLE CLOUDS'S IOT PLATFROM

Google Cloud IoT je kompletná paleta nástrojov pre pripojenie, správu, uloženie a analýzu dát na cloude. Táto platforma poskytuje plne nastaviteľnú službu pre správu pripojených zariadení od registrácie, autorizácie až po správu metadát o zariadení. Celé riešenie je možné jednoducho škálovať. Uložené dáta je možné analyzovať a vizualizovať pomocou nástroja Cloud Datalab. Google Cloud poskytuje skúšobnú verziu s obmedzenými parametrami tejto služby [37].

5.1.2 AMAZON WEB SERVICES IOT PLATFORM

Amazon je najpoužívanejšia platforma na cloudovom trhu s množstvom komplexných nástrojov ako napríklad Amazon S3 pre ukladanie súborov, Amazon DynamoDB pre ukladanie nameraných dát do NoSQL databázy alebo AWS Lambda, ktorá poskytuje serverless službu pre spustenie analýzy na základe definovanej udalosti. Cenotvorba je založená na počte správ od senzorov, čím sa toto riešenie značne predražuje pre veľké projekty [38].

5.1.3 THINGSPEAK

ThingSpeak je jednoduchá IoT platforma pre uloženie, analýzu a vizualizáciu dát zo senzorov v reálnom čase. Analýza dát používa programovací jazyk MATLAB. Jeho pomocou je možné nahráť skripty, ktoré budú spustené v nastavených časových intervaloch alebo na základe definovaných udalostí, spracovávať a obohacovať namerané dáta. Dáta sú štruktúrované v kanáloch, kde jeden kanál predstavuje jeden senzor. Toto riešenie je vhodné pre experimenty vo vývoji, ale už menej pre produkčné využitie [39].

5.1.4 MONGODB ATLAS

MongoDB Atlas je cloudová databáza, ktorá poskytuje hosting pre MongoDB databázu. Platforma garantuje dostupnosť, škálovateľnosť a bezpečnosť dát. Pre vývojové účely je dostupná jedna databáza s kapacitou 500 MB [40].

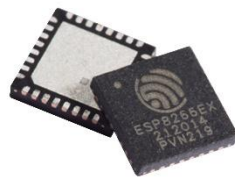
MongoDB je NoSQL databáza, ktorá ukladá dáta v JavaScript Object Notation (JSON) formáte definovanom schémou. Na rozdiel od relačných databáz, ktoré sú založené na tabuľkách a riadkoch, MongoDB používa dokumenty v JSON formáte definovaným databázovou schémou, ktorá je dynamická. Jedná sa o open-source softvér, ktorý používajú globálne spoločnosti ako je napríklad eBay.

Výhodou orientácie štruktúry dát na dokumenty oproti relačným databázam je minimalizácia množstva záznamov vďaka zjednoteniu dát o jednej entite v jednom dokumente v porovnaní s distribúciou informácií o danej entite vo viacerých tabuľkách. Indexovanie dát a vyhľadávacie dotazy fungujú rovnako ako v relačných databázach. MongoDB poskytuje takisto podporu pre replikáciu dát a horizontálne škálovanie pomocou shardingu. Sharding je rozdelenie dát do viacerých databázových serverov podľa zadaného kľúča pre vyvažovanie záťaže na viaceré servery. MongoDB podporuje ovládače pre všetky najpoužívanejšie programovacie jazyky [41].

6 MODUL ESP

ESP8266 je Wi-Fi mikročip, ktorý podporuje balík internetových protokolov TCP/IP. Sú to komunikačné protokoly, na ktorých je postavený internet. Názov TCP/IP je skratka z Transmission Control Protocol (TCP) a Internet Protocol (IP). Výrobcom tohto mikročipu je čínska firma Espressif Systems.

Prvá verzia čipu vznikla v roku 2014 s modulom s označením ESP-01, ktorý vyrábala firma Ai-Thinker. Jednalo sa o malý modul, ktorý umožňoval mikrokontrolérom pripojenie na Wi-Fi sieť.



Obr. 20: Čip ESP8266 [42].

Senzor do kvetináča pracuje s novšou verziou modulu s označením ESP-12F. Obsahuje takisto čip ESP8266, vďaka čomu podporuje protokol IEEE 802.11b/g/n. Týmto modulom je možné vytvoriť vlastnú sieť alebo sa prostredníctvom neho pripojiť k už existujúcej. Je schopný pracovať samostatne alebo v spolupráci s iným mikrokontrolérom. Tento model je integrovateľný so senzormi a inými zariadeniami cez GPIO porty.

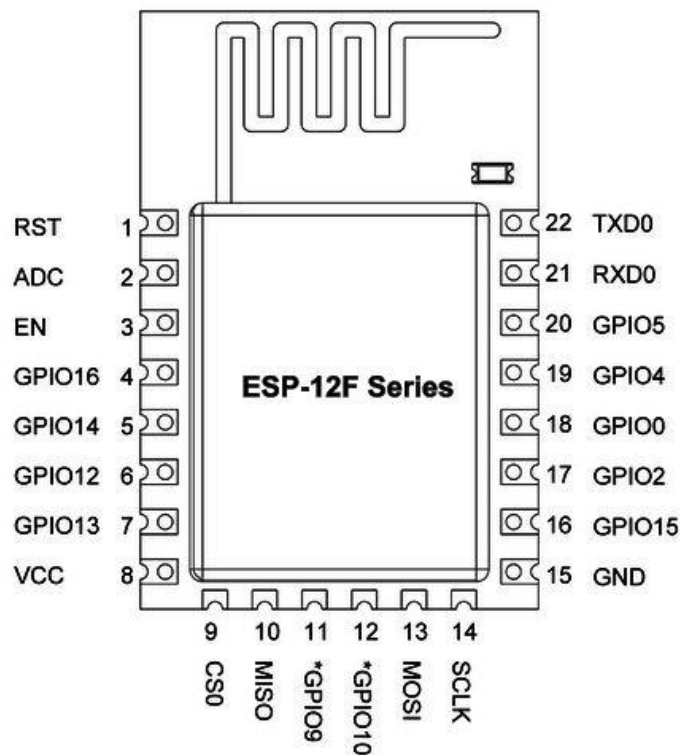
Najdôležitejšie vlastnosti sú:

- najmenší 802.11b/g/n Wi-Fi System on chip (SoC) modul,
- nízkoenergetické 32 bitové CPU,
- 10 bitový A/D prevodník,
- podporuje UART, GPIO, I²C,
- podporuje niekoľko režimov šetrenia energie,
- UART baud rate až do 4 Mbps,
- obsahuje PCB anténu,
- napájacie napätie od 3,0 do 3,6 V [43].

6.1 PINY

ESP-12F obsahuje 16 dostupných pinov:

- RST – reset pin,
- ADC – 10 bitový A/D prevodník s rozsahom vstupného napätia 0 až 1 V,
- EN – aktivačný pin napájaný vstupným napätím,
- GPIO16 – pin využívaný pre zobudenie z deep-sleep módu,
- GPIO14, GPIO12, GPIO13,
- VCC – pin pre napájanie modulu,
- GND – zem,
- GPIO15, GPIO2, GPIO0, GPIO4, GPIO5,
- RXD a TXD – piny pre UART zbernicu [33].



Obr. 21: ESP-12F pinout [44].

6.2 PAMÄŤ

V ESP8266 čípe sú zabudované digitálne obvody pre správu toku dát vrátane SRAM a ROM. K častiam pamäte sa pristupuje cez iBus, dBus a AHB rozhranie. Veľkosť programovateľnej pamäte RAM pokiaľ modul pracuje v režime stanice je 36 kB. Na čípe sa nenachádza žiadna programovateľná ROM pamäť, preto musí byť program užívateľa uložený v externej SPI (Serial Peripheral Interface) flash pamäti. SPI pamäť má na tomto module kapacitu 4 MB [33].

6.3 KRYŠTÁL

Kryštálový oscilátor podporuje frekvencie 40, 26 a 24 MHz. Presnosť je v rozsahu ± 10 PPM (parts per million). Toto číslo predstavuje ako veľmi sa môže líšiť frekvencia od nominálnej hodnoty. Teplotný rozsah je uvedený v rozsahu -20 až 85°C [33].

6.4 SPOTREBA

Režim	Priemerná spotreba [mA]
Tx 802.11b, CCK 11Mbps, POUT=+17dBm	170
Tx 802.11g, OFDM 54Mbps, POUT =+15dBm	140
Tx 802.11n, MCS7, POUT =+13dBm	120
Rx 802.11b, 1024 bytes packet length, -80 dBm	50
Rx 802.11g, 1024 bytes packet length, -70 dBm	56
Rx 802.11n, 1024 bytes packet length, -65 dBm	56
Modem-sleep	20
Light-sleep	2
Deep-sleep	0.02

Tabuľka 7: Režimy ESP-12F [33].

Modem-sleep režim sa používa v prípadoch nutnosti funkčnosti procesora bez pripojenia na Wi-Fi. Tento obvod sa podľa protokolu 802.11 vypne. Deep-sleep režim sa používa pre aplikácie, ktoré odosielať dáta v dlhších časových intervaloch.

7 VÝVOJ FUNKČNÉHO MODULU

7.1 SOFTWARE DEVELOPMENT KIT

Vývoj senzora pre monitorovanie rastlín začal s SDK (Software development kit) modulmi ako NodeMcu alebo Wemos D1 mini. Jedná sa o moduly určené výhradne pre vývojové účely vďaka užívateľsky prijateľnému programovaniu pomocou skriptovacieho jazyka Lua alebo Arduino príkazmi.

7.1.1 NODEMCU

NodeMCU je open-source modul pre IoT určený pre vytváranie prototypov, ktoré pracujú s čipom ESP8266. Vznikol krátko po predstavení ESP8266. K funkciám klasického ESP-12F modulu pridáva pripojenie cez USB, ktoré slúži pre napájanie a nahrávanie užívateľskej aplikácie. Napájanie je možné aj z batérie. Obsahuje LDO regulátor napätia pre vstupné napájanie a vstup A/D prevodníka, ktorého rozsah sa týmto rozšíril na 0 až 3,3 V. Na doske sú implementované tlačidlá pre reset a flash [45].



Obr. 22: NodeMCU [45].

7.1.2 WEMOS D1 MINI

Wemos D1 mini je vývojová doska s modulom ESP12-S. Má rovnaké funkcie ako NodeMCU, ale kompaktnejšie rozmery. Testy napájania vývojového modulu z batérie ukázali niekoľkonásobne vyššiu spotrebu v režime deep-sleep. Konkrétne energia z 3x AA 1,5V 2700 mAh stačila na 7 dní pri 30 minútovom intervale odosielania dát.

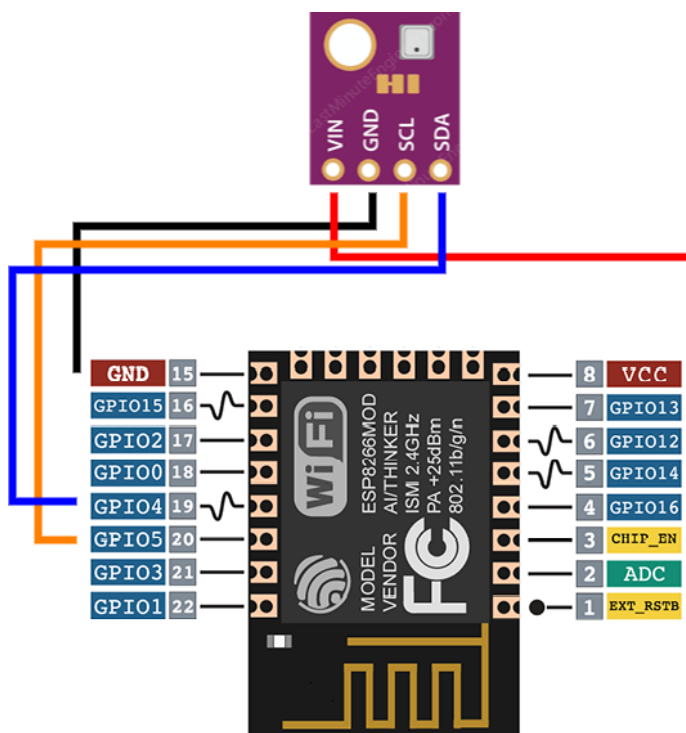


Obr. 23: Wemos D1 mini [46].

7.2 PRÁCA SO SENZORMI

7.2.1 BME280

Senzor BME280 komunikuje s modulom ESP pomocou zbernice I²C. Doska, na ktorej je senzor osadený obsahuje regulátor napätia na 3,3 V. Prívod napätia na senzor je ovládaný cez MOSFET tranzistor pre obmedzenie spotreby energie v režime spánku.



Obr. 24: Schéma pripojenia BME280.

Pre prácu so senzorom na strane softvéru sa používa open-source knižnica Adafruit BME280 [47], ktorá v sebe obsahuje kalibračné konštanty. Pre získanie hodnoty teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu je nutné nastaviť adresu zariadenia na I²C zbernici.

```
#include <Adafruit_BME280.h>

Adafruit_BME280 bme;

// set I2C address
unsigned status = bme.begin(0x76);

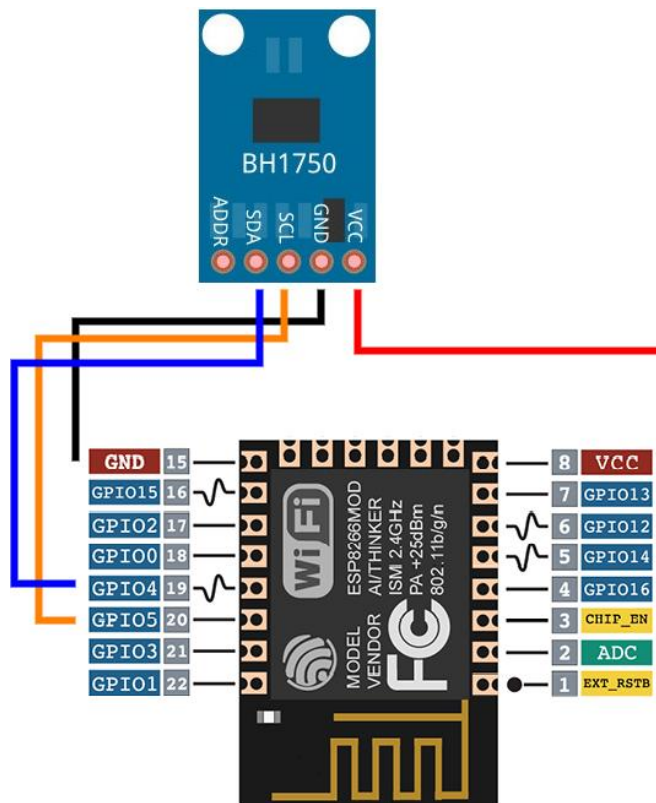
if (!status) {
  Serial.println("Error in begin process");
}

bme.readTemperature();
bme.readHumidity();
```

Obr. 25: Ukážka kódu pre prácu so senzorom BME280.

7.2.2 BH1750

Senzor BH1750 pre meranie intenzity svetla komunikuje takisto prostredníctvom zbernice I²C. Senzor obsahuje LDO regulátor napätia na 3,3 V.



Obr. 26: Schéma pripojenia BH1750.

Pre softvérovú prácu so senzorom sa používa open-source knižnica BH1750 [48]. Je možné nastaviť adresu zariadenia na zbernici a šesť rozličných meracích režimov rozdelených do dvoch skupín, a to nepretržité a jednorazové meranie. Každá skupina má tri úrovne presnosti. Najnižšia presnosť je 4 luxy s dobou merania 16 ms, stredná presnosť 1 lux a 120 ms a najpresnejšia 0,5 lux a 120 ms.

A screenshot of a code editor window with a light gray background and three colored window control buttons (red, yellow, green) in the top left corner. The code is written in C++ and is for the BH1750 sensor. It includes the header file <BH1750.h>, initializes a BH1750 lightMeter object with address 0x23, and sets the mode to CONTINUOUS_HIGH_RES_MODE. It then checks if the begin function returned an error status and prints an error message if it did. Finally, it calls the readLightLevel function.

```
#include <BH1750.h>

BH1750 lightMeter(0x23);

unsigned status = lightMeter.begin(BH1750::CONTINUOUS_HIGH_RES_MODE)

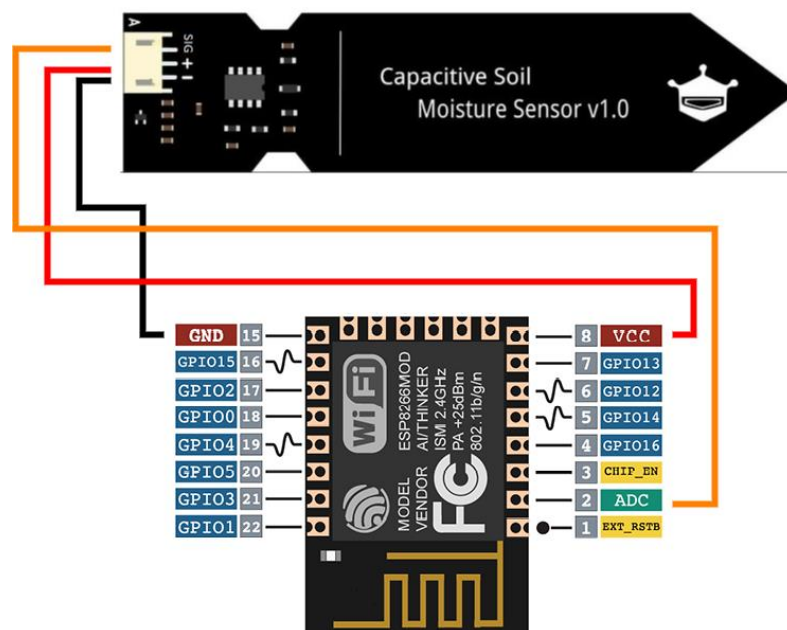
if (!status) {
    Serial.println("Error in BH1750 begin process");
}

lightMeter.readLightLevel();
```

Obr. 27: Ukážka kódu pre prácu s BH1750.

7.2.3 SENZOR VLHKOSTI

Kapacitný senzor vlhkosti pôdy má analógový výstup vo forme napätia závislého na zmene kapacity v súvislosti so zmenou vlhkosti pôdy. Tento signálový pin sa pripája na A/D prevodník ESP modulu. Napájacie napätie tohto senzora je 3,3 V, ktoré sa zapína iba po prebudení z režimu spánku po dobu merania. Na softvérové vyčítanie dát sa používa vstavaná funkcia *analogRead(A0)*, ktorá vráti hodnotu z 10 bitového prevodníka s rozsahom 0 až 1 V.



Obr. 28: Schéma pripojenia senzora pre vlhkosť pôdy.

7.3 NAPÁJANIE

Pri návrhu napájania senzora z batérií bolo nutné uvažovať viaceré parametre, ktoré ovplyvňujú celkovú výdrž na jeden cyklus batérií, veľkosť, tvar a cenu senzora. Pri výbere a kombinácii batérií musel byť braný do úvahy fakt, že modul ESP-12F má rozsah napájacieho napätia od 3 do 3,6 V a senzory pre meranie požadovaných 3,3 V. Uvažované varianty pre batérie boli:

- nabíjateľnosť s počtom dobíjacích cyklov,
- vymeniteľnosť,
- nominálne napätie, ktoré súvisí s počtom kusov článkov pre dosiahnutie požadovaného napätia.

Dôležitým faktorom bol vysoký odoberaný prúd z batérie pri pripájaní a odosielaní dát cez Wi-Fi. Nasledujúca tabuľka zobrazuje priemerné hodnoty prúdu pri meraní. Hodnoty neuvažujú straty na regulátoroch napätia jednotlivých senzorov.

Časť celkového senzora	Priemerná spotreba [μ A]
ESP-12F	71 000
BME280 meranie teploty	350
BME280 meranie relatívnej vlhkosti vzduchu	340
BH1750	120
Senzor vlhkosti pôdy	5 000

Tabuľka 8: Spotreba jednotlivých častí senzora.

7.3.1 TYPY BATÉRIÍ

Nasledujúca podkapitola udáva teoretické informácie o druhoch batérií, ktoré boli skúmané a uvažované pre napájanie senzora pre monitorovanie rastlín.

Alkalické batérie

- dva rozmery AA a AAA,
- nominálne napätie 1,5 V,
- nenabíjateľné,
- typická kapacita AA – 2700 až 3500 mAh, AAA – 1100 až 1300 mAh,
- nutnosť minimálne troch kusov,
- nízka cena.

NiMh batérie

- dva rozmery AA a AAA
- nominálne napätie 1,2 V,
- nabíjateľné,
- typická kapacita podobná alkalickým batériám,
- nutnosť minimálne troch kusov,
- najpoužívanější variant v oblasti nabíjateľných batérií.

LiPo a Li-ion batérie

- Li-ion v tvare válca s označením 18650, LiPo vo viacerých tvaroch a rozmeroch (Li-ion obsahuje tekutý elektrolyt, LiPo pevný),
- nominálne napätie 3,7 V,
- nabíjateľné a vhodné pre aplikácie s vysokým prúdovým odberom,
- postačujúci jeden kus,
- vysoká cena.

Z uvedených variant bol vybraný akumulátor Li-ion vďaka aplikácii pre zariadenia s vysokým prúdovým odberom, ktorý sa pohybuje pri module ESP v špičkách do 500 mA. Priebeh napätia počas vybíjania je od 4,2 do 3,3 V, čo spĺňa podmienky použitého modulu. Vybíjanie pod túto hranicu môže poškodiť batériu a skrátiť jej životnosť. Jeden akumulátor v sérii je z hľadiska napätia dostatočný pre napájanie modulu, kapacitu batérie je možné dosiahnuť zapojením druhého akumulátora paralelne.

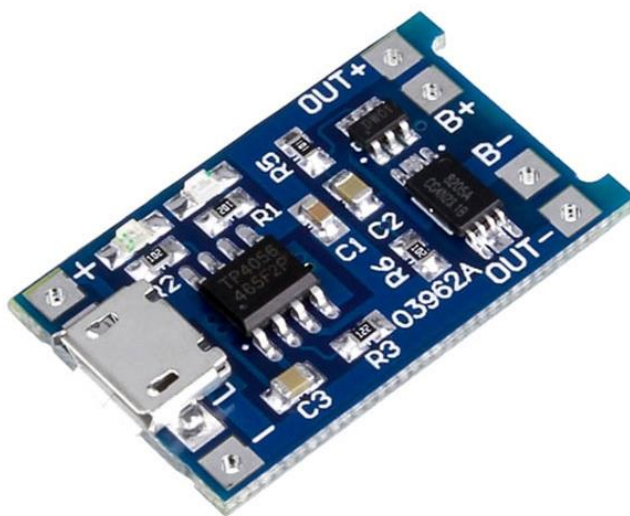
7.3.2 NABÍJACÍ MODUL

Pre nabíjanie Li-ion batérie bol použitý nabíjací modul TP4056 určený pre lítiové batérie, ktorý používa metódu nabíjania konštantným prúdom/napätím. Je v ňom integrovaná potrebná ochrana DW01A, ktorá zabezpečuje:

- správu konštantného prúdu na konštantné napätie pripojenej batérie,
- ochranu proti nadmernému vybitiu – pod úroveň 2,4 V,
- ochranu proti nadmernému prebitiu – maximálne nabitie na 4,2 V,
- ochranu voči nadprúdu a skratu – maximálne 3 A.

Tento modul môže byť napájaný z micro USB káblu prípadne na svorky $\pm$. Zdroj by mal byť schopný dodávať minimálne nabíjací prúd s hodnotou 1 A. Nabíjací prúd je možné nastaviť pomocou externého odporu.

Modul obsahuje dve LED diódy pre indikáciu nabíjania/plného nabitia (červená/modrá). Samotný čip spotrebuje pre svoju činnosť zanedbateľnú časť energie z baterky, preto nebude odpájaný od batérií v čase nenabíjania. Tento modul podporuje nabíjanie dvoch paralelne zapojených batérií [49].

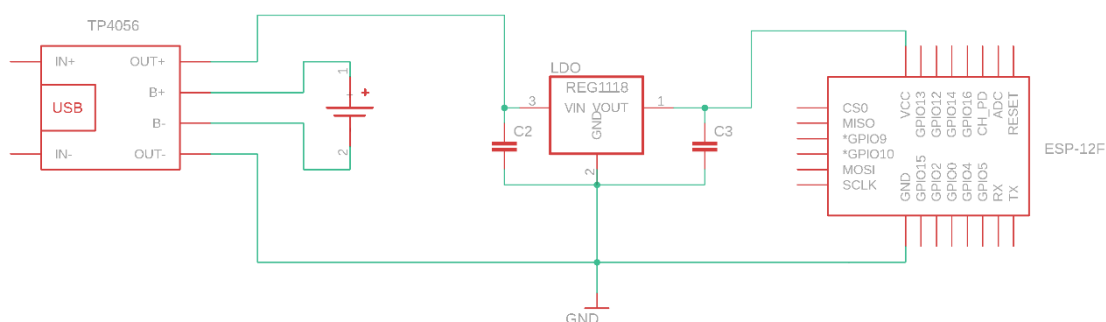


Obr. 29: Nabíjací modul TP4056 s ochranou [49].

7.3.3 SCHÉMA NAPÁJANIA

Schéma nabíjacieho modulu s batériami a ESP modulom je na nasledujúcom obrázku. Pre napájanie Wi-Fi modulu bolo nutné použiť regulátor napätia TC2117 na 3,3 V, ktorý zapríčiní stratu časti energie batérie.

Interval pre meranie a odosielanie dát bude 30 minút. Po testoch aplikácie a procesu prebudenia zo spánku bola doba merania s odosielaním dát priemerne 6 sekúnd. Z toho podľa tabuľky č. 8 pri priemernom odbere 77 mA počas aktivity a 20 μ A počas deep-sleepu vychádza priemerný odoberaný prúd pre 6 sekúnd aktivity a 1 794 sekúnd deep-sleepu 0,28 mAh. Pri použití 2 600 mAh Li-ion batérie s 20 % rezervou to znamená teoretickú výdrž 310 dní.

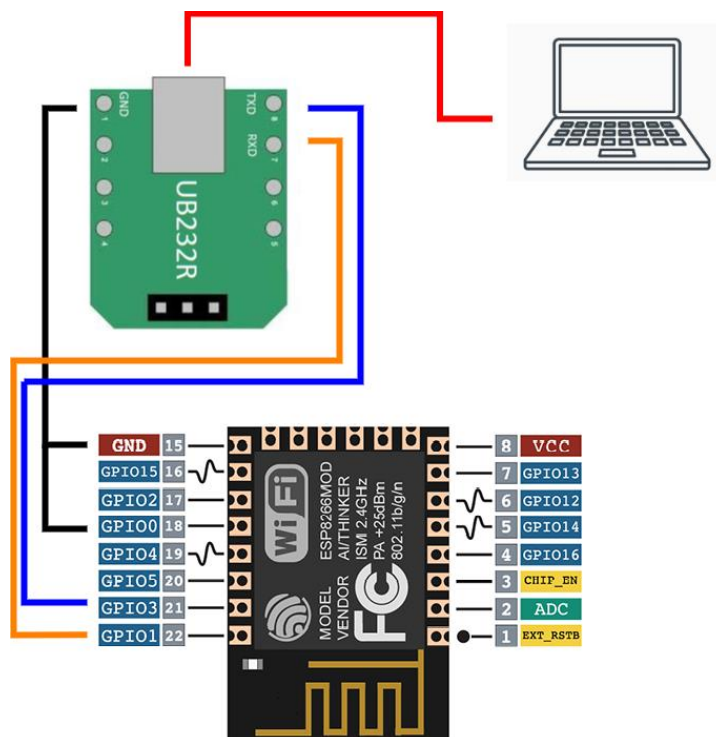


Obr. 30: Schéma napájania.

7.4 NAHRANIE UŽÍVATEĽSKÉHO PROGRAMU

Nahrávanie užívateľskej aplikácie prebiehalo pomocou programu Arduino IDE. Pre správne fungovanie bolo nutné nainštalovať rozšírenie „Arduino core for ESP8266 WiFi chip“, ktoré umožňuje podporu čipu ESP8266, vďaka čomu je možné používať open-source knižnice a funkcie pre tento čip.

Pre komunikáciu medzi IDE a modulom ESP bol použitý USB mini-B UART modul UB232R. V IDE po zvolení virtuálneho COM portu, rýchlosti nahrávania a dosky je možné spustenie nahrávania programu. Pred nahraním programu je nutné uzemniť GPIO pin č. 0 pre dosiahnutie boot módu modulu. Po úspešnej kompilácii kódu je potrebný reset modulu pre začiatok flash procesu.



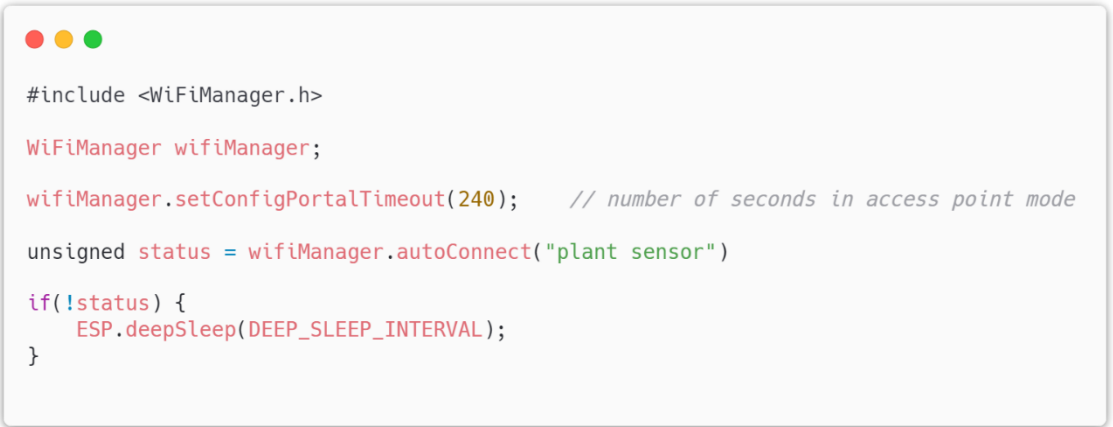
Obr. 31: Schéma zapojenia pri nahrávaní aplikácie.

7.5 WI-FI MANAŽÉR

Pre správu Wi-Fi pripojenia bola použitá open-source knižnica WiFiManager [50]. Pri reálnom používaní senzora pre monitorovanie rastlín je nutná dynamická správa prístupových údajov k Wi-Fi sieťam.

Po prvom štarte ESP modulu vytvorí prístupový bod, vlastnú Wi-Fi sieť, na ktorú je možné sa pripojiť. Po pripojení do tejto siete sa zobrazí captive portal – stránka, ktorá sa zobrazí pre novo pripojené zariadenia s možnosťami pre hľadanie dostupných Wi-Fi sietí. Po zvolení siete a zadaní hesla sa modul pripojí, odošle dáta a uspí. V prípade neúspešnej konfigurácie po prvom štarte sa modul automaticky po troch minútach uspí a proces zopakuje v ďalšom cykle. Je možné ho takisto vyvolať tlačidlom reset.

V prípade správnej konfigurácie sa v ďalšom cykle modul pripojí k predchádzajúcej sieti z pamäte.



```
#include <WiFiManager.h>

WiFiManager wifiManager;

wifiManager.setConfigPortalTimeout(240);    // number of seconds in access point mode

unsigned status = wifiManager.autoConnect("plant sensor")

if(!status) {
    ESP.deepSleep(DEEP_SLEEP_INTERVAL);
}
```

Obr. 32: Ukážka kódu pre prácu s Wi-Fi manažérom.

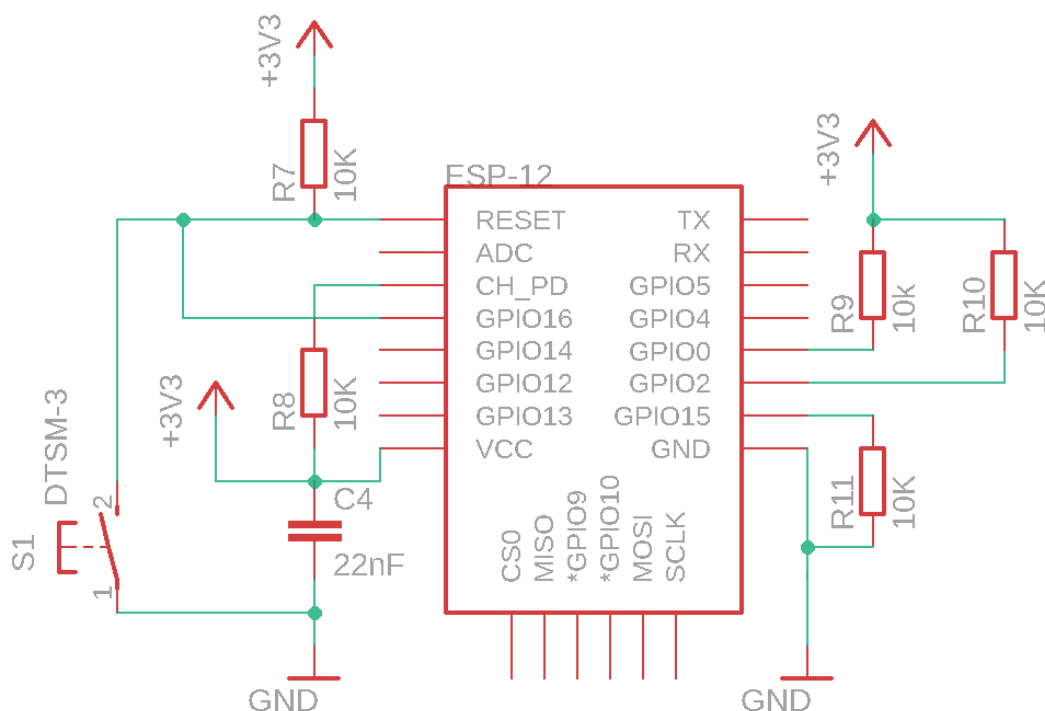
7.6 RESET

Reset v digitálnej elektronike znamená uvedenie zariadenia do počiatočného stavu. To znamená v prípade senzoru pre monitorovanie rastlín zmazanie uložených Wi-Fi sietí.

Reset pin na module ESP-12F je počas fungovania v stave logickej jednotky. Reset modulu je možný privedením logickej nuly na tento pin. Takýmto princípom funguje režim deep-sleep. Na reset pin je pripojený GPIO16, ktorý po vypršaní doby spánku resetuje modul.

Jedným z riešení odlíšenia resetu užívateľom a režimom deep-sleepu je pripojenie tlačidla pre reset na niektorý z dostupných GPIO. Tento GPIO potom použiť v režime vstupu a sledovať jeho hodnotu. Problémom je, že použitie GPIO nie je možné v režime deep-sleepu, ktorý je nevyhnutný pre úsporu energie.

Druhým možným riešením je odlíšenie resetu užívateľom dvomi stlačeniami tlačidla v rýchlom slede za sebou. Toto omeškanie je nastavené na 10 sekúnd a hodnota predchádzajúceho stlačenia je uložená v RTC pamäti.

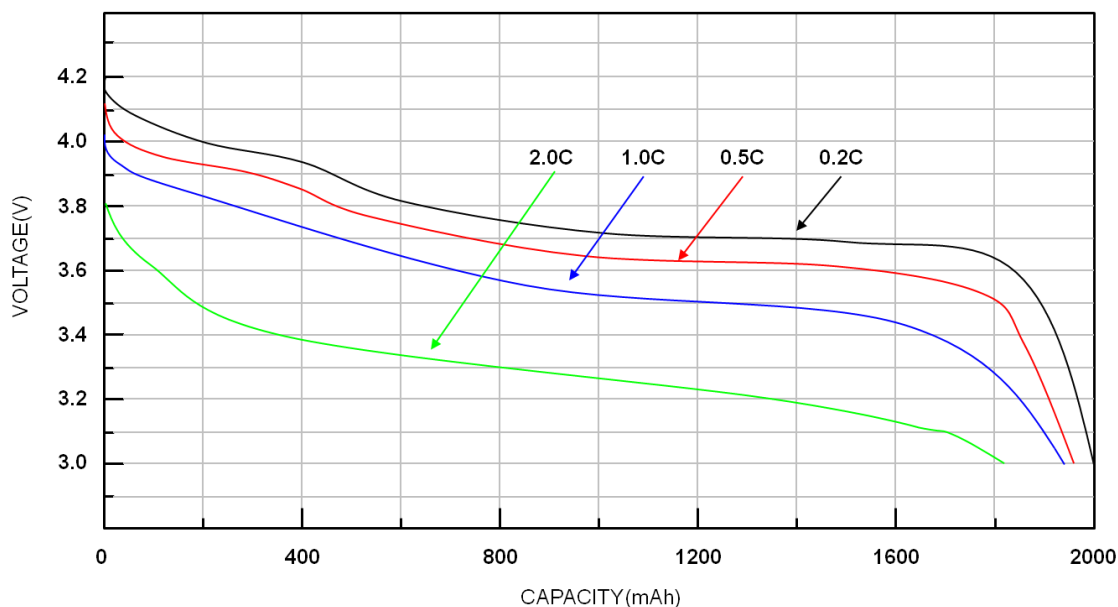


Obr. 33: Schéma zapojenia reset tlačidla.

7.7 PRIPOJENIE NA A/D PREVODNÍK

Senzor do kvetináča obsahuje modul pre meranie vlhkosti pôdy, ktorý má analógový výstup, ktorý je nutné spracovať pomocou integrovaného A/D prevodníka modulu ESP. Pre lepší užívateľský zážitok je prítomné aj meranie úrovne napätia na batérii, ktoré je možné interpretovať ako zostávajúcu kapacitu batérie.

Napätie na Li-ion type batérii klesá podľa nasledujúceho grafu. Čím je odoberaný prúd nižší, tým je krivka lineárnejšia v povolenej oblasti vybitia Li-ion batérie. Priemerný elektrický prúd pre ESP modul je nízky, 0,28 mAh, preto bude kapacita batérie považovaná za lineárnu závislú na napätí na batérii.



Obr. 34: Teoretický priebeh napätia na batérii [51].

Pre pripojenie dvoch zariadení na jeden A/D prevodník boli testované dve metódy, ktoré by nevyžadovali pripojenie externého A/D prevodníka.

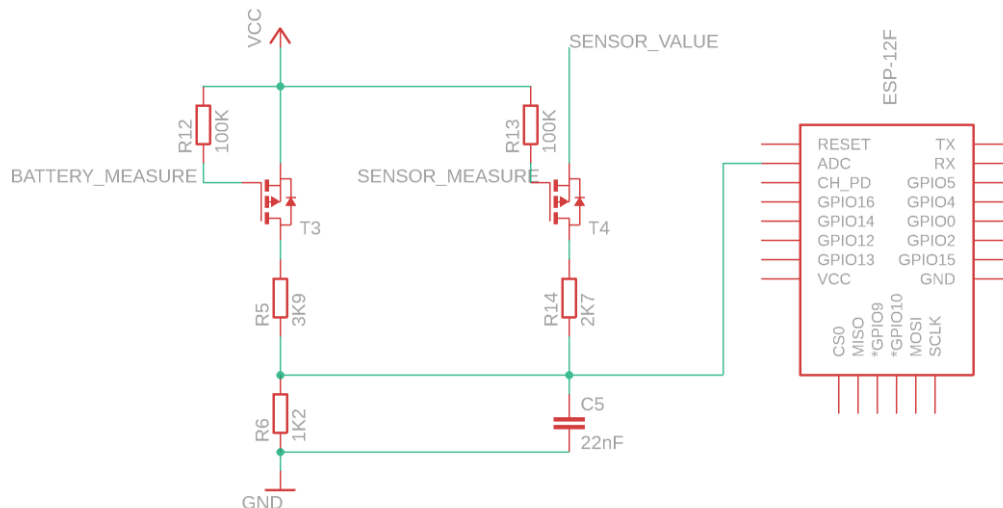
7.7.1 MOSFET TRANZISTORY

Táto metóda používa princíp odporových deličov so spoločným dolným rezistorom. Prepájanie zariadení na prevodník funguje pomocou MOSFET tranzistorov, ktoré ovládajú pripojenie horného rezistora podľa aktuálnej meranej veličiny. V jeden okamih je možné merať len na jednom deliči.

Napätie na batérii sa pohybuje od 4,2 pri plnom nabití do 3 V pri vybití. Rozsah A/D prevodníka na module ESP-12F je 0 až 1 V. Preto bol zvolený pomer rezistorov v odporovom deliči pri meraní napätia na batérii 3,25, ktorý zodpovedá hodnote približne 1 V pri napätí na batérii 4,2 V.

Výstupné napätie senzora pre meranie vlhkosti pôdy je premenlivé od nízkych hodnôt až po hodnotu napájacieho napätia. Pomer rezistorov bol v tomto prípade 2,25, ktorý zodpovedá hodnote 1 V na A/D prevodníku pri napätí 3,3 V na senzore.

Motiváciou pre testovanie konkrétnych hodnôt rezistorov v uvedených pomeroch bol prechádzajúci prúd, ktorý musel byť dostatočný pre dosiahnutie stabilných hodnôt merania a zároveň dostatočne nízky kvôli spotrebe batérie. Pri voľbe veľkosti rezistorov bolo nutné brať do úvahy aj skutočnosť, že senzor pre meranie vlhkosti pôdy v sebe už obsahoval odporový delič.

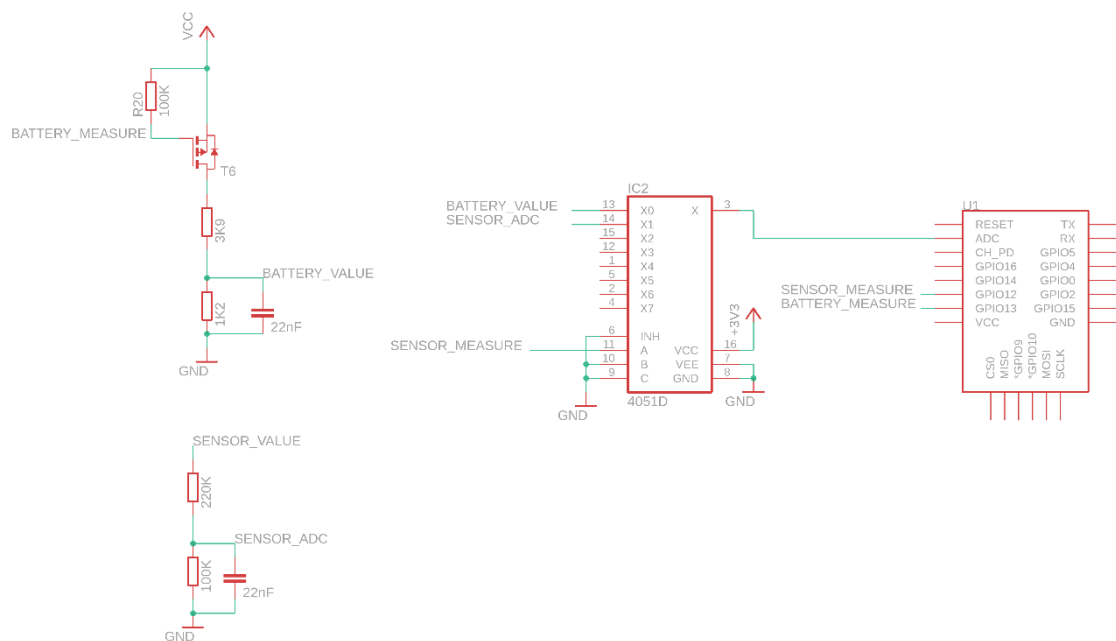


Obr. 35: Schéma pripojenia na A/D prevodník metódou MOSFET tranzistorov.

Po testoch na prototype, ktorý používal túto metódu nefungovalo správne meranie napätia na senzore. Príčinou bolo neúplné otvorenie MOSFET tranzistora pri nízkych hodnotách napätia na senzore, ktoré odpovedalo vysokej vlhkosti pôdy.

7.7.2 ANALÓGOVÝ MULTIPLEXER

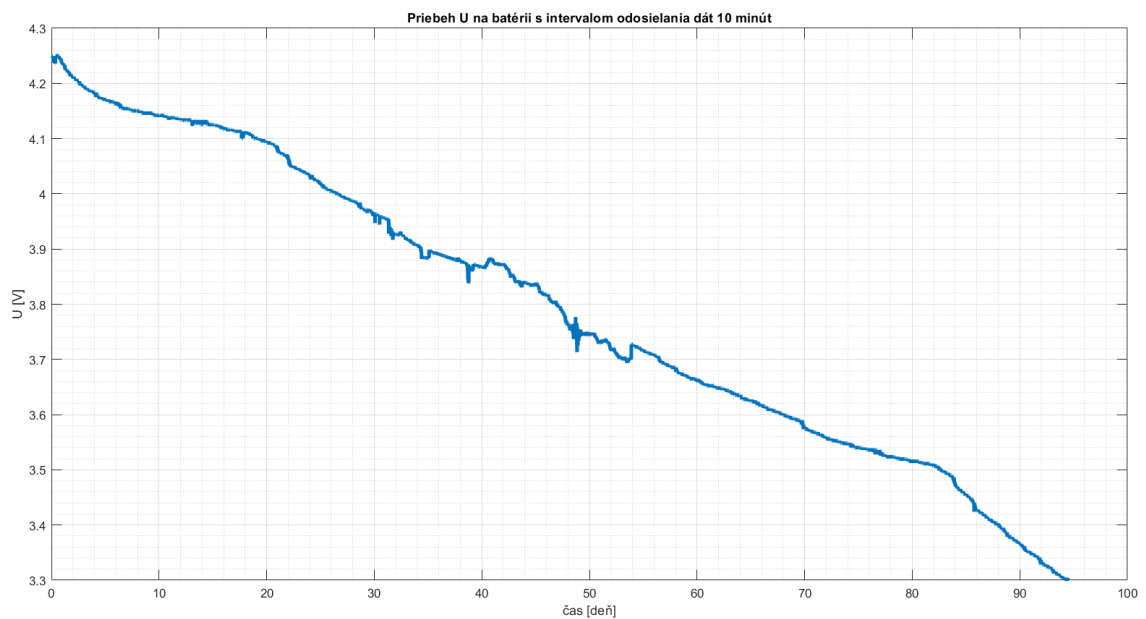
Druhou metódou bolo použiť analógový multiplexer. Je to elektronické zariadenie určené pre pripojenie viacerých vstupných analógových signálov. Pomocou digitálnych vstupov dochádza k prepínaniu vstupov na výstup, ktorý je jeden. Líšia sa počtom kanálov, teda počtom vstupných signálov, ktoré sú schopné spracovať. V našom prípade pracujeme s dvojkanálovým, pre ktorého riadenie stačí jeden digitálny vstup z modulu ESP-12F. Pre každú meranú veličinu bol použitý samostatný odporový delič podľa parametrov z kapitoly 7.7.1.



Obr. 36: Schéma pripojenia na A/D prevodník metódou multiplexer.

7.8 PRIEBEH VYBÍJANIA BATÉRIE

Po vytvorení prvého funkčného prototypu, ktorý meral vstupné napätie na batérii A/D prevodníkom a odosielať ostatné merané dáta na server, sa merala výdrž batérie. Na nasledujúcom grafe je znázornené napätie na batérii z nameraných dát pri intervale odosielať dát 10 minút.



Obr. 37: Pribeh napätia na batérii.

7.9 KOMUNIKÁCIA

Komunikácia medzi senzorom a serverom, ktorý ukladá dáta na cloudové úložisko prebieha prostredníctvom hypertextového prenosového protokolu (HTTP). Je to aplikačný protokol nad transportným protokolom TCP, ktorý je založený na princípe požiadavka od klienta – odpoveď servera [52].

Z dát sú po nameraní vypočítané priemery a sú sformátované do formátu JSON. Jedná sa o najpoužívanejší formát pre výmenu dát na medzi serverom a klientom.



```
{
  "device": "5099803df3f4948bd2f98391",
  "data": [
    {
      "measure": "temperature",
      "value": 22.14
    },
    {
      "measure": "humidity",
      "value": 55
    },
    {
      "measure": "soilMoisture",
      "value": 974
    }
  ]
}
```

Obr. 38: Ukážka dát zo senzora.

Bezpečnosť prenosu je zabezpečená unikátnym identifikátorom senzora, ktorý sa odosiela spolu s nameranými údajmi. Podľa tohto identifikátora je server schopný priradiť prijaté dáta k senzoru a tento senzor ďalej k užívateľovi. Text požiadavky nie je pred odoslaním šifrovaný z dôvodu, že sa nejedná o citlivé údaje a tento výpočet by zabral určitý čas, počas ktorého by došlo k zvýšeniu priemernej spotreby zariadenia. Prípadné zneužitie senzora je zabezpečené na strane servera. Každý senzor má v databáze uložený interval odosielania dát. Pokiaľ prišlo v tomto intervale k prekročeniu povolených zápisov do databázy, požiadavka na server skončí chybou.

8 MONITOROVANIE PODMIENOK

Senzor pre monitorovanie podmienok rastlín si svoj prívlastok inteligentný nezaslúži tým, že meria podmienky ovplyvňujúce kvalitu života rastliny a dokáže ich zobrazit' používateľovi, ale tým, že tieto dáta dokáže analyzovať. Z tejto analýzy dokáže obohatiť namerané dáta o informáciu, ako veľmi sa líšia od odporúčaných a viesť používateľa k skvalitneniu podmienok rastliny.

Monitorovanie podmienok funguje na báze „workerov“. Jedná sa o periodicky sa opakujúce skripty, ktoré načítavajú záznamy z databázy a ďalej ich spracúvajú. Každý takýto proces má svoju špecifickú úlohu a je nezávislý od ostatných.

8.1 DATABÁZA RASTLÍN

Pre korektné informácie o smerovaní používateľa pri pestovaní je nutná rozsiahla databáza s odporúčanými údajmi. Senzor funguje tak, že je k nemu priradený druh rastliny a monitor podľa tohto nastavenia vyhodnocuje veličiny. Podmienky pre toto použitie spĺňa databáza pre aplikáciu Flower Care, ktorú používa senzor Xiaomi Mi Plant. Obsahuje minimálne a maximálne odporúčané hodnoty pre teplotu, vlhkosť vzduchu, svetelnú intenzitu, vlhkosť a hnojenie pôdy. Pre každý druh rastliny obsahuje internetový odkaz na fotografiu rastliny. Táto databáza bola prebraná z dostupných zdrojov a použitá pre monitorovanie podmienok.

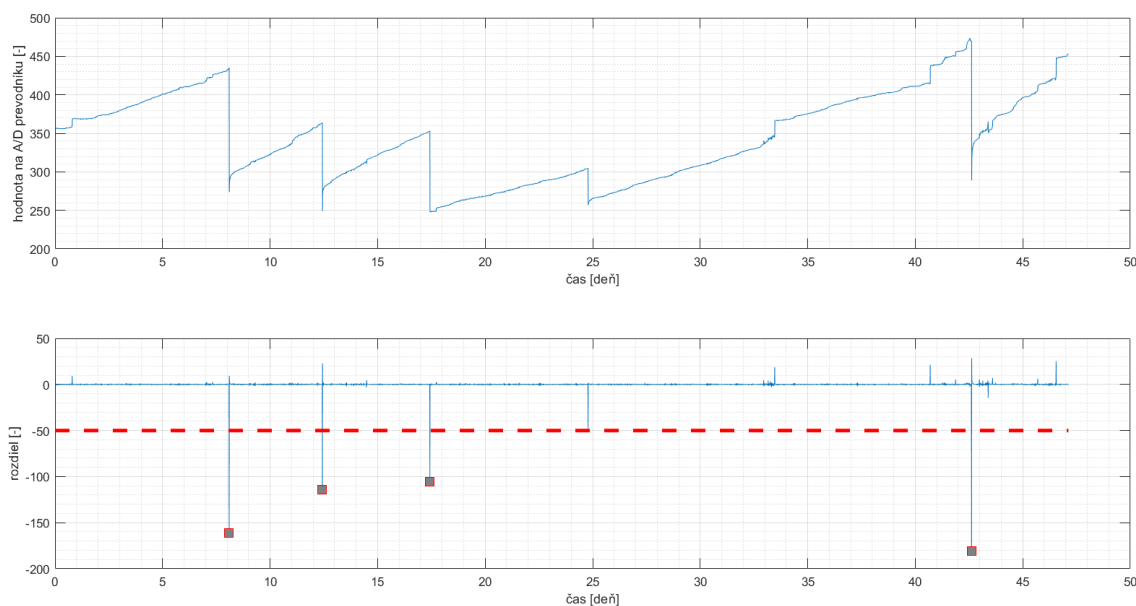
8.2 MONITOROVANIE MERANÝCH VELIČÍN

Základnou analýzou je porovnávanie priemerných hodnôt meraných veličín za určité obdobie s intervalom odporúčaných hodnôt z databázy pre nastavený druh rastliny. Priemerné hodnoty sú prepočítavané v pravidelnom časovom intervale, ktorý zodpovedá intervalu odosielania dát zo senzora. Táto analýza je spustená až po uplynutí kalibračnej časovej konštanty, ktorá trvá jeden týždeň. Po uplynutí tohto času užívateľ dostáva informáciu o polohe priemernej hodnoty v odporúčanom intervale za posledné obdobia.

8.3 MONITOROVANIE VLHKOSTI V KVETINÁČI

Aby bolo možné zabezpečiť notifikácie o nedostatočnej vlhkosti pôdy v kvetináči, bol vytvorený skript, ktorý načíta všetky namerané dáta vlhkosti a analyzuje ich. Funguje na princípe hľadania skokov v priebehu dát, ktoré znamenajú zmenu indukčnosti zapríčinenou zmenou vlhkosti pôdy. Čím je suchšia, tým je hodnota na A/D prevodníku vyššia. Veľkosť skoku závisí od intenzity polievania.

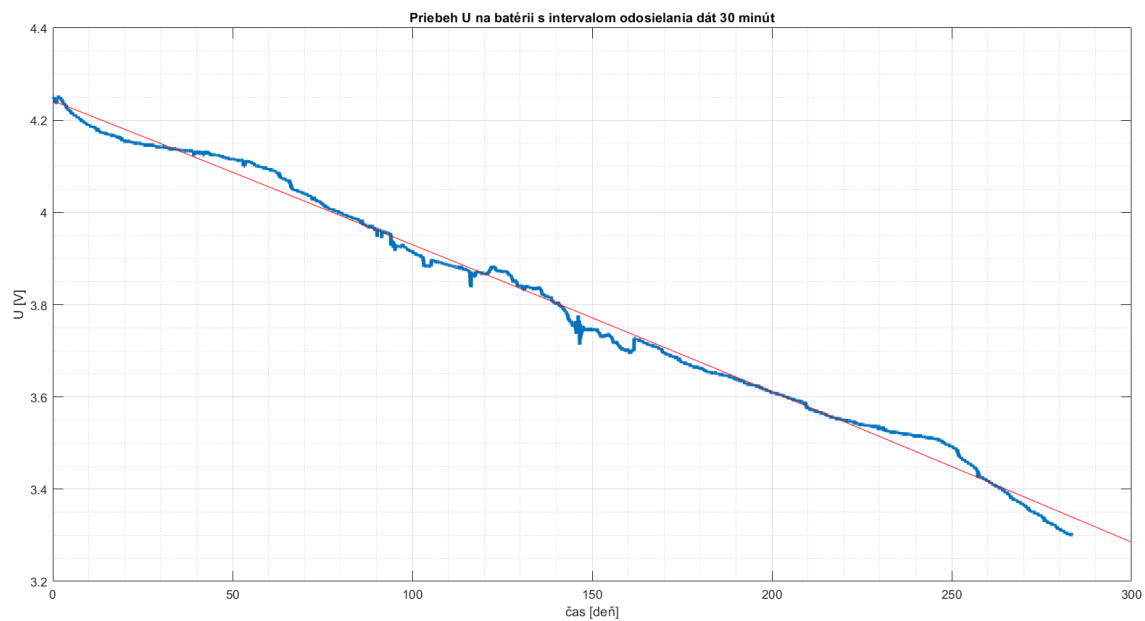
Skoky v týchto údajoch sú zapríčinené ale aj napríklad pohybmi kvetináča, zmenou polohy sondy v kvetináči alebo zmenou hĺbky jej zapichnutia do pôdy. Preto je nutné tieto skoky odfiltrovať. Pokiaľ je zmena hodnoty pod nastaveným prahom, nezaznamená sa táto udalosť ako poliatie. Hodnota tohto prahu môže byť statická alebo dynamická v závislosti na použitom druhu zeminy v kvetináči. V ďalšej iterácii sú pre analýzu načítané údaje od poslednej zaznamenanej udalosti poliatia.



Obr. 39: Princíp fungovania monitorovania vlhkosti v kvetináči.

8.4 MONITOROVANIE VÝDRŽE BATÉRIE

Výpočet vychádza z nameraných dát pre interval odosielania dát 10 minút, pri ktorom bola priemerná spotreba 0,78 mAh. Pri predĺžení na 30 minút sa zmení pomer medzi časom senzora v spánku a v režime merania. To zapríčiní, že priemerná spotreba klesne na 0,28 mAh. Spotreba medzi jednotlivými meraniami sa zmenila z 0,13 mAh (0,78 mAh / 6 meraní) na 0,14 mAh (0,28 mAh / 2 merania). Graf predpokladanej výdrže batérie pre interval 30 minút bol vytvorený z grafu z kapitoly č. 7.8 tým postupom, že medzi jednotlivé merania bolo vložené 30 minútové omeškanie namiesto 10. Tento priebeh bol nahradený lineárnou priamkou, z ktorej je vypočítaný predpokladaný dátum vybitia batérie. Túto dobu môžu výrazne ovplyvniť časté výpadky Wi-Fi, ktoré uvedú senzor do prístupového módu.



Obr. 40: Predpokladaný priebeh napätia na batérii.

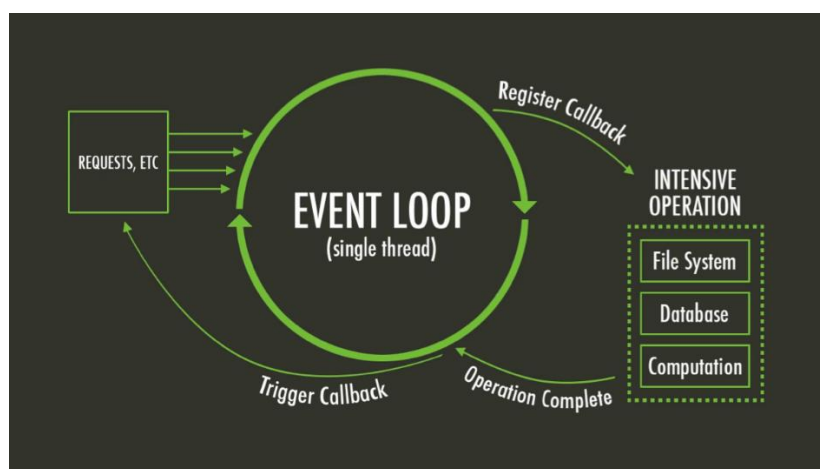
9 UŽÍVATEĽSKÁ APLIKÁCIA

Cieľom efektívnej užívateľskej aplikácie je poskytnúť veľké množstvo informácií v jednoduchej prehľadnej forme. Aplikácia plní účely ako pridanie senzora k užívateľskému účtu, priradenie druhu rastliny na daný senzor, prehľad nameraných dát, informácií o druhu rastliny a odporúčaníach k pestovaniu.

Užívateľská aplikácia sa skladá z dvoch častí. Prvá, serverová časť, beží na pozadí a zabezpečuje akcie ako ukladanie nameraných dát do databázy, ich analýzu, správu užívateľov, nastavenia senzorov a načítavanie dát. Druhá, vizuálna časť, slúži pre integráciu s užívateľom, kde je možné tieto akcie vykonávať.

9.1 NODE.JS

Serverová časť aplikácie funguje v prostredí Node.js. Jedná sa o JavaScript engine postavený na Chrome V8. Jeho jadro tvorí cyklus udalostí nazývaný „event loop“, do ktorej vstupujú udalosti, ktoré vyvolali užívateľské požiadavky. Každá požiadavka je pridelená nezávislému vláknu. Tieto vlákna sú asynchrónne a nezávislé. Táto architektúra je preto obmedzená na používanie jedného jadra procesora [53].



Obr. 41: Event loop v Node.js [53].

Dôležitou časťou tohto systému je balíčkový systém npm. Je to správca knižníc tretích strán, ktoré je možné nainštalovať a spravovať.

9.2 REACT NATIVE

V dnešnej dobe už takmer na všetko využívame mobilné aplikácie. Oproti webovým aplikáciám zvyšujú pomyselnú hodnotu produktu v očiach zákazníka. Preto vývoj natívnej aplikácie do smartfónu dostal prednosť pred webovou aplikáciou. Ako nástroj pre vytvorenie bola použitá open-source JavaScript knižnica vytvorená firmou Facebook s názvom React Native. Podporuje vytváranie natívnych aplikácií pre platformy iOS a Android. Výhodou je, že aplikáciu nie je nutné vyvíjať zvlášť pre každú platformu.

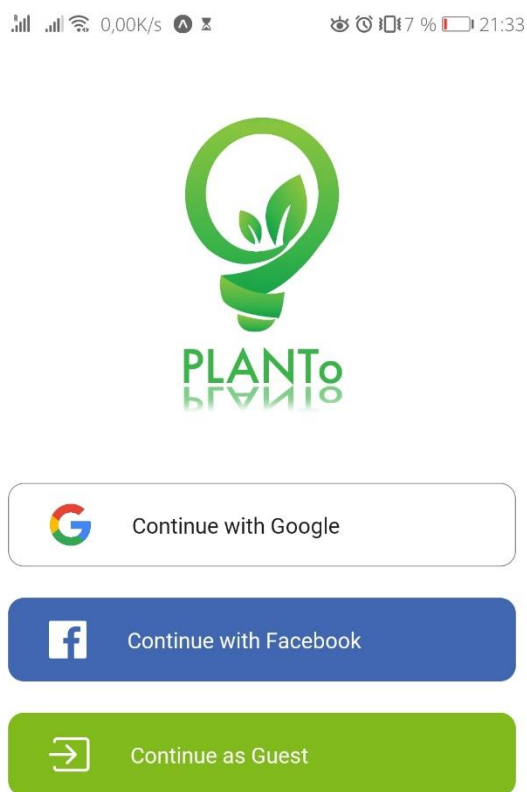
Tento systém funguje na princípe skladania užívateľského rozhrania (UI) z abstraktných komponentov, ktoré sú prevedené na natívne komponenty danej platformy. UI je spustené v hlavnom vlákne, ktoré má každá aplikácia a logika vytvorená v programovacom jazyku JavaScript vo vlákne druhom. Vďaka tomu je takáto aplikácia rýchla a odozva UI sa nelíši od aplikácií vytvorených v programovacích jazykoch Java alebo Swift, ktoré sú primárne určené pre natívne mobilné aplikácie.

9.3 EXPO

Pre vytvorenie mobilnej aplikácie pomocou knižnice React Native bola použitá platforma Expo. Obsahuje sadu nástrojov a služieb, ktoré zjednodušujú vývoj a nasadzovanie aplikácií. Umožňuje prístup k natívnym funkciám mobilu ako je fotoaparát, úložisko alebo zdieľanie polohy. Podporuje debugovanie aplikácie v reálnom čase na mobilnom zariadení.

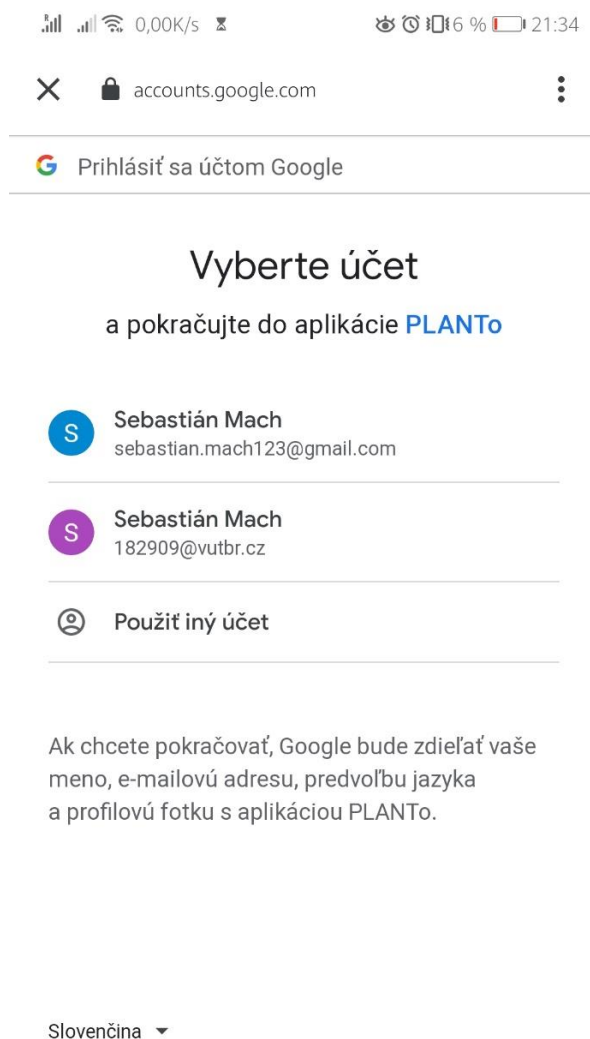
9.4 UKÁŽKY Z APLIKÁCIE

Po spustení aplikácie je užívateľovi zobrazená prihlasovacia obrazovka. Na nej je možné vybrať z troch typov autentifikácie, a to pomocou Google účtu, Facebook účtu alebo pokračovania bez prihlásenia v režime host'a, ktorý slúži pre testovacie účely. Prihlásenie cez Google alebo Facebook funguje prostredníctvom protokolu OAuth.



Obr. 42: Prihlasovacia obrazovka.

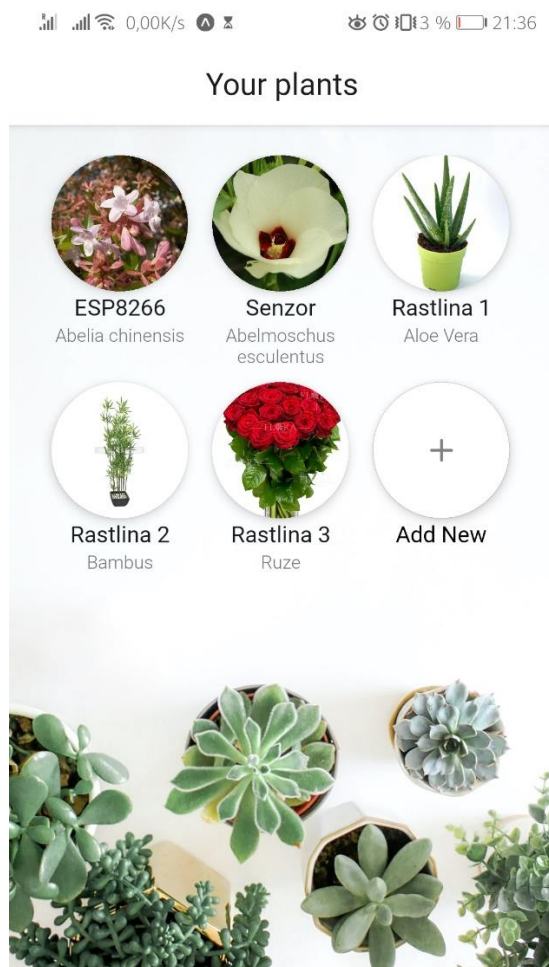
OAuth je spôsob, ktorým sa autentifikujú používatelia webovej stránky alebo aplikácie bez toho, aby sa museli registrovať alebo zadávať heslá. Pre autentifikáciu je použitý účet zvoleného poskytovateľa OAuth, v tomto prípade Google alebo Facebook. Po kliknutí na tlačidlo s prihlásením je užívateľ presmerovaný na stránky zvoleného poskytovateľa. V nastaveniach OAuth sa uvádza, ktoré osobné informácie získa aplikácia od jej poskytovateľa.



Obr. 43: Google OAuth.

Po úspešnom prihlásení je užívateľ presmerovaný na domovskú obrazovku. Z jeho identity je vygenerovaný identifikátor, ktorý slúži na spárovanie s jeho senzormi. Aplikácia ukladá z osobných údajov meno a email používateľa.

Domovská obrazovka obsahuje zoznam všetkých senzorov. Po kliknutí na náhľad fotografie rastliny sa otvorí detail rastliny s prehľadom meraných veličín. Na grafických intervaloch je zobrazená priemerná hodnota jednotlivých veličín za posledné obdobie. Zelený indikátor ohraničuje odporúčané hodnoty pre jednotlivé veličiny konkrétnej nastavenej rastliny.



Obr. 44: Domovská obrazovka.



ESP8266

Abelia chinensis



61 %



171 lux



59 %

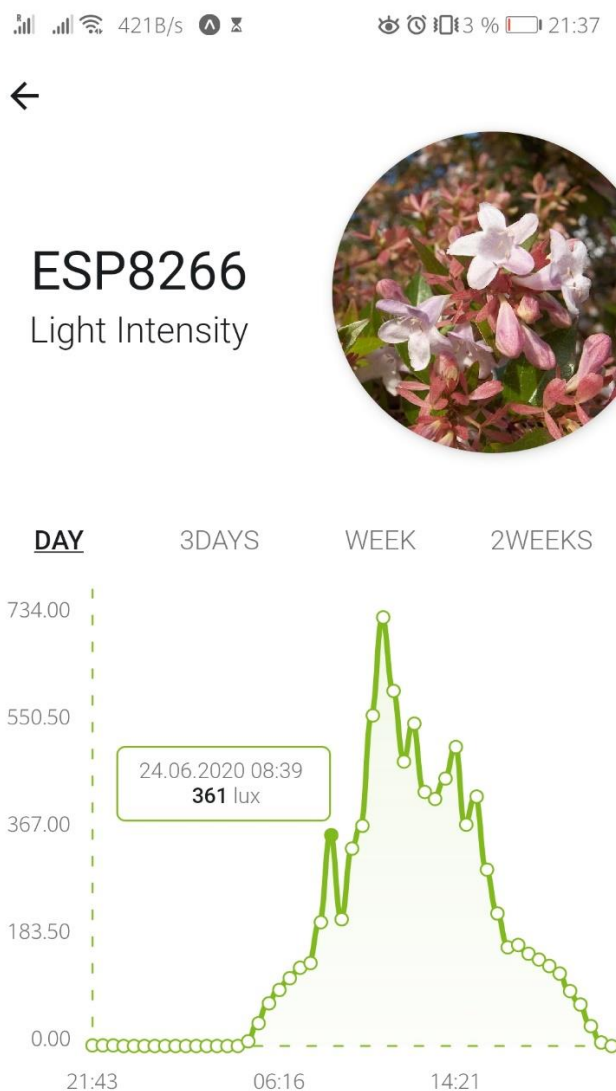


23 °C



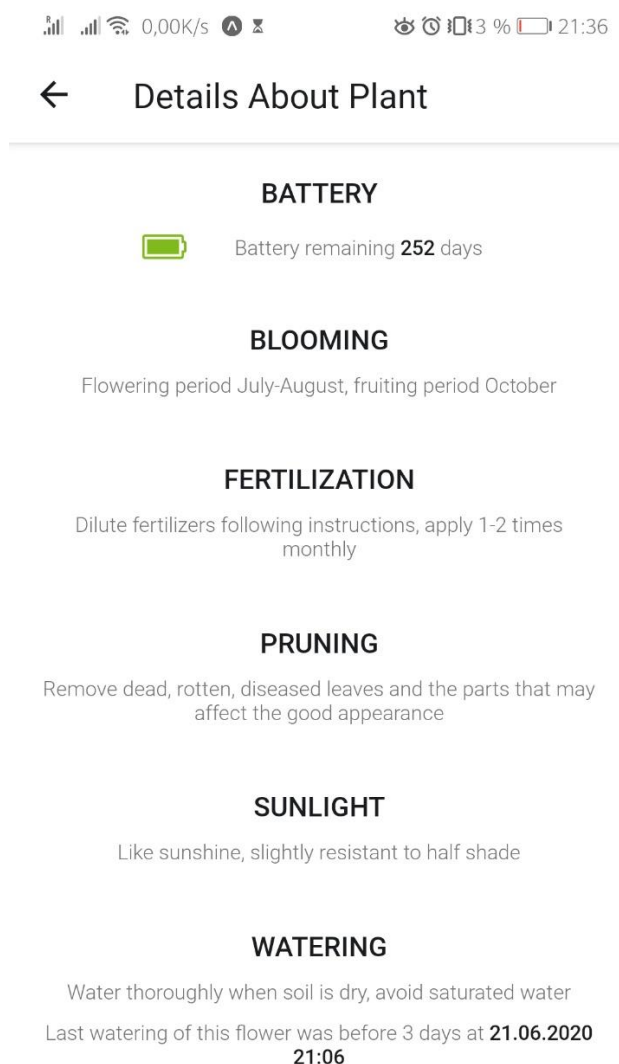
Obr. 45: Detail rastliny.

Po kliknutí na ikonu veličiny sa zobrazí graf s nameranými hodnotami danej veličiny. Počiatočné zobrazené časové obdobie je jeden deň do minulosti. Pri zmene časového horizontu sú dáta načítané znovu, graf sa prispôsobí svojou šírkou zvolenému obdobiu a je doplnený o nové dáta. Po kliknutí na bod na grafe sa zobrazí náhľad s informáciou o hodnote a čase, kedy prebehlo zvolené meranie.



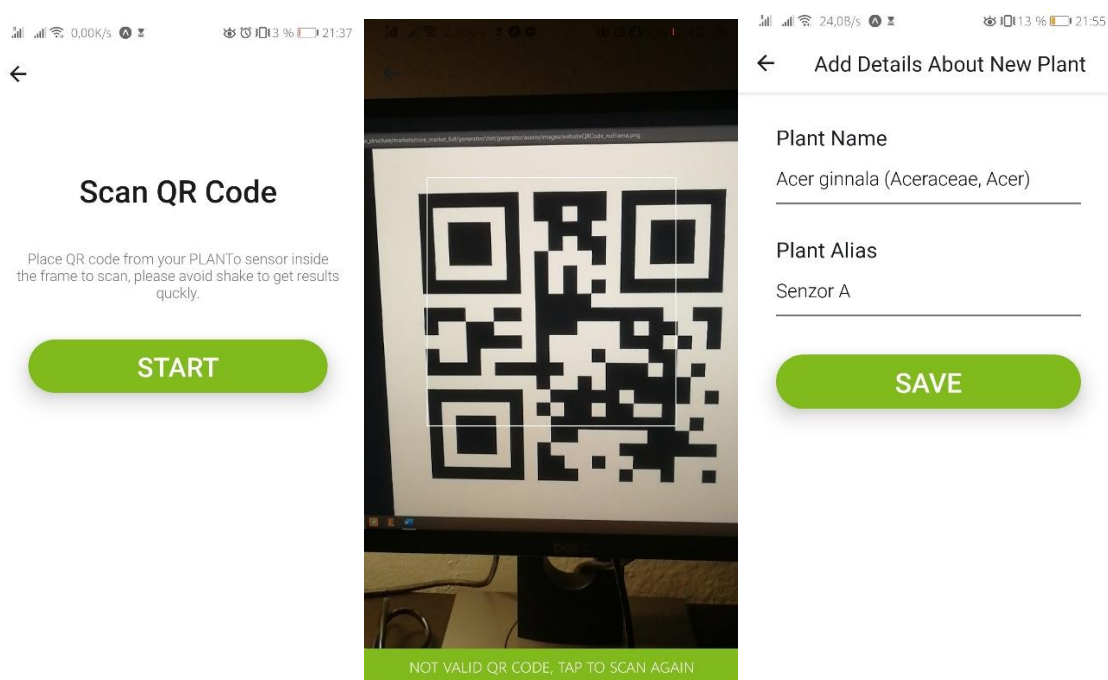
Obr. 46: Graf nameraných dát.

Každý senzor obsahuje doplňujúce informácie k rastline ako sú napríklad čas kvitnutia, frekvencia hnojenia alebo ideálne podmienky pre intenzitu svetla. K týmto informáciám sú prístupné po kliknutí na náhľad fotografie rastliny v detaile senzora. Okrem rád pre pestovanie danej rastliny je zobrazená ikona batérie graficky zobrazujúca jej stav nabitia a predpokladanú výdrž v počte dní. V sekcii o polievaní je zobrazená informácia o čase, kedy došlo na senzore k nárastu vlhkosti pôdy a počte dní od tejto udalosti.



Obr. 47: Informácie o rastline.

Pridanie nového senzora je možné kliknutím na kruh s ikonou znamienka plus v domovskej obrazovke. Každý senzor má vygenerovaný unikátny QR kód, ktorý je aplikácia schopná načítať pomocou fotoaparátu a priradiť ho k existujúcemu senzoru. To zabezpečí spárovanie užívateľa so senzorom. V ďalšom kroku sa priradí k senzoru druh rastliny, ktorý následne slúži k správe monitorovania životných podmienok rastliny. K rastline sa priradí alias, ktorý slúži pre rýchlu identifikáciu senzora v prehľade všetkých senzorov užívateľa.



Obr. 48: Proces pridania nového senzora.

10 ZÁVER

Cieľom tejto diplomovej práce bolo vytvorenie plnohodnotného senzora pre monitorovanie interiérových rastlín, ktorý okrem základných funkcií, ktoré ponúkajú senzory na trhu, prináša niečo nové. Prvým krokom bol prieskum trhu so zoznamom vlastností a funkcií dostupných senzorov v kapitole č. 2. Medzi potrebné veličiny, ktoré majú najvplyvnejší dopad na podmienky rastliny patria teplota, vlhkosť vzduchu, svetelná intenzita a vlhkosť pôdy. Druhy senzorov akými budú tieto veličiny merané a ich princíp fungovania je popísaný v kapitole č. 3.

Celkový senzor je zložený modulárne z jednotlivých senzorov pre konkrétne veličiny. Pre ich prepojenie a vzájomnú komunikáciu musel byť vybraný vhodný modul podporujúci všetky potrebné zbernice a rozhrania, ktoré senzory používajú. Dôležitú rolu vo výbere modulu zohrala voľba bezdrôtovej sieťovej technológie, ktorá má zabezpečiť odosielanie dát tak, aby ich bolo možné zobrazit' užívateľovi. Na základe prieskumu trhu bola zvolená ako najvhodnejšia Wi-Fi sieť. Celá problematika s výberom modulu a sieťovej technológie je popísaná v kapitole č. 4.

Kapitola č. 5 sa zaoberá analýzou ukladania dát zo senzora. K dispozícii je niekoľko variant, kde každá má svoje výhody a nevýhody. Ako víťaz z tohto porovnania vyšla možnosť hostingu MongoDB databázy na cloudovom úložisku.

V kapitole č. 6 je podrobnejšie opísaný vybraný Wi-Fi modul ESP-12F, na ktorý sú pripojené jednotlivé senzory a odosiela dáta prostredníctvom siete na cloud.

Postupné kroky pri vývoji funkčného modelu sú uvedené v kapitole č. 7. Prvé pokusy pripojenia senzorov prebiehali na SDK (Software development kit), ktoré obsahovali čip ESP8266. Ďalší vývoj už prebiehal na samotnom ESP-12F. V tejto kapitole sú ďalej informácie o výbere batérie, meraní jej kapacity a testoch výdrže pri reálnom fungovaní.

Informácie ako funguje odosielanie dát na server, štruktúra dát, prvé pripojenie senzora na Wi-Fi sieť a správa uložených sietí sú v kapitolách č. 7.5 a 7.8.

Senzor má okrem merania spomenutých veličín ďalšiu, rovnako dôležitú funkciu, a to vyhodnotenie nameraných dát a ich interpretácia používateľovi. Podľa toho, pre aký druh rastliny sa senzor používa, prebieha analýza napríklad času posledného poliatia alebo ideálnych podmienok pre vlhkosť v kvetináci. Kapitola č. 8 podáva informácie, aké postupy a systémy sú pre túto analýzu použité.

Posledná časť práce dáva informácie o použitých technológiách, ktoré boli použité pri tvorbe užívateľskej aplikácie. Bude slúžiť pre zobrazenie nameraných dát, informovaní o rastline a jej životných podmienkach v porovnaní s odporúčanými.

11 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] Parrot Flower Power. *Parrot* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: https://www.parrot.com/files/s3fs-public/firmware/flower-power_user-guide_uk.pdf
- [2] Parrot Flower Power. *Mall.sk* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.mall.sk/gadgety/parrot-flower-power-hnedy?tab=discussion>
- [3] Xiaomi Mi Plant se o kytky sice nepostará, dohlédne však, abyste to udělali vy! *GeekLife* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.geeklife.cz/xiaomi-mi-plant-se-o-kytky-sice-nepostara-dohledne-vsak-abyste-to-udelali-vy/>
- [4] Original Xiaomi Mi Plants Monitor Flower Plants Tester Mi Plants Sensor with Bluetooth Connection. *Https://www.spemall.com/* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: https://www.spemall.com/Original-Xiaomi-Mi-Plants-Monitor-Flower-Plants-Tester-Mi-Plants-Sensor-with-Bluetooth-Connection_g.html
- [5] FYTA Beam - the smart plant sensor. *Kickstarter* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.kickstarter.com/projects/fyta/fyta-beam-the-smart-plant-sensor>
- [6] Pink Frosted. *Surveyhero.com* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://surveyhero.com/c/e3402ef4>
- [7] Plant Link: Listen to your plants. *Kickstarter* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.kickstarter.com/projects/1387729422/plant-link-listen-to-your-plants>
- [8] PLANT LINK: TELLS YOU WHEN YOUR PLANTS ARE THIRSTY. *Plant Gadgets* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://plantgadgets.wordpress.com/2015/08/26/plant-link-tells-you-when-your-plants-are-thirsty/>
- [9] Crowtail- Moisture Sensor 2.0. *Elecrow.com* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.elecrow.com/crowtail-moisture-sensor-p-1228.html>
- [10] Soil moisture sensor detection module. *Amazon.com* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41rgZSs3VML._SX342_.jpg
- [11] Soil Humidity Sensor Module Moisture Sensor Module. *Okystar.com* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.okystar.com/product-item/soil-humidity-sensor-moisture-sensor-oky3443/>
- [12] 5 common mistakes when measuring soil moisture. *Edaphic scientific blog* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.edaphic.com.au/5-common-mistakes-when-measuring-soil-moisture/>
- [13] Capacitive soil moisture sensor. *Dfrobot* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: https://wiki.dfrobot.com/Capacitive_Soil_Moisture_Sensor_SKU_SEN0193
- [14] Fotoodpor (fotorezistor). *ELUC* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/610>

- [15] KY-018 Photoresistor module. *Arduino modules* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://arduinomodels.info/ky-018-photoresistor-module/>
- [16] Fotodioda. *Wikipedia* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotodioda>
- [17] How to use: BH-1750 light module. *E-radionica.com* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://e-radionica.com/en/blog/how-to-use-bh1750-light-module/>
- [18] BME280. *Bosch* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/>
- [19] BME280. *Aliexpress* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/32861811886.html?pvid=53fbb592-3e3c-43f9-9f31-8c8bdb0d2879&aff_platform=aaf&sk=AYNZbMb&aff_trace_key=7f425f4619114b749ff53dd41741c3f1-1590414238975-00269-AYNZbMb&rmsg=do_not_replacement&scm=1007.23534.124000.0&dp=haj.camillesonthehill.co&terminal_id=14ed52b21e38471d87697f0c03f415ef&aff_request_id=7f425f4619114b749ff53dd41741c3f1-1590414238975-00269-AYNZbMb
- [20] Microcontroller. *IoT Agenda* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/microcontroller>
- [21] Bluetooth. *Wikipedia* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [22] Wi-Fi. *Wikipedia* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://sk.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
- [23] What is IQRF? *IQRF* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.iqrf.org/what-is-iqrf>
- [24] IQRF. *IoT portál* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2017/11/27/iqrf/>
- [25] ZigBee. *Wikipedia* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
- [26] LoRa. *Wikipedia* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/LoRa>
- [27] Stručný popis sběrnice I2C a její praktické využití k připojení externí eeprom 24LC256 k mikrokontroléru PIC16F877. *Vyvoj.hw.cz* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/navrh-obvodu/strucny-popis-sbernice-i2c-a-jeji-prakticke-vyuziti-k-pripojeni-externi-eeprom-24lc256>
- [28] I2C Signals. *Rheingold heavy* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://rheingoldheavy.com/i2c-signals/>
- [29] The I2C Clock Speed – Why Accuracy Doesn't Matter. *I2C bus* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.i2c-bus.org/speed/>
- [30] Analog-to-digital converter. *Wikipedia* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital_converter

- [31] PIC Analog to Digital Converter tutorial. *Microcontrollerboard.com* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <http://www.microcontrollerboard.com/analog-to-digital-converter.html>
- [32] EY-08 BLE Bluetooth 4.0 UART Modul, JDY-08 CC2541. *Laskarduino* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/ey-08-ble-bluetooth-4-0-uart-modul--jdy-08-cc2541/>
- [33] ESP-12F Datasheet. *Ai-thinker* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: http://wiki.ai-thinker.com/_media/esp8266/a014ps01.pdf
- [34] ESP12-F s ESP8266. *GM Electronic* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.gme.sk/esp12-f-s-esp8266>
- [35] TR-72D. *IQRF* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.iqrf.org/product-detail/tr-72d>
- [36] Bezdrátová inovace pro malá data jménem IQRF. *Root.cz* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/bezdratova-inovace-pro-mala-data-jmenem-iqrf/>
- [37] Overview of Internet of Things. *Google Cloud* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://cloud.google.com/solutions/iot-overview>
- [38] 10 Best IoT Cloud Platforms 2020. *DevTeam.Space* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.devteam.space/blog/10-best-internet-of-things-iot-cloud-platforms/>
- [39] Learn More About ThingSpeak. *ThingSpeak* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: https://thingspeak.com/pages/learn_more
- [40] MongoDB Atlas. *MongoDB* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.mongodb.com/cloud/atlas>
- [41] Welcome to the MongoDB Docs. *MongoDB* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://docs.mongodb.com/>
- [42] ESP8266EX - TINY WIRELESS 802.11 B/G/N CHIP. *Gridconnect* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.gridconnect.com/products/esp8266ex-tiny-wireless-802-11-b-g-n-chip>
- [43] ESP8266. *Wikipedia* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP8266>
- [44] ESP-12F, ESP8266-based Wi-Fi module. *Elektorstore* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.elektor.com/esp-12f-esp8266-based-wi-fi-module-160100-92>
- [45] NodeMCU a jeho verzie: doska s Wi-Fi čipom ESP8266. *Root.cz* [online]. [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/nodemcu-a-jeho-verzie-doska-s-wi-fi-cipom-esp8266/>
- [46] Wemos D1 Mini ESP8266 Dev Board. *Cytron Marketplace* [online]. [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.cytron.io/p-wemos-d1-mini-esp8266-dev-board>
- [47] Adafruit BME280 Library. *Github* [online]. [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: https://github.com/adafruit/Adafruit_BME280_Library

- [48] BH1750. *Github* [online]. [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://github.com/claws/BH1750>
- [49] TP4056 / TC4056A Lithium Battery Charger and Protection Module. *Addicore* [online]. [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.addicore.com/TP4056-Charger-and-Protection-Module-p/ad310.htm>
- [50] WiFiManager. *Github* [online]. [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://github.com/tzapu/WiFiManager>
- [51] Typical Lithium ion technical data. *Ibt power* [online]. [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: http://www.farnell.com/datasheets/1669439.pdf?_ga=2.35283809.1109244520.1573574441-208263456.1554903986
- [52] Protokol HTTP. *Zdrojak.cz* [online]. [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.zdrojak.cz/clanky/protokol-http/>
- [53] Node.js - Event Loop. *Nodedotjstutorial.blogspot.com* [online]. [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <http://nodedotjstutorial.blogspot.com/2015/05/nodejs-event-loop.html>

12 ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK

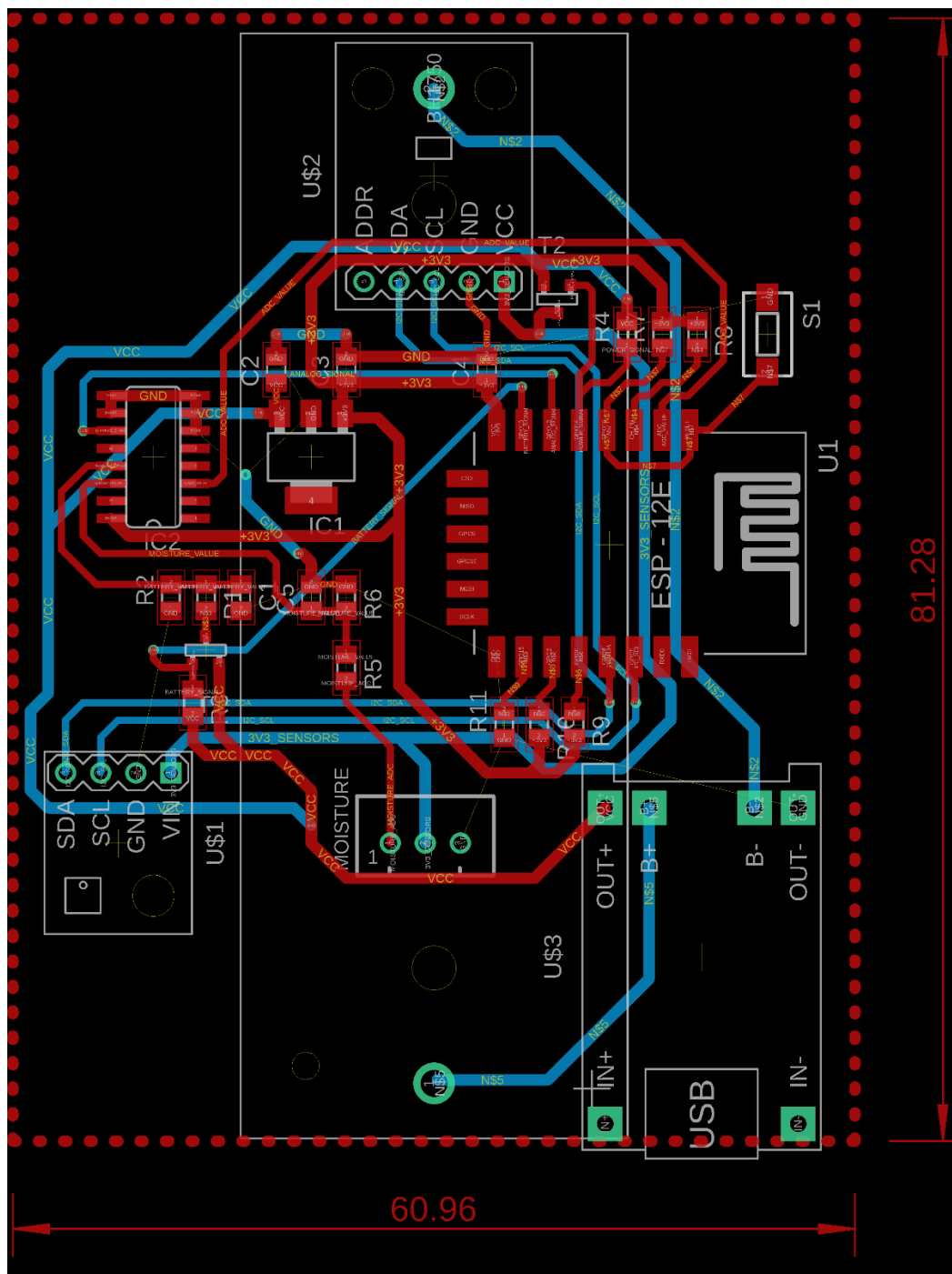
- Obr. 1: Parrow Flower Power
- Obr. 2: Xiaomi Mi Plant
- Obr. 3: FYTA Beam
- Obr. 4: Plant Link
- Obr. 5: Crowtail Moisture sensor
- Obr. 6: Soil moisture sensor detection
- Obr. 7: Hygrometer detection soil moisture
- Obr. 8: Capacitive soil moisture sensor v1.2
- Obr. 9: KY-018
- Obr. 10: Bloková schéma fungovania BH1750
- Obr. 11: BH1750
- Obr. 12: BME-280
- Obr. 13: I2C topológia
- Obr. 14: I²C zapojenie
- Obr. 15: Priebeh signálu I²C
- Obr. 16: Princíp A/D prevodníka
- Obr. 17: EY-08
- Obr. 18: ESP-12F
- Obr. 19: TR-72D
- Obr. 20: Čip ESP8266
- Obr. 21: ESP-12F pinout
- Obr. 22: NodeMCU
- Obr. 23: Wemos D1 mini
- Obr. 24: Schéma pripojenia BME280
- Obr. 25: Ukážka kódu pre prácu so senzorom BME280
- Obr. 26: Schéma pripojenia BH1750
- Obr. 27: Ukážka kódu pre prácu s BH1750
- Obr. 28: Schéma pripojenia senzora pre vlhkosť pôdy
- Obr. 29: Nabíjací modul TP4056 s ochranou
- Obr. 30: Schéma napájania
- Obr. 31: Schéma zapojenia pri nahrávaní aplikácie
- Obr. 32: Ukážka kódu pre prácu s Wi-Fi manažérom
- Obr. 33: Schéma zapojenia reset tlačidla
- Obr. 34: Teoretický priebeh napätia na batérii
- Obr. 35: Schéma pripojenia na A/D prevodník metódou MOSFET tranzistorov
- Obr. 36: Schéma pripojenia na A/D prevodník metódou multiplexer
- Obr. 37: Priebeh napätia na batérii
- Obr. 38: Ukážka dát zo senzora

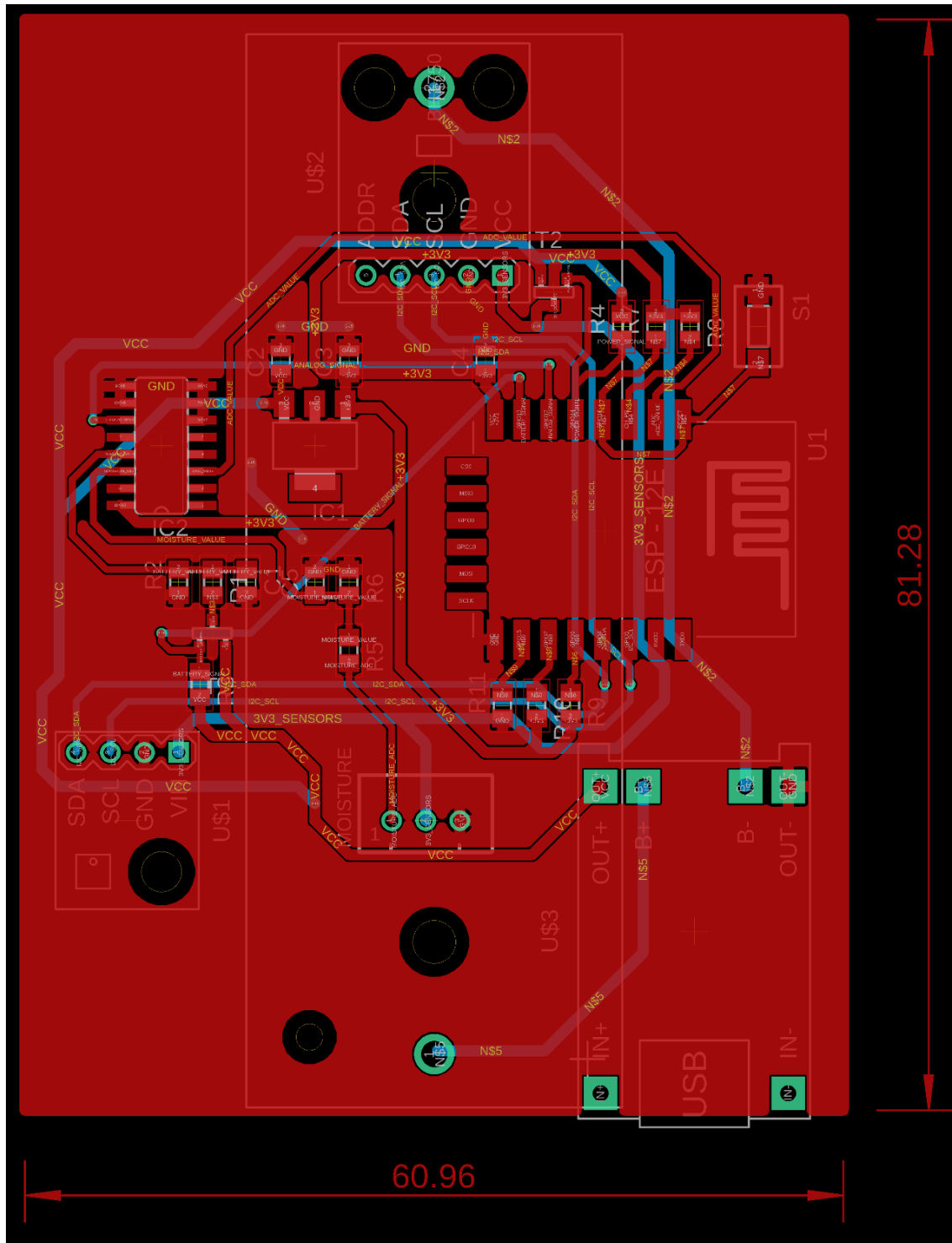
Obr. 39: Princíp fungovania monitorovania vlhkosti v kvetináči
Obr. 40: Predpokladaný priebeh napätia na batérii
Obr. 41: Event loop v Node.js
Obr. 42: Prihlasovacia obrazovka
Obr. 43: Google OAuth
Obr. 44: Domovská obrazovka
Obr. 45: Detail rastliny
Obr. 46: Graf nameraných dát
Obr. 47: Informácie o rastline
Obr. 48: Proces pridania nového senzora

Tabuľka 1: Porovnanie dostupných senzorov do kvetináča
Tabuľka 2: Crowtail Moisture sensor
Tabuľka 3: Soil moisture sensor
Tabuľka 4: Hygrometer detection soil moisture
Tabuľka 5: Capacitive soil moisture sensor v1.2
Tabuľka 6: Prevádzkové režimy EY-08
Tabuľka 7: Režimy ESP-12F
Tabuľka 8: Spotreba jednotlivých častí senzora

13 PRÍLOHY

13.1 NÁVRH DOSKY PLOŠNÝCH SPOJOV SENZORA





13.2 SCHÉMA ZAPOJENIA SENZORA

