



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta elektrotechnická**

**Katedra elektrických pohonů a trakce**

**Chytrá lavička**

**Smart Bench**

Bakalářská práce

Studijní program: Energetika, elektrotechnika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí práce: Ing. Vít Hlinovský, CSc.

**Kryštof Hájek**

**Praha, 2018**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hájek Jméno: Kryštof Osobní číslo: 457204  
Fakulta/ústav: Fakulta elektrotechnická  
Zadávací katedra/ústav: Katedra elektrických pohonů a trakce  
Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Chytrá lavička

Název bakalářské práce anglicky:

Smart Bench

Pokyny pro vypracování:

- 1) Navrhněte řešení chytré lavičky s meteorologickou stanicí, USB zásuvkami, vlastní Wi-Fi sítí a obsluhou závlahy kaskádových stěn.
- 2) Navrhněte reálný způsob zapojení veškerých komponentů potřebných pro splnění zadaných parametrů chytré lavičky.
- 3) Na základě návrhů sestavte prototyp zařízení chytré lavičky s řídicími i mechanickými částmi.
- 4) Navrhněte veškeré potřebné krytí pro instalaci prototypu do konstrukce s odzkoušením.

Seznam doporučené literatury:

- [1] HEROUT, Pavel. Učebnice jazyka C. Praha, 2014
- [2] Aplicační listy RapsberryPi, Arduino dostupné online
- [3] Häberle, H. a kol. Průmyslové elektronika a informační technologie, EUROPA - SOBOTÁLES, Praha, 2003

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Vít Hlinovský, CSc., katedra elektrických pohonů a trakce FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: 26.04.2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 25.05.2018

Platnost zadání bakalářské práce: 30.09.2019

Ing. Vít Hlinovský, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



Hájek Kryštof. Chytrá lavička. Praha: Vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra pohonů a trakce, 2017/18. 42 s., 0 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Vít Hlinovský, CSc.

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Chytrá lavička 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, 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.

V Praze dne .....

.....

(podpis autora)

# PODĚKOVÁNÍ

Děkuji za pomoc a vedení mé bakalářské práce ing. Vítu Hlinovskému, za jeho čas, připomínky a spolupráci. Dále pak majiteli firmy Němec s.r.o. panu Josefu Němcovi za poskytnutou příležitost se na projektu chytré lavičky podílet. Nakonec pak kolegům, kteří se mnou spolupracovali na vývoji a stavbě samotné chytré lavičky.

# ABSTRAKT

Bakalářská práce chytrá lavička se zabývá jednotlivými kroky vývoje a výroby k vytvoření závěrečného úspěšného produktu chytré lavičky. Projekt chytrá lavička se vytvořil na základě programu Smart Prague. Práce se tak zabývá i splněním parametrů, které jsou od chytrých laviček požadovány. Konečným produktem práce je tak funkční celek, který s konstrukcí a designem vytváří zařízení, které může každému městu dodat chytré a designové řešení veřejného sezení.

# KLÍČOVÁ SLOVA

Smart Bench, chytrá lavička, Smart Prague, alternativní zdroje, Wi-Fi free, meteorologická stanice.



# **ABSTRACT**

The bachelor thesis of a smart bench deals with the individual steps of development and production to create the final successful product the smart bench. The smart bench project was based on the programme of Smart Prague. This work also deals with the fulfillment of parameters that are required from smart benches. The end product of the work is a functional unit that, with its construction and design, creates a device that can provide every city with a clever and attractive solution for public sitting.

# **KEY WORDS**

Smart Bench, smart bench, Smart Prague, alternative sources, Wi-Fi free, weather station.

# OBSAH

<b>Seznam obrázků</b>	<b>xii</b>
<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Požadované technické parametry</b>	<b>2</b>
1.1 Energetická nezávislost.....	2
1.2 Sběr meteorologických dat .....	3
1.3 Datové připojení/Poskytování WI-FI.....	3
1.4 Zajištění zavlažování zelených rostlin .....	3
1.5 Řízení závlahy.....	4
<b>2 Návrh Celku</b>	<b>5</b>
2.1 Silové komponenty .....	5
2.2 Slaboproudá technika.....	6
2.3 Řízení.....	6
2.4 Meteorologické senzory.....	7
2.5 Sběr dat a jejich uchování.....	7
<b>3 Technické zpracování</b>	<b>8</b>
3.1 Zajištění energie.....	9
3.2 Prvky zajišťující přísun vody rostlinám.....	11
3.3 Řízení a sběr dat lavičky .....	13
3.3.1 Řízení závlahy .....	14
3.3.2 Sběr meteorologických dat .....	15
3.4 USB zásuvky a jejich měření.....	16
3.5 Síťové spojení .....	17
3.6 Ochranné krytí proti vodě.....	18
<b>4 Použité součástky</b>	<b>20</b>
4.1 Energie.....	20
4.1.1 Autonomní solární systém .....	20
4.1.2 Fotovoltaický modul Waaree.....	21
4.1.3 Akumulátor Westinghouse .....	21
4.1.4 Solární regulátor Epsolar .....	22
4.2 Závlaha.....	23
4.2.1 Čerpadlo CP3200.....	23
4.2.2 Elektromagnetický třícestný ventil Pevecoil .....	23

4.3	Řídící a komunikační jednotky.....	24
4.3.1	Raspberry Pi 3 model B .....	24
4.3.2	Mikrotik .....	25
4.4	Senzory.....	25
4.4.1	Komunikace – I <sup>2</sup> C sběrnice.....	25
4.4.2	BME 280 – senzor teploty, vlhkosti a tlaku .....	26
4.4.3	CCS811 – senzor částic CO <sub>2</sub> v ovzduší .....	27
4.4.4	ADS1115 – AD převodník.....	27
4.4.5	INA219 – senzor proudu.....	28
4.4.6	HC-SR04 – ultrazvukový senzor vzdálenosti .....	29
<b>5</b>	<b>Problémy a jejich řešení</b>	<b>30</b>
5.1	Energie .....	30
5.2	Zásuvky .....	30
5.3	Signál + data.....	31
5.4	Vlivy prostředí.....	31
5.5	Vandalismus a sabotáž .....	32
<b>6</b>	<b>Zobrazení dat</b>	<b>34</b>
6.1	Zabbixový server.....	34
6.2	Webová aplikace .....	37
	<b>Závěr</b>	<b>40</b>
	<b>Literatura</b>	<b>41</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Chytrá lavička na Puškinově náměstí.....	2
Obrázek 2.1 Blokové schéma návrhu chytré lavičky.....	5
Obrázek 3.1 Blokové schéma reálného zapojení komponentů chytré lavičky.....	8
Obrázek 3.2 Střecha chytré lavičky na Puškinově náměstí se solárními moduly.....	9
Obrázek 3.3 Akumulátorové baterie instalované do chytrých laviček s pojistkou proti zkratu..	10
Obrázek 3.4 Solární regulátor chytré lavičky ČZU .....	10
Obrázek 3.5 Čerpadlo a třicestný ventil s konektorem superseal, instalované v lavičce ČZU ...	11
Obrázek 3.6 PWM regulátor se spínacími relé čerpadla a třicestného ventilu .....	12
Obrázek 3.7 Ultrazvukový senzor HC-SR04 v ochranné krabici.....	13
Obrázek 3.8 Instalovaná řídicí část lavičky s popisem propojení a základních prvků.....	14
Obrázek 3.9 DPS se senzorem BME 280, CCS811 a mikrofonom .....	16
Obrázek 3.10 Router Mikrotik v ochranné krabici .....	17
Obrázek 3.11 Provedení krytí řídicích částí chytré lavičky .....	18
Obrázek 3.12 Krytí meteorologických senzorů .....	19
Obrázek 4.1 Schéma použitého autonomního systému na chytrých lavičkách.....	20
Obrázek 4.2 Akumulátorová baterie 12V/65Ah firmy Westinghouse .....	22
Obrázek 4.3 Solární regulátor LS2024 .....	22
Obrázek 4.4 Čerpadlo CP3200 .....	23
Obrázek 4.5 Elektromagnetický ventil pevekoil.....	24
Obrázek 4.6 Schéma zapojení sběrnice I <sup>2</sup> C[1].....	26
Obrázek 4.7 Senzor BME280 .....	26
Obrázek 4.8 Senzor CCS811 .....	27
Obrázek 4.9 A/D převodník ADS1115 .....	28
Obrázek 4.10 Senzor proudu INA219.....	28
Obrázek 4.11 Ultrazvukový senzor HC-SR04.....	29
Obrázek 5.1 Rozbitý konektor zásuvky chytré lavičky na Puškinově náměstí.....	32
Obrázek 5.2 Sabotáž dešťového senzoru chytré lavičky na Puškinově náměstí.....	33
Obrázek 6.1 Graf napětí na výstupu regulátoru chytré lavičky ČZU v intervalu 1 měsíce .....	34
Obrázek 6.2 Graf napětí na výstupu regulátoru chytré lavičky ČZU v intervalu 2 dny .....	35
Obrázek 6.3 Graf dešťových srážek z chytré lavičky ČZU ze dne 16.4.2018.....	35

Obrázek 6.4 Graf napětí na výstupu regulátoru ze dvou měření chytré lavičky ČZU v intervalu 2 dny.....	36
Obrázek 6.5 Graf průběhu teploty u chytré lavičky ČZU v průběhu 1 měsíce .....	37
Obrázek 6.6 Úvodní stránka webové aplikace chytrých laviček.....	37
Obrázek 6.7 Detail chytré lavičky ČZU ve webové aplikaci .....	38
Obrázek 6.8 Zobrazení teploty chytré lavičky ČZU po dobu 1 měsíce.....	38



# ÚVOD

Tato bakalářská práce na téma Chytrá lavička („Smart Bench“) se zabývá celým projektem vývoje, výroby a optimalizace jednotlivých komponentů a výrobního procesu. Tento projekt vznikl na základě programu Smart Prague, vyhlášeného Magistrátem hlavního města Praha. Projekt byl vytvářen ve firmě Němec s.r.o., která se chtěla zapojit svým výjimečným designem, který by do hlavního města s chytrým řešením laviček mohl přinést i více zelených míst s každou lavičkou.

Hlavním cílem bylo splnění největšího možného počtu požadavků vydaných Magistrátem hlavního města Prahy. Kromě základních požadavků jsme do projektu chtěli přispět unikátností lavičky, a proto byl vytvořen design pro osazení tzv. kaskádových zelených zahrad. Celá lavička by pak měla být co nejvíce nezávislá na veškerých energetických zdrojích. Kombinace všech požadavků a nápadů, pak dávají dohromady kompaktní a designově zajímavé řešení pro každé město, které chce mít přehled o využitelnosti alternativního zdroje energie, meteorologických podmínkách v místě lavičky, město, které chce svým obyvatelům poskytnout internetové připojení zdarma s možností nabití mobilních zařízení a navíc dotvořit obrázek svého prostředí zeleným prvkem.

Následující kapitoly práce jsou chronologicky rozděleny dle skutečného vývoje a výroby prototypu a koncového produktu lavičky. V počátku jsou uvedené veškeré požadavky zadané magistrátem, případně firmou Němec s.r.o. a požadované parametry lavičky. Dále je popsán návrh lavičky jako celku z pohledu zapojení a naprogramování. Následuje technické zpracování lavičky, popis výroby, její unifikace a popis použitých komponentů. Předposlední kapitola je věnována potížím a problémům, které se během celého projektu vyskytly a musely být vyřešeny. Poslední kapitola je zaměřená na samotné zobrazení a poskytování dat z chytré lavičky.

# 1 POŽADOVANÉ TECHNICKÉ PARAMETRY

Projekt chytré lavičky byl vytvořen na základě vyhlášení programu Smart Prague. Samotné zadání požadavků na chytré lavičky tedy bylo vyhotoveno Magistrátem hlavního města Prahy. Od těchto požadavků se dále odvíjel celý návrh a vyhotovení lavičky. Dalším zdrojem instrukcí a nároků na projekt byl majitel firmy Němec s.r.o.. Základní požadavky byly na energetickou nezávislost (využití obnovitelných zdrojů – solárních modulů), poskytování volného datového připojení pomocí sítě Wi-Fi, dále možnost nabití mobilních zařízení (mobilních telefonů, tabletů, atd.) a nakonec monitorování meteorologických údajů. Všechny tyto parametry byly spolu s hotovou kóstrou lavičky základními údaji pro vytvoření prvního návrhu. Následující požadavky jsou sepsány jako sumarizace od Magistrátu hl. města Prahy a firmy Němec s.r.o. Pro lepší představu o konstrukci a designu lavičky je zde uveden obrázek Obrázek 1.1.



Obrázek 1.1 Chytrá lavička na Puškinově náměstí [18]

## 1.1 Energetická nezávislost

Chytrá lavička má být nezávislá na okolních energetických zdrojích, nejlépe má energii získávat ze sluneční energie za pomoci solárních modulů. Pro uchování přebytečné energie má být zabudována akumulátorová baterie. Baterie dále musí zajistit funkčnost lavičky přes noc a ve dnech, kdy není dostatek sluneční energie na provoz chytré lavičky. Kromě potřebné energie pro zajištění chodu všech vnitřních součástí musí lavička umožnit připojení pro nabíjení mobilních telefonů.



## 1.2 Sběr meteorologických dat

Sběr meteorologických údajů je požadavkem pro lepší monitorování meteorologických podmínek v daném místě. Volba komponentů respektive senzorů, kterými budou údaje sledované, nejsou blíže specifikovány. Je tedy na volbě výrobce respektive vývojářů jaké senzory si pro dané měření zvolí. Tyto údaje je zapotřebí sledovat a periodicky odesílat v daném minimálním časovém intervalu. Dále je nutno hodnoty ukládat a poskytovat je veřejnosti v reálném čase prostřednictvím webových stránek, popřípadě skrze aplikaci pro chytrá zařízení. Požadovanými měřenými veličinami jsou:

- Teplota
- Tlak vzduchu
- Vlhkost vzduchu
- Rychlost větru
- Srážky
- Hladina hluku
- Počet částic CO<sub>2</sub> v ovzduší

## 1.3 Datové připojení/Poskytování WI-FI

Datové připojení je jeden z nejdůležitějších požadavků spolu s energetickou částí. Je to z důvodu přenosu dat z a do lavičky a poskytování Wi-Fi sítě zdarma. Data z lavičky mají být odesílána na externí server, kde budou ukládána pro možnost dlouhodobého monitorování lavičky, zjišťování havarijních stavů a poskytování údajů široké veřejnosti pomocí internetu. Dále pak možnost poskytování Wi-Fi sítě v okolí lavičky pro veřejnost. Připojení má být zdarma pouze s přihlášením přes emailovou adresu popř. použitím účtu ze sociálních sítí přes aplikaci Socifi. Jak už bylo řečeno, data nemají být z lavičky pouze odesílána, ale i přijímána. Tímto je myšlena možnost dálkového ovládání funkcí lavičky, přeprogramování základního řídicího kódu a možnost lavičku vypnout.

## 1.4 Zajištění zavlažování zelených rostlin

Vzhledem k designu lavičky, který je navržen pro osazení dvěma kaskádovými zahradami od firmy Němec s.r.o. o výšce dva metry a šířce čtyři metry, je zapotřebí zajistit i zcela automatickou závlahu rostlin. Voda potřebná pro toto zalévání je uschována v nádrži, do které se sbírá veškerá dešťová voda sesbíraná ze střechy lavičky, s možností tuto nádrž manuálně doplnit z cisterny. Při aktivní závlaze by čerpadlo ani ventil neměly rušit případné klienty lavičky, kteří by mohli být nadměrným hlukem obtěžováni. Zavlažování by mělo být prováděno automaticky, popřípadě manuálně servisním technikem, který by na lavičce prováděl údržbu kaskádových zahrad.

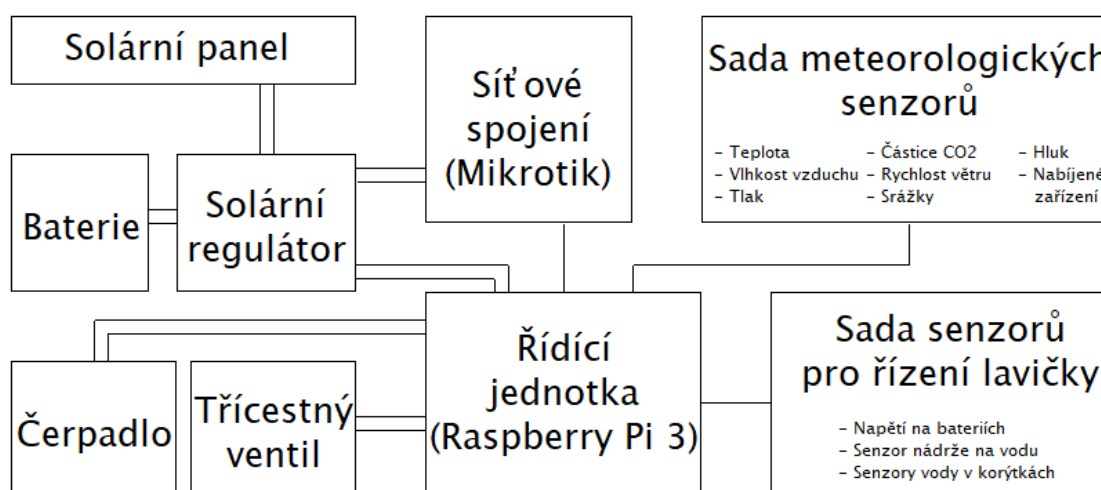
## 1.5 Řízení závlahy

Celý automatický systém řízení zahrady by se měl provádět na základě senzorů přítomnosti vody v korýtkách („miska pod květináčem“). Po vyprázdnění korýtka se v době s největší pravděpodobností maximálního výkonu solárních modulů (12:00 hod.) spustí zavlažovací cyklus. Tento cyklus se ukončí po zaplavení příslušných senzorů. V případě prodloužení závlahy nad definovaný maximální čas se automatiky cyklus ukončí a nahlásí se chybová hláška. Kromě automatického řízení budou přítomny ovládací přepínače pro možnost manuálního spuštění čerpadla s volbou přepnutí třicestného ventilu. Nakonec se přepínači bude nastavovat zimní režim, při kterém závlaha nebude prováděna.

## 2 NÁVRH CELKU

Celé zpracování daného systému bylo vytvořeno v týmu pěti vývojářů. Zpracování celé lavičky bylo rozděleno na tři základní části. Byla to hardwarová část (sestavení autonomního solárního systému, řídicího hardware s příslušnými deskami plošných spojů, meteorologických senzorů a hardwaru pro zajištění závlahy vertikálních zahrad), softwarová část (řízení závlahy, sběr meteorologických údajů, odesílání dat) a vývoj webové aplikace (prostředek pro sdělování meteorologických údajů z dané lavičky). Návrh hardwaru a softwaru probíhal současně ve spolupráci tří vývojářů pracujících na projektu. Každý senzor byl na základě této spolupráce podroben průzkumu, konzultacím a zkouškám před závěrečným schválením a použitím.

Na obrázku Obrázek 2.1, je návrh zjednodušeného blokového schématu potřebných komponentů chytré lavičky a propojení mezi nimi. Potřebné ovládací prvky a komunikační sběrnice pro jednotlivé části jsou popisovány v následujících kapitolách 3 a 4. Komunikační sběrnice se zvolí na základě dostupnosti jednotlivých možných senzorů a jiných komponentů.



Obrázek 2.1 Blokové schéma návrhu chytré lavičky

### 2.1 Silové komponenty

Celé zařízení je navrženo na napájení stejnosměrným napětím 24V. Tato napěťová hladina byla zvolena vzhledem k jmenovitým hodnotám čerpadla a třícestného ventilu. Energetická nezávislost je zajištěna autonomním solárním systémem, provedeným dle požadavků, použitím sady solárních modulů, které budou v sérioparalelním zapojení pro dosažení napěťové hladiny 24V. K řízení energie ze solárních modulů je zařazen tzv. solární regulátor. Tento regulátor zajistí rozdělení toku energie mezi akumulátorovými bateriemi a zátěží. V případě dostatku energie pro celou zátěž bude přebytečná energie dodávána na nabíjení baterií. V případě nedostatku energie ze solárních modulů bude zbytek potřebné energie pro zátěž poskytnut z baterií. Baterie jsou zde dvě sériově řazené pro dosažení napětí 24V.

Pro zajištění přísunu vody ke květinám je přítomné čerpadlo s elektromagnetickým třicestným ventilem. Tyto komponenty v případě potřeby doplní vodu do korýtek květináčů. Pro regulaci rychlosti průtoku vody se před čerpadlo zařadí regulátor otáček. Řízení, tedy spínání, jednotlivých komponentů závlahy bude provedeno přes adekvátní spínací prvky.

## 2.2 Slaboproudá technika

Celé řízení a fungování chytré lavičky budou zajišťovat dva základní komponenty. Pro online spojení s okolním světem bude použit router firmy Mikrotik (dále „Mikrotik“) a pro řízení a sběr dat bude využita platforma firmy Raspberry Pi.

Mikrotik přijímá a odesílá data prostřednictvím mobilní internetové sítě. Z tohoto důvodu je do routeru připojen příslušný modem se slotem pro mobilní SIM kartu, což je za daných okolností a situací na českém trhu s mobilními operátory potíž. Na konci dlouhého vyjednávání se naskýtá řešení. Problémem je potřeba balíčku o velkém objemu dat, vzhledem k veřejné distribuci Wi-Fi free sítě. Samotný router pak zajišťuje distribuci Wi-Fi sítě. Mikrotik tak obhospodařuje všechna potřebná datová propojení a s řídicí jednotkou Raspberry Pi je propojen skrze svůj ethernetový port.

Pro řízení obsluhy lavičky a sběr meteorologických údajů je navrženo pracovat s platformou Raspberry Pi 3 model b (dále „Raspberry Pi“). K této platformě jsou posléze skrze GPIO piny připojeny všechny senzory a řídicí prvky lavičky. Data posbíraná Raspberry Pi jsou posílána skrze ethernetový port k Mikrotiku. Pro potřebu zvukové karty na senzor hluku se použije USB port, do kterého bude připojen USB dongle se zvukovou kartou.

## 2.3 Řízení

Systém řízení obsluhy celé chytré lavičky je založen na potřebě zalévání květin. Základem každé lavičky jsou dvě vertikální kaskádové zahrady vysoké dva metry. Ze dvou stran je tato stěna osazena živými květinami za pomoci systému kaskádové zahrady firmy Němec s.r.o. Pro zajištění přežití rostlin na stěně je zabudována v konstrukci nádrží na vodu.

Pro systém řízení závlahy je na každé stěně přítomen pár senzorů přítomnosti vody (v prostřední a v dolní části stěny). Po zjištění nezaplaveného senzoru dojde k aktivaci závlahového cyklu řízeného Raspberry Pi v čase, kdy je vysoká pravděpodobnost výskytu slunečního záření (12:00 hod.). Raspberry Pi pak sepnou silová relé, která připnou čerpadlo případně třicestný ventil na napětí. Závlaha se provádí do nahlášení všech zaplavených sond na dané kaskádové zahradě. V situaci vyschlých sond na každé straně dojde k závlaze druhé části.

V lavičce bude nainstalován i senzor měřící napětí na bateriích. Na základě tohoto údaje bude Raspberry Pi poskytovat údaje potřebné pro případnou výměnu baterie z důvodu přílišného vybití, nebo vady. Tato informace bude předávána technikům za pomoci automaticky generovaného emailu serverem, na kterém budou ukládána veškerá data z chytré lavičky.

Poslední senzor pro řízení chytré lavičky bude čidlo pro měření hladiny vody v nádrži lavičky. Opět bude po zjištění příliš nízké hladiny vody vygenerován automatický email pro informování techniků.

## 2.4 Meteorologické senzory

Senzory pro zjišťování okolních podmínek jsou v dnešní době často kombinované do jednoho malého obvodu. Proto pro běžné údaje není problém najít kvalitní, kombinovaný a relativně levný senzor. Tato skutečnost se týká například senzorů teploty, vlhkosti a tlaku.

Dále jsou senzory, které vyžadují více prostoru, jako jsou senzory srážek a větru. Pro tyto účely je zapotřebí nainstalovat anemometr a senzor srážek s dostatečnou sběrací plochu pro získání relevantních údajů. Oba tyto senzory však přináší zvýšené riziko vandalizmu. Obzvláště u anemometru, který je díky svému rotačnímu pohybu pro vandaly velice atraktivním cílem. Při návrhu se však nedokázalo najít jiné řešení s ohledem na cenu.

Nakonec senzory, které jsou náročnější na výrobu a jsou proto dražší. Pro měření hluku postačí mikrofón, ale je k němu zapotřebí přidat příslušný převodník, tedy nějakou zvukovou kartu. Nejnáročnější je však měření hladiny  $\text{CO}_2$  v ovzduší, což zapříčiňuje buď náročnou kalibraci senzoru s nízkou přesností a rozsahem, nebo vysokou cenu senzoru. Proto je zapotřebí si dobře rozmyslet, který způsob je v dané situaci výhodnější.

## 2.5 Sběr dat a jejich uchování

Pro ukládání veškerých dat a údajů z chytré lavičky bude pronajat server s dostatečnou kapacitou na úchovu dat. V případě této lavičky se využije server Zabbix, u kterého je ve spolupráci s routerem Mikrotik ověřena spolehlivost a funkčnost.

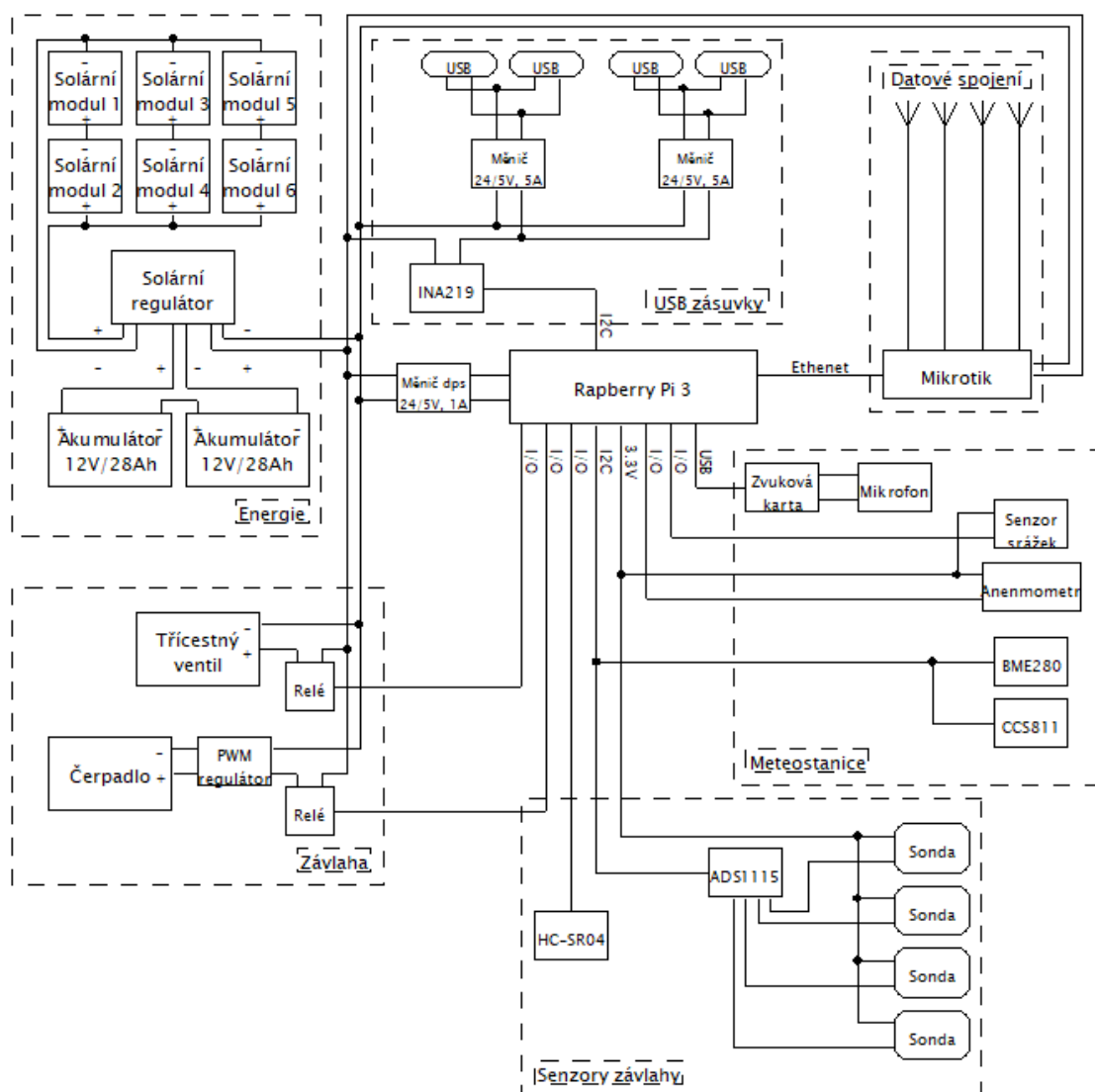
Na serveru se budou řešit dvě hlavní úlohy. První bude uchování a základní zobrazení dat. Tato data z veškerých senzorů spolu s údaji o přenesených datech po síti a přes Wi-Fi budou dále poskytována pro webovou aplikaci. K této aplikaci bude mít přístup jakýkoli člověk, toužící po údajích o dané chytré lavičce.

Druhou podstatnou částí, kterou bude server obhospodařovat, budou varovná hlášení na základě sledování důležitých naměřených veličin. Na základě přednastavených triggerů bude server generovat automatické hlášení zasílané technikům na emailové adresy.

### 3 TECHNICKÉ ZPRACOVÁNÍ

Celkové technické zpracování chytré lavičky probíhalo v začátcích dohromady s vývojem. Vykreslil se základní model lavičky, do kterého se dosadily komponenty. Ovšem pokud se během další práce našel prvek, který zjednodušil zpracování lavičky a hlavně snížil náročnost jejího sestavení a navíc snížil i finanční náročnost dílu, tak byl tento prvek okamžitě nahrazen. Z tohoto důvodu nebyl v začátku žádný stabilní model ani zpracování. Teprve první lavička, jako ucelený soubor součástek, byla vytvořena s první zkušební instalací. Při této instalaci se zjistily nevhodné či nepraktické komponenty.

Pro ilustraci zapojení součástek je na obrázku Obrázek 3.1 blokové schéma reálného uspořádání komponentů.



Obrázek 3.1 Blokové schéma reálného zapojení komponentů chytré lavičky

Co se týče ochrany před okolními vlivy (voda, prach), jsou všechna potřebná zařízení kryta v instalačních průmyslových krabicích s krytím IP65 a veškeré kabely jsou vyvedeny skrze voděodolné průchodky. Komponenty pro měření meteorologických údajů nemohou být uzavřeny, a proto je u nich provedena ochrana za pomoci kaskádových stříšek.

### 3.1 Zajištění energie

Zajištění energie každé chytré lavičky zabezpečuje autonomní solární systém. Ten se skládá ze serio-paralelního zapojení solárních modulů. Při první instalaci to byly pouze čtyři moduly, ale z důvodu zajištění dostatku energie a menší nutnosti zásahu servisního technika byly nakonec přidány další dva solární moduly. Moduly jsou od výrobce WAAREE a jsou blíže popsány v kapitole 4.1.2. Každý modul při plné intenzitě záření poskytuje výkon 50W o napětí 17V a proudu 2,91A. Těchto hodnot je ovšem dosaženo pouze při plném výkonu. Vzhledem k základní napěťové hladině celé stěny 24V je zapotřebí vždy zapojit dva moduly sériově. Při potřebě zvýšení výkonu se tedy přidávají vždy dva moduly. Ty už jsou k současným připojeny paralelně a navyšují tak celkový výkon. Naše lavička má tedy instalovaný maximální výkon 150W. Solární moduly osazené na chytré lavičce jsou zobrazeny na obrázku Obrázek 3.2.



Obrázek 3.2 Střecha chytré lavičky na Puškinově náměstí se solárními moduly

Vzhledem k tomu, že instalovaný výkon panelu je mnohonásobně vyšší než výkon spotřebovávaný a přes noc solární panel téměř nedodává žádný proud, jsou v lavičce instalovány dvě sériově řazené olovené akumulátorové baterie se jmenovitým napětím 12V a kapacitou 65Ah. Baterie tedy poskytují energii přes noc a při sníženém výkonu solárních modulů pod hodnotu odebíraného výkonu. Naopak během nadbytečného výkonu se tato energie uschová v těchto bateriích. Baterie jsou vybrány s ohledem na pracovní teplotu, potřebnou kapacitu pro udržení aktivní lavičky po určitý časový interval bez přísunu energie a cenu. Bližší informace o použitých akumulátorových bateriích jsou v kapitole 4.1.3. Nainstalované baterie v chytré lavičce jsou na obrázku Obrázek 3.3.



Obrázek 3.3 Akumulátorové baterie instalované do chytrých laviček s pojistkou proti zkratu

K řízení toku energií je pak v lavičce instalován solární regulátor. Tento regulátor se stará o rozdělení energií. Sám přitom plní i ochrany před přebíjením baterií, nebo jejich hlubokým vybitím, které akumulátorům snižuje jejich kapacitu. Další funkcí je pak ochrana proti přepólování. Zapojení a instalace solárního regulátoru v ochranné průmyslové krabici je na obrázku Obrázek 3.4.



Obrázek 3.4 Solární regulátor chytré lavičky ČZU

Do energetického systému už je pak zapojena pouze pojistka těsně za bateriemi pro jejich ochranu před zkratem.



V tomto systému se jedna část neobejde bez druhé. V případě poruchy baterií, nebo solárního regulátoru by došlo k přerušení energie pro celou zátěž. V případě poruchy solárních modulů jsou již od výrobce instalovány tzv. by-pass diody, které v případě nefunkčnosti části popřípadě celého fotovoltaického modulu tento modul překlenou a nedojde tak k úplnému přerušení dodávky energie, ale pouze ke snížení. V případě zastínění části popřípadě celého modulu tyto by-pass diody opět překlenou tuto část, jako by nefungovala. Díky tomu ostatní moduly mohou pracovat na svém plném výkonu. Výkon panelu jako celku je bez diod totiž dán nejslabším respektive nejméně výkonným článkem solárního panelu, tedy modulu zapojeném v sérii.

### 3.2 Prvky zajišťující přísun vody rostlinám

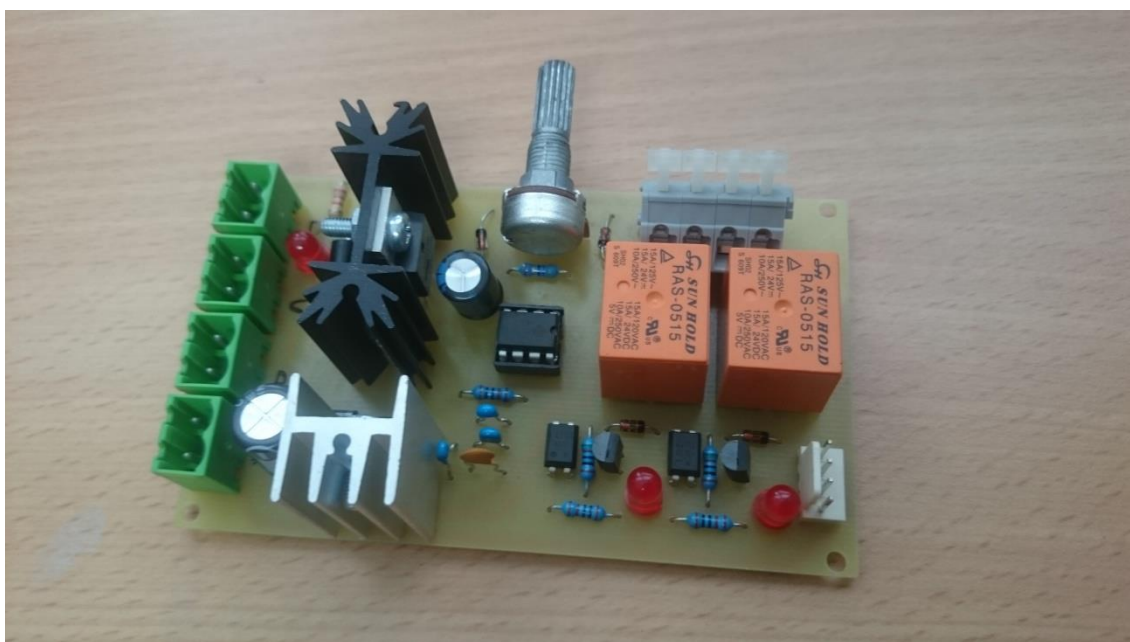
Pro potřebu zavlažování je v lavičce odstředivé čerpadlo a třicestný elektromagnetický ventil. Oba komponenty jsou konstruovány na jmenovité napětí 24V a jsou blíže specifikovány v kapitole 4.2. Na obrázku Obrázek 3.5 je zobrazen způsob instalace této sestavy čerpadla s třicestným ventilem v chytrých lavičkách. Pro jednoduchou montáž, nebo demontáž před zimou respektive po zimě je tato sestava připojena přes voděodolné konektory superseal.



Obrázek 3.5 Čerpadlo a třicestný ventil s konektorem superseal, instalované v lavičce ČZU

Třicestný ventil se spíná podle potřeby zalévání pravé nebo levé kaskádové zahrady osazené na chytré lavičce.

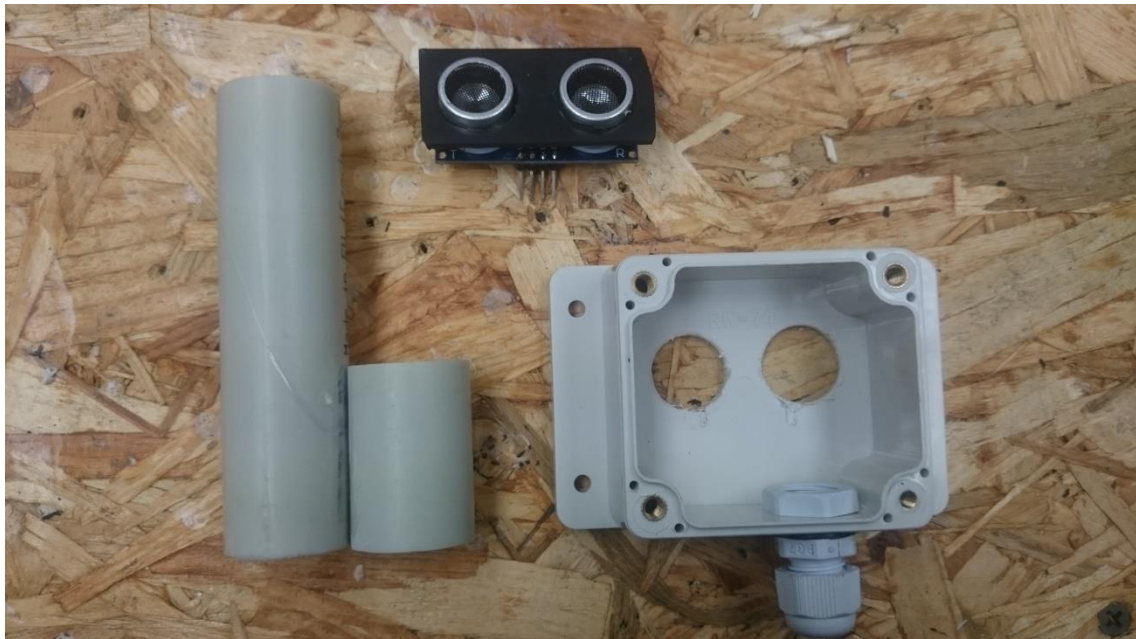
Pro snížení výkonu resp. odebíraného proudu čerpadlem, snížení rychlosti průtoku vody a snížení hluku čerpadla, je před čerpadlo instalován PWM regulátor otáček. Nejdříve byl použit regulátor vyvinutý firmou Arduino. Tímto regulátorem se výkon snižuje zhruba na čtvrtinu a průměrný odebíraný proud při sepnutí je tak průměrně 1A. Nyní se používá regulátor založený na časovacím čipu NE555 vyvinutý firmou Texas Instruments. Tento čip spíná výkonový tranzistor, na který je čerpadlo připojeno. V závislosti na délce sepnutí pak stejnosměrný motor čerpadla zrychluje respektive zpomaluje. Celý obvod je pak na jedné kompaktní desce plošného spoje (Obrázek 3.6) se spínacími prvky pro čerpadlo i třicestný ventil, navržený přímo do chytré lavičky.



Obrázek 3.6 PWM regulátor se spínacími relé čerpadla a třicestného ventilu

Vzhledem k tomu, že Raspberry Pi nedokáže spínat větší proud než 0,05A na napětí 3,3V, bylo zapotřebí dodat spínací obvod pro zapínání ventilu a čerpadla. Toto vyřešil nejdříve sériově vyráběný modul s 2 relé od firmy Arduino. Posléze byla vykreslena deska s příslušnými konektory přímo pro naši lavičku se dvěma silovými relé a obvodem PWM regulátoru, jak už bylo popisováno v předešlém odstavci.

Kontrolu hladiny v nádrži s vodou zajišťuje ultrazvukový měřič vzdálenosti HC-SR04. Senzor je nainstalovaný do voděodolné krabičky pro jeho ochranu před deštěm (Obrázek 3.7). Při zjištění minimální hladiny tímto senzorem se závlaha neprovádí a je hlášena minimální hodnota nádrže. Tato hláška je automaticky generována serverem Zabbix. V serveru je nastaven již dřívější trigger, který upozornuje na blížící se vyčerpání vodní nádrže.



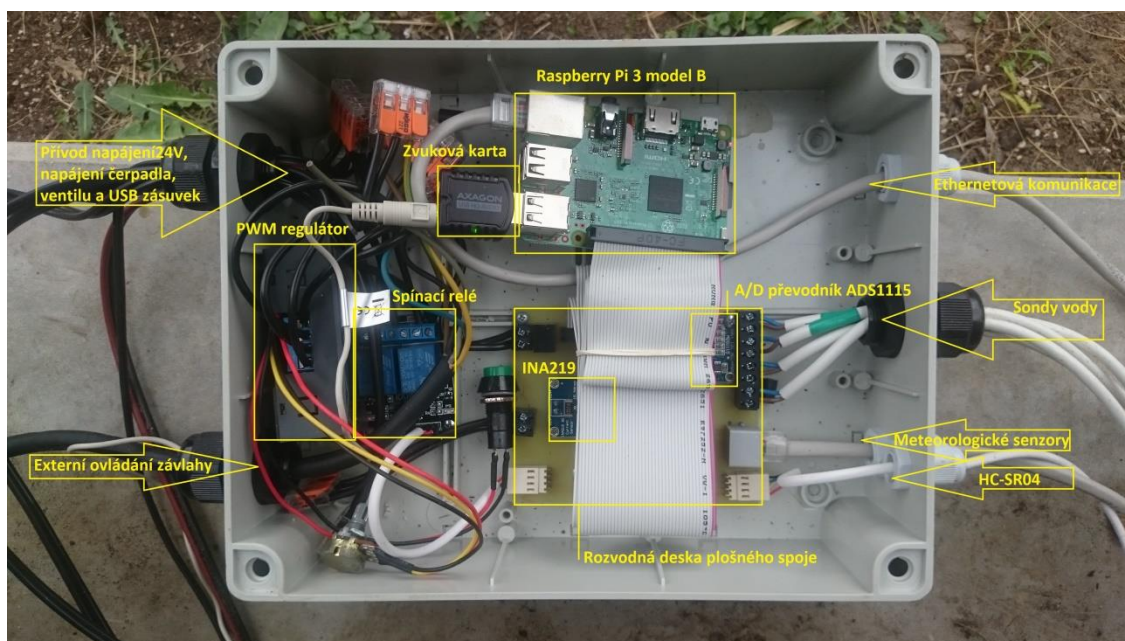
Obrázek 3.7 Ultrazvukový senzor HC-SR04 v ochranné krabici

Vyhodnocování přítomnosti vody v korýtkách stěn zajišťují čtyři sondy od společnosti MAVÉ s.r.o. Každá kaskádová zahrada má nainstalovány právě dvě tyto sondy v prostředním a předposledním truhlíku. Vyhodnocování přítomnosti vody skrze tyto sondy probíhá přes A/D převodník připojený k Raspberry Pi. Nyní se uvažuje o novém jednodušším systému založeným na spínání bipolárních tranzistorů těmito sondami.

Pro případnou obsluhu čerpadla při servisu jsou na lavičce instalovány dva klíčové spínače (třípolohový a dvupolohový). Těmito spínači se dá přímo odpojit celý automatický systém spínání závlahy od napájení v případě zimního provozu chytré lavičky, nebo naopak sepnout čerpadlo a dle potřeby i třicestný ventil z důvodu provádění servisu a nutnosti okamžitého doplnění vody do truhlíků.

### 3.3 Řízení a sběr dat lavičky

Řízení lavičky a sběr dat z veškerých senzorů zajišťuje vývojová platforma Raspberry Pi konkrétně pak Raspberry Pi 3 model B (dále pouze Raspberry Pi). K této platformě je připojená celá paleta senzorů a periférií. Celá základní řídicí jednotka s Raspberry Pi, rozvodnou deskou plošného spoje, spínacími prvky pro zavlažovací komponenty a PWM regulátorem uložená do voděodolné instalační krabice je na obrázku Obrázek 3.8.



Obrázek 3.8 Instalovaná řídicí část lavičky s popisem propojení a základních prvků

### 3.3.1 Řízení závlahy

První co musí Raspberry Pi obsluhovat je závlaha a kontrola dostatku vody pro květiny osazené na chytré lavičce. Pro kontrolu zavlažení rostlin jsou zhruba v prostřední a předposlední řadě (od shora) umístěny sondy přítomnosti vody. Tyto sondy jsou tedy na lavičce čtyři. Čtení údajů ze sond v současnosti provádíme zjištěním napětí na sondě vůči zemi a to 16bitovým AD převodníkem ADS1115 od firmy Adafruit (dále popsany v kapitole 4.4.4). Tento převodník komunikuje přes sběrnici I<sup>2</sup>C (dále popsaná v kapitole 4.4.1). V případě zjištění suchého truhlíku poklesnutím měřené hodnoty pod minimální, experimentálně změřenou analogovou hodnotu 1000, se v době předpokládaného maxima výkonu solárních modulů provede závlaha.

V případě zjištění příliš nízké hladiny vody v nádrži za pomoci ultrazvukového senzoru vzdálenosti HC-SR04, dojde k automatickému přerušení závlahy. Automatická závlaha se obnoví po opětovném dosažení potřebné minimální hladiny. Pokračování nedokončeného zavlažování je dále spuštěno opět v dobu předpokládaného největšího výkonu solárního panelu.

Závlaha je provedena pomocí čerpadla a třicestného elektromagnetického ventilu popsaného v kapitole 3.2.. Po zjištění zaplavených sond je závlaha dané stěny ukončena. V případě vyschlé druhé stěny osazené na chytré lavičce se opět provede závlaha této druhé kaskádové zahrady.

### 3.3.2 Sběr meteorologických dat

Sběr dat z meteorologických senzorů popsaných v následující podkapitole, je opět řízen Raspberry Pi. Všechny senzory jsou připojené pomocí UTP kabelu s konektory RJ45. Po tomto kabelu probíhá potřebné napájení jednotlivých senzorů, komunikace I<sup>2</sup>C, a pro jednoduché senzory i obyčejná komunikace I/O pinů. Poslední částí komunikace jsou dva vodiče pro mikrofon.

Z lavičky jsou dále zjišťována meteorologická data a údaje. Základní meteorologické údaje konkrétně teplotu, vlhkost vzduchu a tlak měří čidlo BME280 od firmy BOSCH. Toto čidlo je přívětivé kvalitou, cenou i velikostí. Vzhledem k náročnosti osazování tohoto malého čidla a jeho zapájení zatím odebíráme přímo modul osazený tímto senzorem. Komunikace mezi senzorem a Raspberry Pi probíhá přes sběrnici I<sup>2</sup>C. Bližší informace o senzoru jsou uvedeny v kapitole 4.4.2.

Údaje o rychlosti větru a dešťových srážkách zajišťují jednotlivé sondy. Pro rychlost větru je to anemometr a srážkový senzor pro informaci o srážkách. Tyto díly jsou odebírány jako náhradní díly k meteorologické stanici WH1080 a dále upraveny pro potřeby chytré lavičky z hlediska jejich instalace. Senzory jsou založeny na spínání kontaktu za pomoci neodymového magnetu. Signál z těchto sond je tedy pouze kvadrurní. Proto je odečet těchto hodnot prováděn stejně, jako odečet z inkrementálního čidla ovšem pouze v jednom směru otáčení a dále jsou tyto hodnoty přepočítány dle konstrukce (geometrických rozměrů) senzorů na reálné hodnoty rychlosti větru a množství srážek.

Další je senzor částic CO<sub>2</sub> ve vzduchu. K tomu používáme senzor CCS811 od firmy AMS. Opět vzhledem k náročnosti osazování zatím odebíráme kompletní modul vyvinutý a vyráběný firmou Adafruit. Komunikace je provedena opět přes sběrnici I<sup>2</sup>C. Tento senzor není ideálním řešením pro měření hladiny CO<sub>2</sub> z důvodů popsaných v kapitole 4.4.3. Senzor však zatím postačuje minimálně pro orientační měření. Dalším důvodem je cenová náročnost měřících senzorů CO<sub>2</sub>.

Nakonec je přítomen senzor hluku, což není nic jiného než elektretový mikrofon připojený do zvukové karty. Tato karta je připojena do USB portu Raspberry Pi. Naměřené hodnoty jsou dále zpracovány a upraveny metodou průměru špičkových hodnot.

Všechny tyto senzory jsou umístěny na střeše lavičky pro korektnost údajů a jejich minimální ochranu před vandalismem pomocí prostorového uspořádání. Kromě senzoru srážek a rychlosti větru jsou senzory umístěny na vytvořené desce plošného spoje (Obrázek 3.9) s konektorem pro vyvedení všech signálů a konektorem pro připojení senzoru rychlosti větru a množství srážek.



Obrázek 3.9 DPS se senzorem BME 280, CCS811 a mikrofonem

Pro jednoduché propojení jednotlivých částí byla navržena další rozvodová deska plošného spoje, která je osazena příslušnými konektory, svorkovnicemi a senzory pro jednoduché připojování periférií chytré lavičky. Všechna data z lavičky se pak z Raspberry Pi odesílají přes ethernetový port do routeru Mikrotik, který zajišťuje síťové spojení dále popsané v kapitole 3.5.

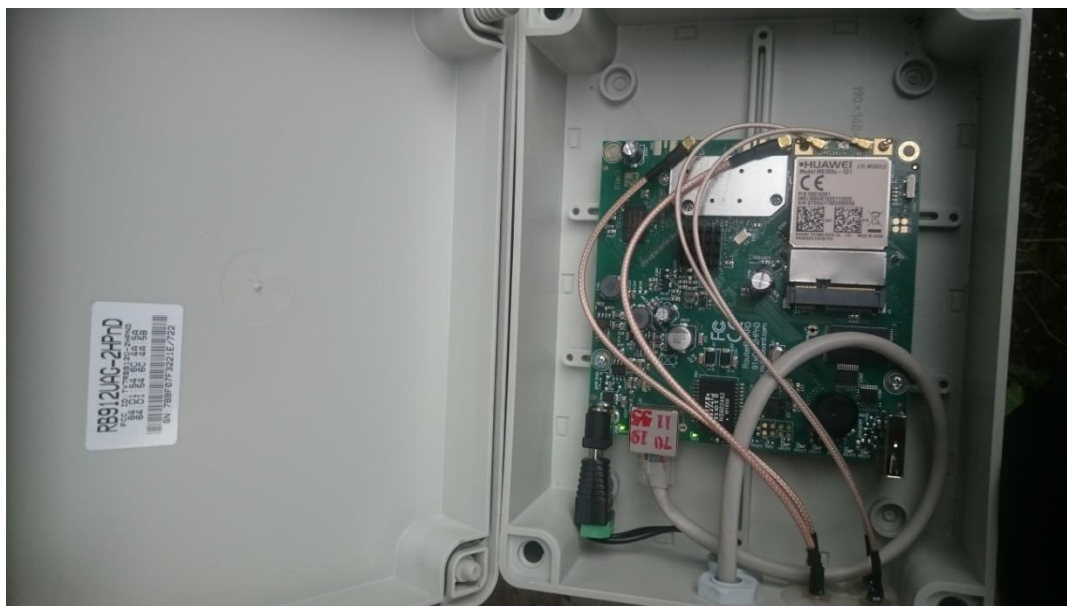
### 3.4 USB zásuvky a jejich měření

Lavička je osazena čtyřmi USB zásuvkami, které poskytují možnost nabít si své mobilní zařízení. Zásuvky jsou rozděleny do párů, přičemž každá dvojice má svůj vlastní zdroj (měnič napětí 24/5V). Důvodem proč není použit pouze jeden měnič je vzdálenost zásuvek a tedy ztrát na nízké napěťové hladině. Dále pak maximální možný poskytovaný proud měničem, který je 5A. Doporučený maximální proud je však pouze 4A, což je vzhledem k obsluze pouze dvou zásuvek přinejmenším dostačující velikost. Měniče však nemají ochranu proti nadměrnému odebíranému proudu, proto byl přímo pro použitý měnič navržen plošný spoj s vratnou pojistkou. Pro snadnou montáž i demontáž je spojení mezi měničem a deskou navrženo s ohledem na co nejsnadnější výměnu porouchaného měniče. Každý měnič je pak v lavičce umístěn co nejbližší k zásuvkám, aby se minimalizovali ztráty na délce přívodních kabelů.

K Raspberry Pi je dále připojen senzor proudu a napětí INA219 komunikující opět po sběrnici I<sup>2</sup>C. Tento senzor je připojen před oba měniče 24/5V, které napájí USB zásuvky pro nabíjení mobilních zařízení. Senzor tedy měří odebíraný proud zařízeními připojených k lavičce, společně s odebíraným proudem měničů. Ten je ale oproti mobilním zařízením zanedbatelný. Senzor navíc měří i napětí. Měření je prováděno za pomoci shuntovacího odporu, na kterém je měřeno jedno napětí. Dále je změřeno napětí obvodu bez shuntovacího odporu a proudu procházejícího obvodem. Toto napětí odpovídá napětí na bateriích. Tím získáváme i údaje o nabíjení a vybití baterií společně s informací o intenzitě slunečního záření, respektive o napětí ze solárního regulátoru potažmo baterií respektive solárního panelu.

### 3.5 Síťové spojení

Síťové připojení zajišťuje router Mikrotik blíže specifikovaný v kapitole 4.3.2, do kterého je zapojen přídavný modemem přes MiniPCle port, vyráběný firmou Huawei. Připojení k internetové síti zajišťuje SIM karta od telefonního operátora, popřípadě pak připojení k Wi-Fi síti tvořené otevřeným systémem UPC Wi-Fi free. Každá možnost má své problémy, lepším řešením z širšího respektive globálnějšího pohledu je použití SIM karty. Instalace Mikrotiku v ochranné krabici je na obrázku Obrázek 3.10.



Obrázek 3.10 Router Mikrotik v ochranné krabici

Co se týče zajištění příjmu a vysílání signálu, jsou připojeny k Mikrotiku čtyři antény. Dvě antény pro šíření signálu Wi-Fi k modemu a dvě k samotnému routeru pro příjem a připojení na mobilní síť. Důvodem, proč ke každému zařízení není připojena pouze jedna anténa, ale rovnou dvě, je ochrana před poruchou jedné z antén. Tuto ochranu vytvořil sám výrobce, a proto jsou ke každému prvku připojené dvě antény. Výrobce pak zaimplementoval ochranu, díky které se Mikrotik nespustí bez přítomnosti obou připojených antén a bez dostatečně silného signálu.

Napájení Mikrotiku je provedeno přímým připojením ke zdroji. Toto připojení nám umožňuje Mikrotik vzhledem k širokému pracovnímu napětí, které je 9-32V.

Jak již bylo řečeno v předešlých kapitolách Mikrotik přijímá skrze svůj ethernetový port data od Raspberry Pi, která se dále odesílají na hostující server Zabbix. Na tomto serveru dochází k případnému konečnému zpracování dat v podobě jednoduchých přepočtů naměřených hodnot. Odtud už jsou data distribuována mezi zákazníky a na naší webovou stránku. Samotný Zabbixový server pak dokáže díky své webové aplikaci zobrazit naměřená data v grafech, nebo jako výčet hodnot v čase. Blížší popis naleznete v kapitole 6.1.

Obsluha distribuce volně přístupné Wi-Fi sítě SmartBench je prováděna prostřednictvím modemu připojeného na desce Mikrotiku. Prostřednictvím Mikrotiku pak provádíme obsluhu jednotlivých klientů, rozdělování a přidělování dat na den a další jiné operace. Vzhledem k požadavkům magistrátu je pak pro obsluhu Wi-Fi sítě připojena platforma Socifi, která nyní distribuci obhospodařuje.

Důležitou funkcí Mikrotiku je nejen jeho možnost síťových spojení a poskytování Wi-Fi, ale také měření toků dat. A to ať se jedná o rychlosti přenosu dat, tak i velikost objemu dat přenesených Mikrotikem. Mikrotik má v sobě nakonec zabudovaný i měřič napětí, který nám díky přímému připojení na zdroj poskytuje informaci o stavu baterií respektive solárních modulů. Máme tedy druhé měření důležité veličiny, kterou můžeme porovnávat s naměřenou hodnotou senzorem INA219.

### 3.6 Ochranné krytí proti vodě

Veškeré použité komponenty musí být ochráněny proti vniknutí vody do elektrických kontaktů. Solární moduly osazené na chytré lavičky disponují vlastním krytím proti vodě. Články jsou izolované za pomoci konstrukce celého modulu. Kontakty pro vyvedení elektrické energie jsou na zadní straně každého modulu v ochranném voděodolném pouzdře s průchodkami pro vyvedení kabelů. Veškeré řídicí komponenty jsou v lavičce instalovány ve spodní části konstrukce. V této části dochází pouze ke kondenzaci a odkapu stékající vody z kaskádových zahrad. Nejedná se tedy o přímé vystavení proudící vodě či dešťovým srážkám. Každý z komponentů je však nainstalován do průmyslových krycích krabic se stupněm krytí IP65 (Obrázek 3.11).



Obrázek 3.11 Provedení krytí řídicích částí chytré lavičky

Pro vyvedení potřebných napájecích a komunikačních kabelů jsou použity v lavičce průchodky s těsněním splňující stupeň krytí IP67 a IP68. Potřebné měniče pro napájení USB zásuvek jsou instalovány do stejných průmyslových krabic. Každý měnič má vlastní krabici, z důvodu co nejkratších přívodních kabelů k USB zásuvkám. Potřebné meteorologické senzory jsou instalovány ve speciálním stříškovém krytu, zajišťující průchod vzduchu, ale zamezující přístup vody k sensorům. Toto krytí je zobrazeno na následujícím obrázku Obrázek 3.12.





Obrázek 3.12 Krytí meteorologických senzorů

Nejobtížnější bylo zajistit ochranu vůči vniknutí vody do senzoru pro ultrazvukové čidlo HC-SR04. Toto čidlo je osazené na střeše chytré lavičky, ale je umístěno pod solárními panely. Senzor tak není vystaven přímým dešťovým srážkám. Vzhledem k tomu, že je však střecha koncipována jako sběrací prvek dešťové vody, musí být senzor dobře ochráněn před stojící či protékající vodou. Další potíží u krytí tohoto senzoru je nutnost průchodu ultrazvukových vln z vysílače a do přijímače přes krycí krabičku. Z toho důvodu jsou v těchto místech přidány trubky, které zajistí ochranu proti protékající vodě kolem senzoru a zároveň nenaruší funkci senzoru. Rozebraný krycí obal tohoto senzoru již byl na dřívějším obrázku Obrázek 3.7.

Voděodolnost instalačních krabic byla otestována na pracovní dílně, kde byly jednotlivé krabice vloženy pod proud ze sprchovací hlavy po dobu 15min. Na základě případných průniků vody skrze průchodky se tyto dotáhly, případně se změnil jejich počet. Po půlročním provozu laviček nedošlo k žádnému poškození prvků chytré lavičky vlivem průniku vody.

## 4 POUŽITÉ SOUČÁSTKY

V této kapitole budou podrobněji popsány použité části chytré lavičky. Jejich specifikace, podmínky, za kterých mohou být provozovány, a jejich funkce.

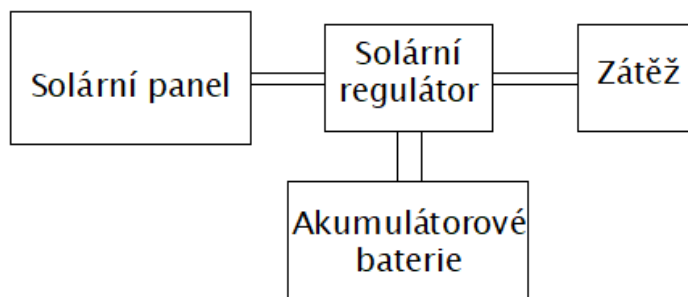
### 4.1 Energie

Jak již bylo dříve zmíněno, pro zajištění energie je v lavičce instalován autonomní solární systém. Pro jeho fungování jsou v lavičce instalovány solární moduly, akumulátorové baterie a solární regulátor, jejichž funkce byla popsána v kapitole 3.1. Na úvod této kapitoly bude popsán princip autonomního solárního systému a posléze popis konkrétních použitých komponentů v chytré lavičce.

#### 4.1.1 Autonomní solární systém

Autonomní solární systémy mají za účel výrobu, úschovu a dodání elektrické energie mimo rozvodnou síť. Pro toto řešení se také používá název off-grid systém. Autonomní systém tedy musí poskytovat dostatek energie po určený časový interval. V případě solárních systémů pracujících 24 hodin denně je nutno řešit nedostatek sluneční energie v nočních hodinách. Problém s nižší vyrobenou energií se však musí řešit i přes den, kdy je menší intenzita záření obzvláště pak v zimních měsících.

Autonomní solární systém tedy musí obsahovat pro své celodenní fungování buď další, jiný zdroj energie, nezávislý na slunečním svitu, nebo akumulační zásobárnu energie, v tomto případě akumulátorové baterie. V lavičce je použit systém pouze s akumulátorovou baterií bez použití přídavných výrobních členů. V případě použití záložního zdroje energie by se již jednalo o hybridní solární systém. Dále tedy bude popisován systém pouze se solárními moduly a akumulátorovými bateriemi. Tento použitý systém musí zajistit v čase výroby dostatek energie pro zatěžovací člen systému a také dostatek energie pro dobíjení akumulátorové baterie. Schéma takového autonomního systému je na obrázku Obrázek 4.1.



Obrázek 4.1 Schéma použitého autonomního systému na chytrých lavičkách

Při návrhu takového celku se postupuje od zjištění potřebné energie pro zátěž, posléze minimální průměrné sluneční energie na místě instalace systému a zjištění potřebné maximální doby fungování systému bez přísunu energie ze solárních modulů.

Je zřejmé, že v takovém autonomním solárním systému musí být přítomen prvek, řídící tok energie mezi solárními moduly, akumulátorovými bateriemi a zátěží. Proto je do takového systému instalován solární regulátor. Další důležitou funkcí regulátoru je zajištění správného nabíjení a vybíjení akumulátoru a jeho ochrany. Regulátor tak chrání akumulátor před přebíjením v době maximálního výkonu solárního modulu a také před jeho hlubokým vybíjením při nedostatku energie. Autonomní solární systémy jsou tedy energeticky nezávislými jednotkami, zajišťující si svoji funkčnost využitím sluneční energie a její úschovy.[15]

### **4.1.2 Fotovoltaický modul Waaree**

Fotovoltaické moduly, instalované do každé lavičky jsou vyráběny indickou firmou WAAREE, která je jednou z nejrychleji se rozvíjejících se firem v Indii v oblasti využití solární energie. Použité solární moduly jsou z výrobní řady nazvané ARKA. Konkrétněji pak moduly s označením WS-50. Jedná se o polykrystalické křemíkové moduly, se jmenovitým maximálním výkonem 50W. Solární modul se skládá z 36 článků spojených do série. [6]

Počet článků je odvozen od napětí, které dokáže poskytnout každý jednotlivý článek, jehož hodnota činí přibližně 0,6V při 25°C a plné intenzitě záření; pro dosažení napěťové hladiny 12V. [7]

Napětí v případě maximálního výkonu při zapojení modulu do obvodu je při jmenovitých podmínkách 17,21V a dokáže poskytnout proud 2,91A. Účinnost modulu je 11,76%. Moduly jsou opatřeny vždy dvěma překlenovacími diodami, které zajišťují ochranu modulu proti průchodu proudu jeho zastíněnou částí při zastínění. Provozní teplota modulu je od -40°C do 80°C. Moduly se vyznačují dobrou životností, kdy účinnost po 10 letech je minimálně na 90% a po 25 letech na 80%. Moduly mají všechny náležité certifikace. Na lavičce je pak instalováno 6 modulů v serioparalelní kombinaci pro poskytnutí 24V napěťové hladiny a dostatečného výkonu i v zimních měsících.

### **4.1.3 Akumulátor Westinghouse**

Akumulátory v lavičce pocházejí od firmy Westinghouse konkrétně typ WA12-65 (Obrázek 4.2). Akumulátorové baterie jsou složeny z 6 olovených článků. Jmenovité napětí akumulátorové baterie je 12V. Celková kapacita pak dosahuje hodnoty 65Ah. Těchto hodnot je dosahováno při teplotě 25°C. Akumulátor má vzhledem ke své kapacitě a materiálu hmotnost přibližně 21Kg. Optimální nabíjecí napětí pro akumulátor je 13,7±1V a maximální nabíjecí proud může dosahovat 19,5A. Baterie jsou typu VRLA (valve-regulated lead-acid battery) konkrétněji AGM (Absorbent Glass Mat).[8]



Obrázek 4.2 Akumulátorová baterie 12V/65Ah firmy Westinghouse

Jedná se tedy o ventilem regulovaný kyselinový akumulátor. Jednotlivé články jsou od sebe pak oddělené pomocí síťoviny ze skelných vláken, které slouží k udržení elektrolytu. Baterie jsou vhodné pro jejich dlouhou výdrž a cenu. S nižší cenou pak ale narůstají rozměry a váha každého akumulátoru.[9] V lavičce jsou pro dosažení napětí 24V instalovány 2 tyto baterie.

#### 4.1.4 Solární regulátor Epsolar

Pro zajištění řízení toku energie v lavičce mezi zátěží, akumulátory a solárním panelem je použit solární regulátor LS2024B (Obrázek 4.3) od firmy Epsolar. Tento regulátor je možno instalovat do systému s napětím 12V, 24V a díky možnosti PWM i kombinaci 12/24V. Regulátor používá pro dobíjení baterií PWM modulaci s teplotní kompenzací, čímž zajišťuje vysokou účinnost. Regulátor poskytuje možnosti nastavení a měření dat pomocí komunikace RS485. Vlastní spotřeba regulátoru činí 7,8mA. Pracovní teplota regulátoru je od -35°C do 55°C. Regulátor je vyráběn s chladičem, který tvoří celá záda regulátoru, díky čemuž je možné tento regulátor použít i v tepelně náročnějších podmínkách. Pro zajištění správné funkce jsou v regulátoru instalovány ochrany proti zničení samotného regulátoru, jako je např. ochrana proti přepólování, dále proti zničení baterií, např. proti hlubokému vybíjení a také pro ochranu solárního panelu, např. proti zkratování fotovoltaického panelu.[17]



Obrázek 4.3 Solární regulátor LS2024

## 4.2 Závlaha

Dále budou popsána zařízení pro obsluhu závlahy živých stěn osazených na chytré lavičce. Tyto komponenty jsou v době své aktivity spotřebiče s nejvyššími odebíranými proudy. Zpracování a výsledný celek je popsán již v kapitole 3.2. Zde budou popsány pouze specifické parametry daných komponentů.

### 4.2.1 Čerpadlo CP3200

Čerpadlo, které zajišťuje přísun vody do korýtek živých stěn je stejnosměrné odstředivé čerpadlo CP3200 (Obrázek 4.4), určené pro instalaci do solárních systémů. Toto čerpadlo může být dodáno s DC motorem pracujícím buď na napětí 12V, nebo 24V. Čerpadlo není konstruováno pro nepřetržitý provoz. Jeho provozní cyklus odpovídá 20 minutám chodu proti 20 minutám klidu. Proudový odběr činí 4A při použití 24V napětí 24V. Celkový průtok při plném napětí dosahuje 30 l/min. Maximální výtlačná výška je 3m. Rozměry čerpadla jsou velice malé, konkrétně pak 215mm x 135mm x 110mm.[10]



Obrázek 4.4 Čerpadlo CP3200

Díky rozměrům a provoznímu napětí s dostatečnou výtlačnou výškou je toto čerpadlo ideální pro použití v této chytré lavičce. Nevýhoda velkého odebíraného proudu je potlačena pomocí PWM regulátoru otáček. Snížením odebíraného proudu navíc docílíme i snížení průtoku a tím zajistíme, že nebudou přelévány truhlíky s květinami.

### 4.2.2 Elektromagnetický třístavový ventil Pevecoil

Paradoxně je v lavičce instalován elektromagnetický ventil (Obrázek 4.5) od firmy Pevecoil, původně určený pro instalaci do vozidel na rostlinný olej. Tento ventil se však nakonec ukázal jako správná volba pro zabudování do chytré lavičky. Ventil se skládá z těla s potrubní výhybkou a elektromagnetického ústrojí, které tuto výhybku ovládá. Vzhledem k originální konstrukci, jako ventil na rostlinné oleje a do těžkého automobilového průmyslu, nedělají ventilu problémy ani provozní podmínky lavičky, ani odlišná provozní kapalina. Ventil se vyrábí buď v 12V nebo 24V variantě. Šroubení ventilu je o rozměru G3/8". Elektromagnetický ventil je stálý v jedné poloze a změna do druhé polohy se provádí pomocí přivedení napětí. Ventil je tak díky ovládacímu napětí a rozměrům výborný pro chytrou lavičku. Nevýhodou je odebíraný proud při sepnutém ventilu, který je 1A.



Obrázek 4.5 Elektromagnetický ventil pevecoil

## 4.3 Řídící a komunikační jednotky

Pro řízení, sběr dat a komunikaci jsou v lavičce instalovány dvě zařízení. Jedním z nich je Raspberry Pi 3, které zajišťuje sběr dat ze senzorů a řízení závlahy. Druhým je Mikrotik, který zajišťuje komunikaci po mobilní síti a distribuci Wi-Fi free.

### 4.3.1 Raspberry Pi 3 model B

Raspberry Pi 3 je již třetí generace Raspberry Pi. Raspberry Pi je plně funkční miniaturní počítač osazený na desce velikosti kreditní karty. [11] Největší rozdíl oproti předchozí verzi je hlavní procesor nové generace, implementované Bluetooth Low Energy a zabudovaný Wi-Fi router. Dalším vylepšením je lepší energetická náročnost s možností poskytnout připojeným zařízením přes USB dostatek energie pro fungování. Raspberry Pi 3 je osazeno velkým množstvím konektorů. V první řadě jsou to 4 USB porty, HDMI port, ethernetový port, 40 GPIO pinů, audio výstup a konektor pro kameru a dotykovou obrazovku. Díky 40 GPIO pinům dává Raspberry Pi 3 možnost připojit jakékoliv vývojové zařízení, senzor, či cokoli jiného. Přes tyto piny pak může komunikovat i po UART, I<sup>2</sup>C a SPI sběrnících. Hlavní procesor je kompletně zapouzdřen do jednoho čipu a je sestaven ze čtyř jader ARM Cortex-A53 pracujících na frekvenci 1,2GHz. K zařízení už nadále není nutné pro distribuci signálu připojovat anténu. Raspberry Pi má svou anténu osazenou přímo na desce.[12] Napájecí napětí je 5V.

Důvodem použití této platformy je její pořizovací cena, dostatek GPIO pinů s potřebnými komunikačními sběrníci pro komunikaci s periferiemi chytré lavičky, dále pak vestavěný ethernetový port pro další komunikaci a odesílání dat. Problémem je jeho vyšší spotřeba energie při normálním módu. Tento problém se nakonec vyřešil a je blíže popsán v kapitole 5.1.

### 4.3.2 Mikrotik

Pro komunikaci lavička využívá router od firmy Mikrotik RB912UAG-2HPnD. Tento bezdrátový router o rozměrech pouhých 105mm x 105mm má integrovanou výkonnou bezdrátovou kartu pracující na 2,4GHz s možností připojení externí karty miniPCle s modemem. Napájecí napětí je variabilní 8-30V. Router při napájení 24V má příkon maximálně 14W. Zařízení je možné používat při teplotním rozsahu od -40°C do 70°C. Zařízení je osazeno několika porty. Konkrétně pak ethernetovým, MiniPCle, USB a SD Card portem.[13]

Přes MiniPCle je do routeru připojen modem od firmy Huawei. Konkrétně je to LTE modem ME909u-521. Tento modem podporuje komunikaci na všech základních frekvencích (850/900/1800/1900 MHz) s možností připojení k síti LTE. Tento modem je osazen slotem pro Sim kartu.

Celek složený z těchto dvou kompatibilních zařízení poskytuje rychlé síťové připojení po mobilní síti. Má možnost komunikace pomocí ethernetu a pro jeho napájení není zapotřebí do lavičky instalovat další případný zdroj. Tyto výhody rozhodly o použití tohoto zařízení v chytré lavičce i přes jeho vyšší finanční náročnost.

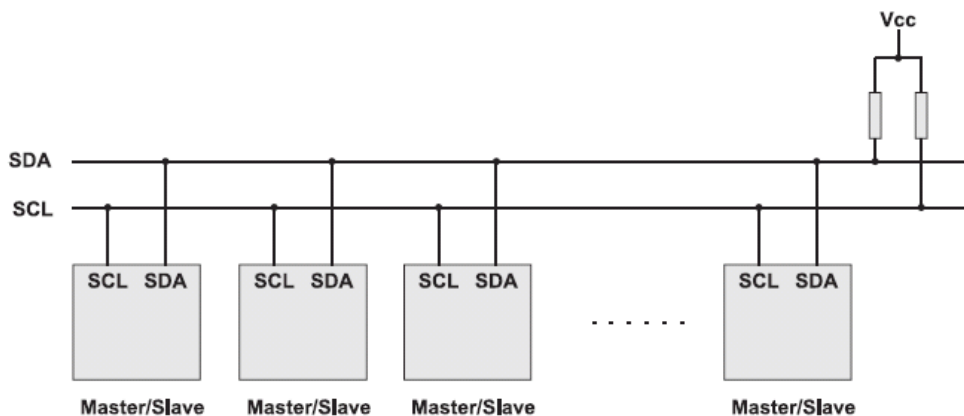
## 4.4 Senzory

V této kapitole budou podrobněji popsány jednotlivé senzory, které jsou na lavičce nainstalovány. Z důvodu použití I<sup>2</sup>C sběrnice je první kapitola části senzorů věnována krátkému popisu této sběrnice a komunikace po ní. Dále budou popsány použité senzory instalované na chytré lavičce.

### 4.4.1 Komunikace – I<sup>2</sup>C sběrnice

V lavičce je použito mnoho senzorů, přičemž většina z nich komunikuje přes sběrnici I<sup>2</sup>C. Proto bude v této kapitole sběrnice alespoň z širšího pohledu popsána.

Sběrnice I<sup>2</sup>C je jednou ze základních digitálních sběrnic. Sběrnice je typu multimaster, což znamená, že každé zařízení na sběrnici může žádat od ostatních připojených zařízení data, která mohou poskytnout. Sběrnice je řešena pomocí adresování jednotlivých připojených zařízení, tedy každé zařízení má svou adresu, která může být buď o délce 7, nebo 10 bitů. Adresy zařízení jsou dány již výrobcem. Výrobce pak dává možnost tuto adresu změnit pomocí připojení jednoho z pinů čipu k napájení. Každá stanice může začít vysílání v libovolný čas, a proto je na sběrnici řešena i arbitrace. Schéma zapojení sběrnice je na obrázku 4.6. Jak je zřejmé z obrázku sběrnice je napájena přes pull-up rezistory a komunikace je zajištěna připínáním sběrnici k zemi. Tím mohou zařízení komunikovat mezi sebou.

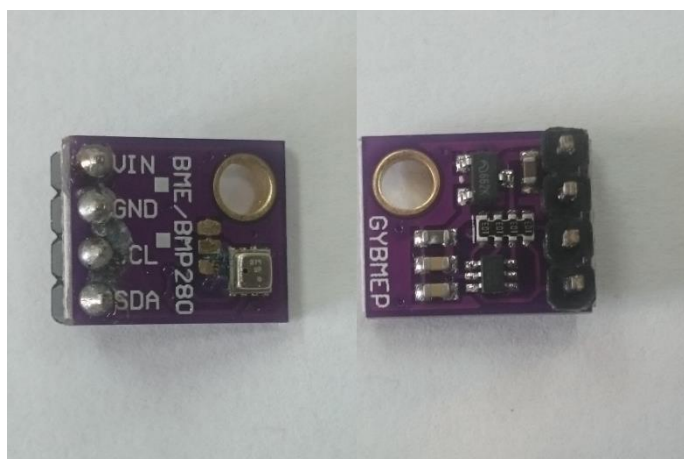


Obrázek 4.6 Schéma zapojení sběrnice I<sup>2</sup>C[1]

Pro přenos dat slouží vodič SDA, po kterém jsou přenášeny data o velikosti 8 bitů. Vodič SCL slouží pro informace o započítí a konci přenášení dat.[1]

#### 4.4.2 BME 280 – senzor teploty, vlhkosti a tlaku

Senzor BME280 je vyráběn firmou BOSCH. Rozměry senzoru jsou velice malé a to pouze 2,5mm x 2,5mm x 0,93mm a celý čip je uschován v kovovém pouzdru typu LGA. Senzor měří až tři hodnoty. Základní hodnotou je teplota, dalšími volitelnými veličinami jsou tlak a vlhkost vzduchu. BME280 předává naměřená data digitálně a to buď přes komunikaci SPI, nebo I<sup>2</sup>C. To usnadňuje práci se senzorem, jelikož není zapotřebí další AD převodník pro čtení analogových dat. Celý senzor se vyznačuje vysokou přesností měření všech tří hodnot. To je zajištěno vnitřním teploměrem, za pomoci kterého se provádí vnitřní korekce naměřených dat vlhkosti a tlaku a kterým se měří samotná teplota okolí. Napájení senzoru je na napěťové hladině 3,3V. Samotný senzor je velice úsporný. Při maximálním využití senzoru, tedy měření teploty, vlhkosti i tlaku má proudovou spotřebu 3,6μA. Senzor může navíc pracovat ve třech režimech a to sleep mode, normal mode a forced mode. Pokud je senzor přepnut do sleep modu, tak se jeho proudová spotřeba sníží až na 0,1μA. Pracovní teplotní rozsah je -40°C až 85°C. Velikost, kompaktnost a nízká spotřeba ho tak předurčují k použití i do menších zařízení závislých na přísunu energie z baterie.[2]



Obrázek 4.7 Senzor BME280



Vysoká přesnost, kompaktnost, nízká spotřeba a cena předurčila tento senzor i pro použití na chytré lavičce. Původní řešení se senzory DHT22 a BMP280 mělo veliké nepřesnosti a v případě DHT22 komunikující přes sběrnici 1-wire i veliké ztráty dat.

#### 4.4.3 CCS811 – senzor částic CO<sub>2</sub> v ovzduší

CCS811 je vyráběn firmou AMS. Tento čip je určen pro měření plynů v ovzduší. V čipu je integrovaný metal oxidový senzor plynů pro měření těkavých organických sloučenin. Za pomoci zabudovaného mikrokontroléru s AD převodníkem jsou naměřená data převedena na digitální signál a pomocí sběrnice I<sup>2</sup>C jsou odesílána dalším zařízením. Díky podpoře chytrých algoritmů pro přepočítání naměřených hodnot je možné odečíst ekvivalentní počet částic CO<sub>2</sub> v ovzduší. CCS811 má provozní napětí 3,3V a má velmi malou spotřebu energie 60mW. Další předností tohoto čipu jsou jeho rozměry. Konkrétně 2,7mm x 4,0mm x 1,1mm v pouzdře LGA. Pracovní teplotní rozsah je stejný jako u senzoru BME280, tedy od -40°C do 85°C. Rozsah měření CO<sub>2</sub> je od 400ppm do 64000ppm. CCS811 je určen především do vnitřních prostor a přenosných zařízení. Rozměry čipu a jeho nízká spotřeba umožňují použití i v menších zařízeních napájených z baterie.[3]

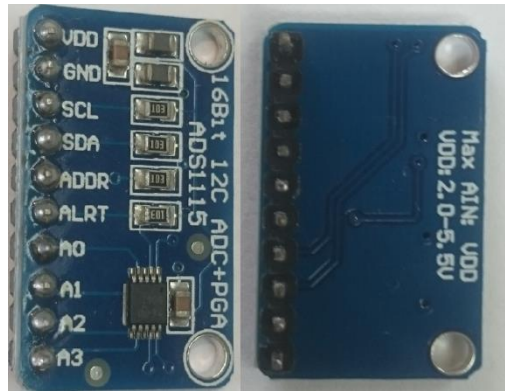


Obrázek 4.8 Senzor CCS811

Důvodem použití tohoto čipu v této chytré lavičce jsou jeho nízká spotřeba, rozměry, komunikace a především cena. Měření je ve venkovním prostředí, což není pro CCS811 definované. Je však dostačující pro nynější měření. V budoucnu se do lavičky nainstaluje případný jiný senzor, který se právě vyhledává.

#### 4.4.4 ADS1115 – AD převodník

AD převodník ADS1115 je 16bitový analogově digitální převodník od firmy Texas Instruments. Tento převodník má vysokou přesnost měření. Převodník pracuje na sběrnici I<sup>2</sup>C. V čipu je vlastní oscilátor, multiplexer, volitelný zesilovač, samotný převodník a navíc i komparátor. Díky tomu je čip velmi komplexní a není nutno k němu připojovat další součásti. Celý čip je ve velmi malém pouzdru o rozměrech 5,3mm x 3,3mm x 1,3mm. Na rozdíl od předchozích dvou senzorů je možno tento převodník napájet i napětím 5V. ADS1115 se vyznačuje nízkou proudovou spotřebou 150μA. Tato spotřeba se dá ovlivnit módem a rychlostí vzorkování, která je od 8 do 860 vzorků za vteřinu. Pracovní teplotní rozsah je od -40°C do 125°C. Čip je vytvořen i pro průmyslovou automatizaci, tedy do těžších podmínek. ADS1115 má vyveden i kontakt pro případnou změnu adresy na sběrnici I<sup>2</sup>C.[4]

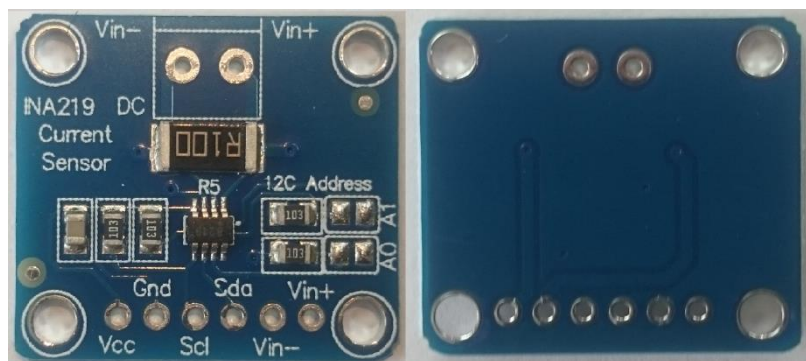


Obrázek 4.9 A/D převodník ADS1115

ADS1115 je použit pouze pro čtení analogových sond přítomnosti vody. Jeho výkon je tak nevyužit. Důvodem použití tohoto čipu jsou jeho nízká spotřeba, cena a především velikost. Navíc používá pro komunikaci sběrnici I<sup>2</sup>C, stejně jako ostatní senzory.

#### 4.4.5 INA219 – senzor proudu

Senzor proudu a napětí INA219 pochází stejně jako AD převodník ADS1115 od firmy Texas Instruments. Senzor je určen pro měření proudu, respektive výkonu procházejícího obvodem. Tento senzor poskytuje informace o proudu a napětí, potažmo výkonu, po sběrnici I<sup>2</sup>C, popřípadě SMBUS. Senzor má programovatelný čas pro konverzi hodnot a jejich filtrování. Díky vnitřnímu zesilovači a programovatelné kalibraci přímo poskytuje informaci o procházejícím proudu obvodem. Pracovní teplota tohoto senzoru je od -40°C do 125°C. Napájení samotného senzoru může být provedeno napětím 3,3V i 5V, přičemž senzor odebírá maximálně proud 1mA. Rozsah měřeného napětí senzorem je 0 až 26V. Při nejvyšším rozsahu měření, je možno měřit proud do ±3,2A.[5]

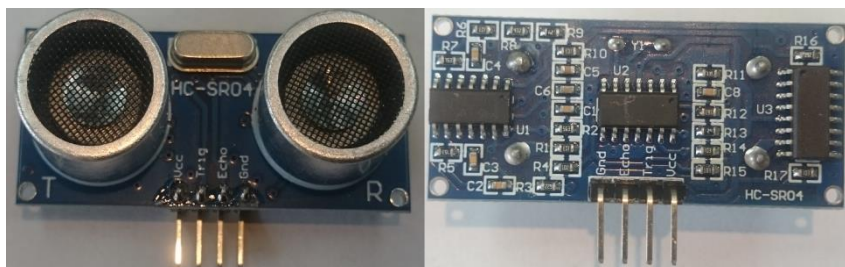


Obrázek 4.10 Senzor proudu INA219

INA219 je použit v chytré lavičce pro měření odběru ze čtyř USB zásuvek. Pro projekt byl ideálním řešením z hlediska nutnosti pouze jednoho senzoru pro všechny zásuvky. Navíc má velkou citlivost měření s nízkými ztrátami. Společně s ostatními senzory pak komunikuje po I<sup>2</sup>C sběrnici, takže pro něj není zapotřebí zajišťovat další komunikaci.

#### 4.4.6 HC-SR04 – ultrazvukový senzor vzdálenosti

Tento ultrazvukový senzor vzdálenosti pochází od firmy ELECFREAKS. Senzor dokáže měřit vzdálenost od objektů v rozsahu od 2cm do 400cm. Senzor sestává ze dvou základních částí, kterými jsou vysílač a přijímač signálu. Samotné měření senzorem funguje na základě měření doby mezi vysláním ultrazvukového signálu a jeho přijetím. Na základě známé rychlosti zvuku se z naměřené doby, podělené dvěma, dostane konečná vzdálenost. Senzor má svou pracovní spotřebu 15mA. Pracovní frekvence senzoru je 40Hz. Velikost HC-SR04 pak činí pouhých 45mm x 20mm x 15mm. [16]



Obrázek 4.11 Ultrazvukový senzor HC-SR04

Díky svým rozměrům a rozsahu měření je senzor dostačující pro použití na chytré lavičce pro měření hladiny vody. Hloubka nádrže navíc není větší než polovina rozsahu senzoru. Samotný senzor bylo zapotřebí opatřit voděodolným krytem. To bylo u tohoto senzoru docíleno malou průmyslovou krabičkou s krytím IP65 a pro vyvedení signálu průchodkou s gumovým těsněním. V případě přijímače a vysílače jsou připojeny trubičky. Senzor je otestován půlročním provozem bez poškození vodou.

## 5 PROBLÉMY A JEJICH ŘEŠENÍ

Během řešení celého projektu se vyskytovaly problémy s celým zpracováním a se všemi komponenty. Největší problém byl se sehnáním kvalitních programátorů, kteří by dokázali být variabilní v ohledech na vývoj a nestability produktu. Tento problém přetrvával více, než jeden měsíc, což z tříměsíčního vývoje dělá více než třetinu. Další potíže vznikly při požadavku na dodání komponentů v co nejkratším časovém intervalu a od co nejmenšího počtu dodavatelů respektive firem. Tento problém prozatím, i když ve stravitelnější formě, přetrvává do současnosti. Dále jsme se setkali s nekvalitními, neodolnými, nebo softwarově nevyhovujícími díly. A v neposlední řadě je překážkou venkovní celoroční provoz. Produkt se musel přizpůsobit veškerým meteorologickým podmínkám.

### 5.1 Energie

Základním problémem v udržení lavičky online byla energetická náročnost veškerých komponentů. I přes původní výpočty s hodnotami z datových listů jednotlivých komponentů se naše spotřeba vyšplhala příliš vysoko. Lavička se nestačila dobíjet přes den, a tak po dvoutýdenním provozu přešla do offline režimu. V tomto případě však hrála hlavní roli spotřeba dvou základních řídicích prvků a špatné umístění první postavené lavičky na pozici s nízkou sluneční intenzitou. I přes vyšší množství senzorů, které jsou v lavičce instalovány, byla jejich spotřeba vůči řídicím prvkům zanedbatelná.

Řešením tohoto problému bylo omezení výkonu Mikrotiku co se týče Wi-Fi sítě, kterou Mikrotik vytváří. Dále snížení frekvence odesílání dat z lavičky. Poté se provedlo podtaktování procesoru Raspberry Pi a omezení jeho výkonu. To byl nejvýznamnější krok ve snižování energetické náročnosti. Dále se navýšil počet solárních modulů z původních čtyř na šest. Tím se dosáhlo zvýšení výkonu o 50%. Nakonec se lavička přemístila na místo s lepším přístupem slunečního záření. Těmito opatřeními se docílil kýžený výsledek a lavičky tak dokáží vydržet online bez jakéhokoliv připojení na rozvodnou síť.

### 5.2 Zásuvky

Problémy se vyskytovaly už i v základních požadovaných a vyhledávaných charakteristických komponentech. Tímto komponentem jsou USB zásuvky. A to od měniče až po samotný konektor. Vzhledem k nutnosti přístupnosti zásuvek pro veřejnost musely být zásuvky dostatečně kryty před vnikem vody.

Řešením tohoto problému se staly zásuvky od firmy Neutrik. Zásuvky jsou opatřené voděodolným víkem s pružinou pro automatické zavření po odpojení USB kabelu. I tato zásuvka však není bezchybná. Po připojení kabelu dochází kvůli pružině k ohýbání vodiče kabelu u konektoru. I přes tuto potíž je však tento typ zásuvky nyní nejlepší volbou pro tuto chytrou lavičku.

Dalším problémem bylo sehnání dostatečně výkonného a odolného měniče. Z počátku se do laviček instalovaly plně zapouzdržené měniče, které mohly poskytnout maximální výstupní proud 3A. Pokud však byla na tyto měniče delší dobu připojena dvě zařízení, docházelo k jejich přehřívání i přesto, že výrobce nepožaduje chlazení. Proto se přešlo na otevřené měniče, které se uchládit dokáží samy a poskytují proud až 5A. Tedy pro zapojení dvou zásuvek naprosto vyhovující.

## 5.3 Signál + data

V případě připojení a odesílání dat se vyskytly dva základní problémy. Jeden, který se podařilo vyřešit, a druhý, který stále trvá. Vyřešeným problémem bylo vyvedení signálu z lavičky s daty a příjem dat pro klienty Wi-Fi sítě. Druhým je pak potřebný objemný balíček dat, který musí zajišťovat operátor mobilních sítí.

Pro pochopení problému se signálem je zapotřebí vědět, že konstrukce celé lavičky je vyhotovena z masivní oceli. Kromě této konstrukce je v lavičce přítomna nerezová nádrž a celá lavička je posléze oplechována krycími plechy. Tyto všechny konstrukční prvky zajišťují bezchybnou tzv. Faradayovu klec. Tedy signál, který by byl vysílán zevnitř lavičky, by se nedostal do okolního světa. To se při první konstrukci neuvážilo. Řešení problému bylo jednoduché a prosté, tedy i časově a finančně nenáročné. Veškeré antény se osadily až na střechu lavičky, kam byly přivedeny anténní kabely.

Bohužel přetrvávající problém je v malém objemu dat, který nám je do našeho zařízení ochotný dodávat jakýkoli mobilní operátor. Vzhledem k nižšímu rozšíření našeho zařízení Mikrotiku jsou operátoři opatrní a z počátku naše zařízení brali jako nedůvěryhodné. Proto má zatím každá lavička minimální přípustný balíček dat, který stačí na sběr meteorologických údajů a minimální možnost distribuce Wi-Fi sítě např. pro přečtení novin. Nyní je díky rozmístění laviček pouze po hlavním městě řešením free Wi-Fi sítě UPC. Toto řešení však není konečné a s operátory probíhají jednání o nových datových balíčcích.

## 5.4 Vlivy prostředí

Každá chytrá lavička podléhá celodennímu namáhání. Proto je zapotřebí ji zkonstruovat tak, aby dokázala odolávat veškerým klimatickým podmínkám. Kromě klimatických podmínek však může být lavička také poškozena vandalem.

Krytí před klimatickými podmínkami zajišťují pouzdra, průmyslové instalační krabice, s krytím IP65. Tyto krabice jsou schopné odolávat prachu a tryskající vodě. Teplotní odolnost je řešena dimenzováním součástí na venkovní možné teploty. Proti vandalům jsou veškeré komponenty, kromě meteorologických senzorů, solárních modulů a USB zásuvek, uschovány v konstrukci každé lavičky.

Součásti, které musí být mimo konstrukci, jsou instalovány na hůře dostupných místech s výjimkou USB zásuvek. Solární moduly jsou tak spolu s meteorologickými senzory umístěny na střeše lavičky. Jsou tak alespoň vzdálenostně chráněny před případným vandalem.

## 5.5 Vandalismus a sabotáž

Stejně jako šech ostatních veřejných objektů se i této chytré lavičky týká nepříznivá skutečnost vandalismu a sabotáží. Do nynější chvíle jsme se setkali se třemi případy. Dvakrát se jednalo o vandalismus na USB zásuvkách. První z nich bylo rozbití krytů zásuvek, které ji chrání před deštěm a tedy vniknutím vody. Druhým bylo praktické zničení konektoru zásuvky ze strany připojení napájení. Tento případ je zobrazen na obrázku Obrázek 5.1.



Obrázek 5.1 Rozbitý konektor zásuvky chytré lavičky na Puškinové náměstí

Řešením druhého případu bude zabudování USB zásuvek přímo do hlavní ocelové uzavřené konstrukce laviček. Tím bohužel nedocílíme ochrany před rozbitím krytů a před deštěm. S touto skutečností vandalismu a rozbíjení je však zapotřebí počítat v provozních nákladech. Odstranění takových závad bude prováděno na základě pravidelných servisních zásahů potřebných pro údržbu živých kaskádových stěn.

Třetím případem byla sabotáž jednoho senzoru meteorologické stanice. Jednalo se o dešťový senzor, který byl ucpan gumovou dětskou hračkou, čímž bylo zamezeno protékání srážkové vody skrz senzor (Obrázek 5.2).



Obrázek 5.2 Sabotáž dešťového senzoru chytré lavičky na Puškinově náměstí

Řešení tohoto problému se sabotáží chytré lavičky je pravidelná kontrola. Tuto kontrolu provádějí servisní technici, kteří mají za úkol udržovat květiny osazené na kaskádové zahradě. Samotný senzor se již nyní nachází na nejvyšším bodě chytré lavičky, který je nejméně přístupný. Proto již není možná další změna dispozičního uspořádání senzoru na chytré lavičce, která by měla za následek snížení možnosti další sabotáže, či vandalismu.

## 6 ZOBRAZENÍ DAT

Zobrazení dat je možné ve dvou webových aplikacích. První je samotná aplikace serveru Zabbix. Druhou je vytvořená aplikace k této chytré lavičce v tomto projektu. Tato aplikace je na rozdíl od Zabbixu určená pro širokou veřejnost. Dále budou popsány a ukázány tyto dvě možnosti odděleně.

### 6.1 Zabbixový server

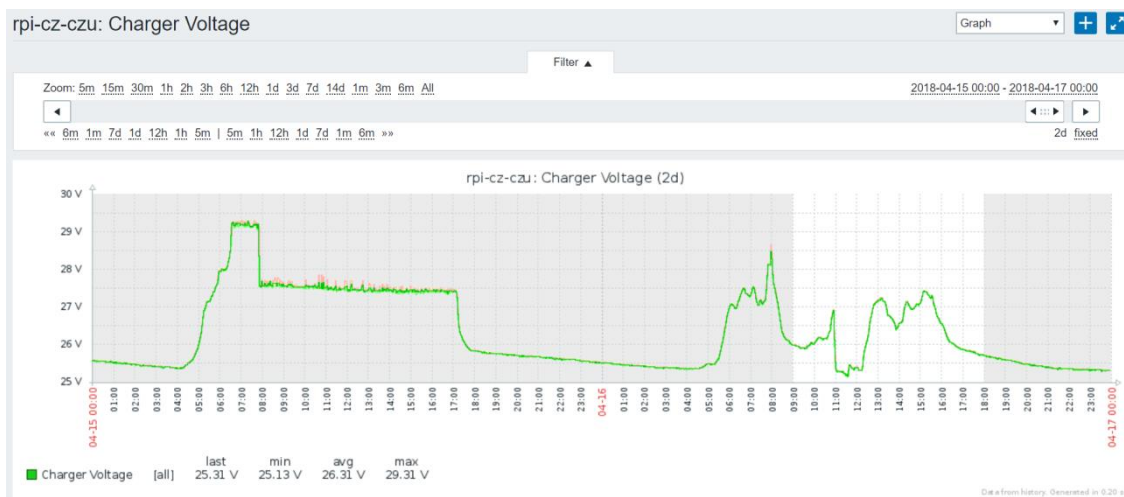
Zabbixový server nám umožňuje sběr a uchování dat z lavičky přenášených pomocí Mikrotiku, jak už bylo dříve řečeno. Další užitečnou vlastností Zabbixového serveru je zobrazení dat z lavičky. To může být v libovolně dlouhém horizontu v případě grafického zobrazení. V případě výpisů hodnot s časovým údajem je maximální možný výčet omezen na přibližně posledních 999999 hodnot. Výhodou této aplikace je především grafické zobrazení. To může být provedeno v jakkoliv dlouhém intervalu. Navíc nám aplikace poskytuje údaje v reálném čase. To se hodí především u zjišťování důvodu havarijních stavů z posledních naměřených hodnot.



Obrázek 6.1 Graf napětí na výstupu regulátoru chytré lavičky ČZU v intervalu 1 měsíce

Na obrázku Obrázek 6.1 je zobrazeno napětí na výstupu regulátoru chytré lavičky instalované na ČZU. V tomto případě se jedná o zobrazení hodnot v období jednoho měsíce. Konkrétněji jsou data zobrazena od 19.3.2018 – 13:42 do 18.4.2018 – 13:42. Zabbixový server tedy pracuje s rozměrem měsíce jako 30denní periodou. Rozsah intervalu zobrazených dat se dá libovolně upravovat. Na obrázku Obrázek 6.2 je zobrazení stejného údaje pouze ve dvoudenním intervalu.





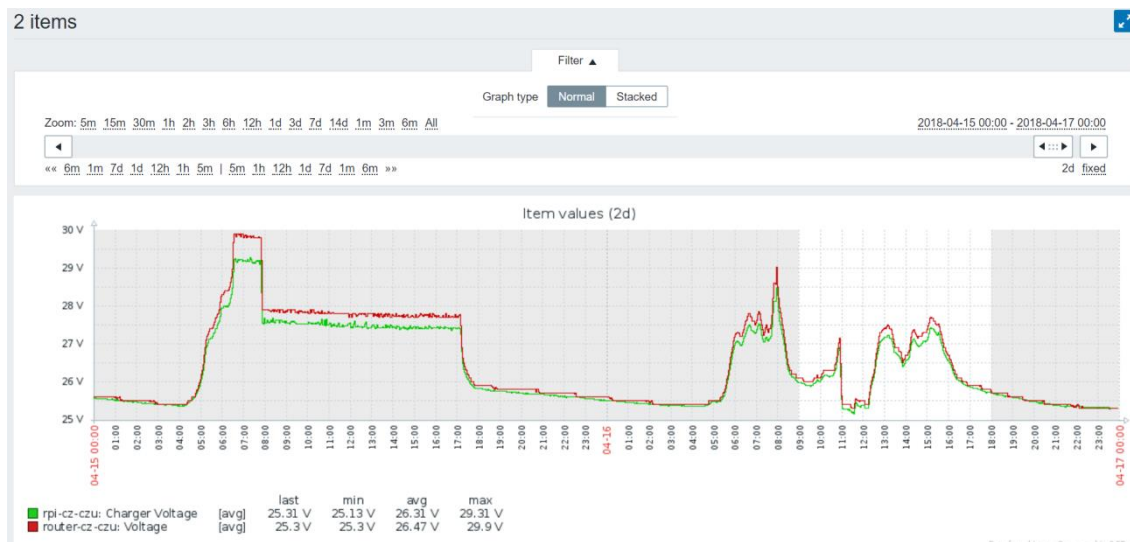
Obrázek 6.2 Graf napětí na výstupu regulátoru chytré lavičky ČZU v intervalu 2 dny

Na obrázku Obrázek 6.2 je zřetelně vidět průběh napětí na výstupu regulátoru ve dvou různých slunečných dnech. První polovina grafu ukazuje na slunečný den, především v ranních hodinách, kdy solární moduly dosáhly svého maximálního výkonu. Kolem osmé hodiny došlo k poklesu intenzity vlivem zastínění přímého slunečního záření, nejspíše oblačností. Výkon solárních modulů se tak snížil. Vliv zastínění předmětem je v tomto případě nemožný vzhledem k pozici chytré lavičky. Z druhé poloviny grafu je viditelná změna. Kromě vybraných časových úseků byla intenzita, respektive napětí na solárních modulech snížena, v jisté chvíli dokonce došlo k úplnému zastínění panelu. To bylo způsobeno hustou oblačností. Tuto skutečnost potvrzují naměřené hodnoty dešťovým senzorem, který v době téměř nulového výkonu solárního panelu naměřil až 3mm srážek na  $m^2$  za hodinu, které jsou zobrazeny na obrázku Obrázek 6.3.



Obrázek 6.3 Graf dešťových srážek z chytré lavičky ČZU ze dne 16.4.2018

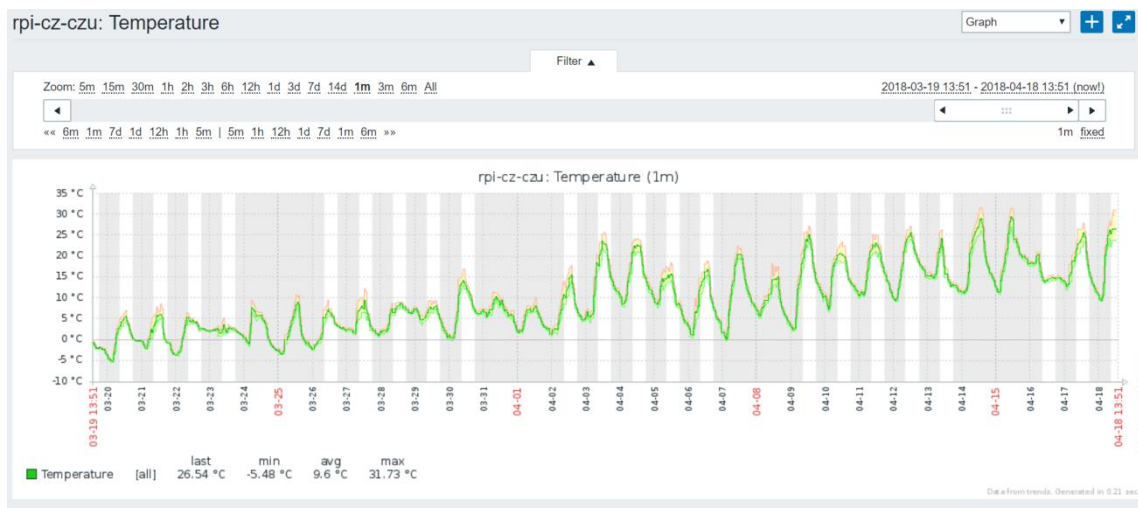
Další možností zobrazení dat je sloučení různých naměřených hodnot do jednoho grafu. Vzhledem k měření napětí dvěma prvky chytré lavičky, které byly zmíněné v kapitolách 3.4 a 3.5, dokážeme jednoduše tyto naměřené hodnoty porovnávat. Porovnání naměřených hodnot jednotlivými prvky je zobrazeno na následujícím obrázku Obrázek 6.4 ze stejného časového okamžiku, jako je pořízen obrázek Obrázek 6.2



Obrázek 6.4 Graf napětí na výstupu regulátoru ze dvou měření chytré lavičky ČZU v intervalu 2 dny

Z grafu je zřejmý stejný trend průběhu naměřených hodnot. Hodnoty se však liší, a to tak, že se zvyšujícím se napětím za solárním regulátorem se rozdíl mezi senzorem INA219 (zelený průběh) a Mikrotikem (červený průběh) zvyšuje. V případě hodnot napětí v minimu k rozdílným měřením téměř nedochází. Z grafů je také zřejmé, že Mikrotik nemá stejnou citlivost jako senzor INA219, která je viditelná například při měření napětí v nočních hodinách, kdy INA219 měří lineárnější průběh poklesu napětí oproti Mikrotiku, který měří schodovitý průběh poklesu. Rozdíl v měření je způsobený měřením vůči zemi INA219. Ta by měla být společná pro celý obvod. Senzor se však nachází za měničem 24/5V, čímž může být způsobena chyba v měření. Z měření napětí jsou pro nás ale stále nejdůležitější údaje o minimálních hodnotách, proto je rozdíl v měření maximálního napětí nepodstatný.

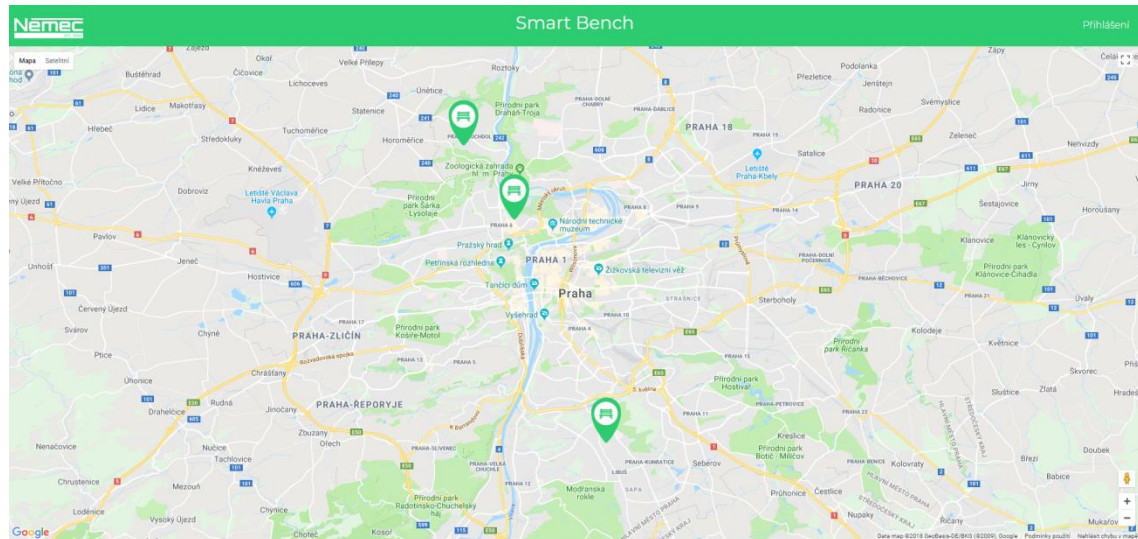
Jako poslední příklad je na obrázku Obrázek 6.5 vidět graf průběhu teploty. Tento průběh je v období od 19.3.2018 do 18.4.2018. Na průběhu je vidět postupné zvyšování teploty v průběhu jarního období. Tyto hodnoty jsou měřené na slunci, proto se liší od naměřených hodnot z veřejně dostupných meteorologických stanic.



Obrázek 6.5 Graf průběhu teploty u chytré lavičky ČZU v průběhu 1 měsíce

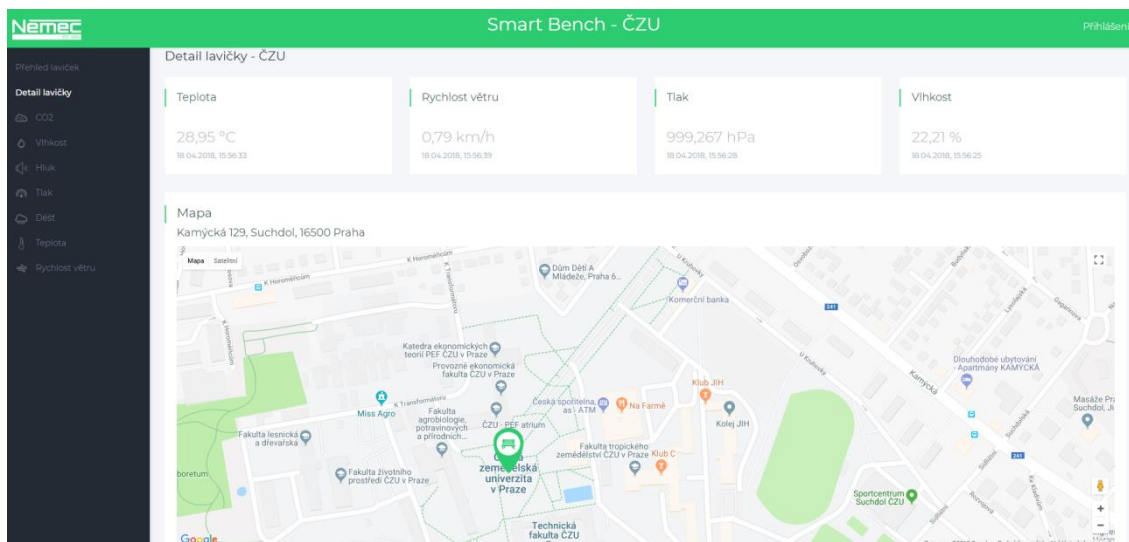
## 6.2 Webová aplikace

Webová aplikace je na rozdíl od Zabbixového serveru určena pro používání veřejností. Aplikace je veřejně dostupná na webových stránkách <https://smartbench.nemec.eu/>. Tato aplikace je vytvořená na základě požadavků pana Němce. Aplikace začíná úvodní stranou, na které je zobrazení poloh chytrých laviček na mapě (Obrázek 6.6).



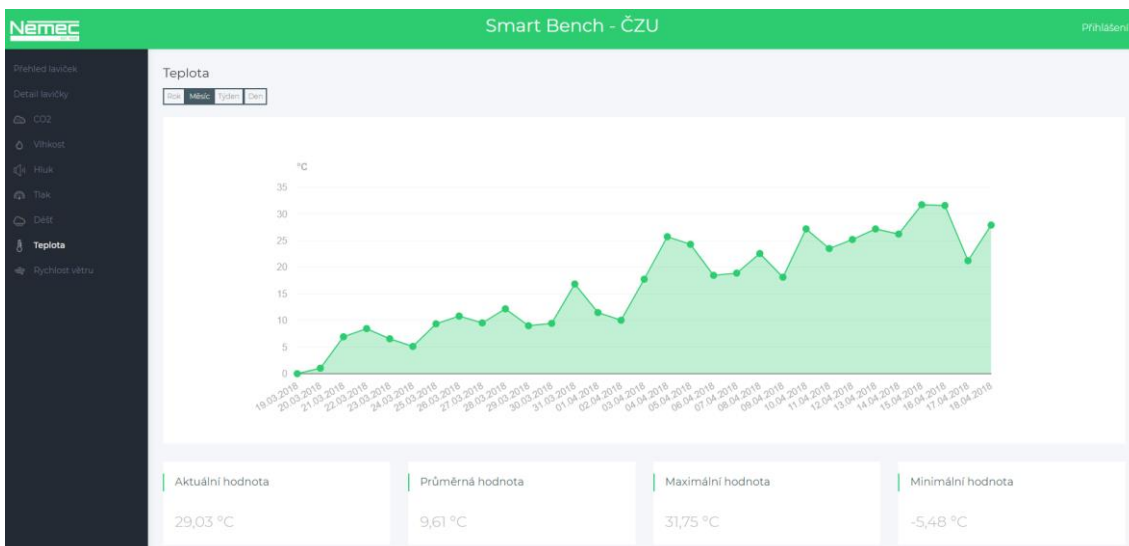
Obrázek 6.6 Úvodní stránka webové aplikace chytrých laviček

Po rozkliknutí dané lavičky na mapě se zobrazí základní detail lavičky. Detail lavičky je zobrazen na obrázku Obrázek 6.7.



Obrázek 6.7 Detail chytré lavičky ČZU ve webové aplikaci

Na detailu se zobrazí základní údaje o aktuální teplotě v místě chytré lavičky, rychlosti větru, tlaku a vlhkosti. Dále je přiblížený detail polohy na mapě s adresou. Na levé straně se pak nachází menu, ve kterém si může kdokoli zjistit meteorologické údaje. V současné době se pracuje na zaimplementování okna s počtem volných USB zásuvek, které jsou na lavičce instalovány. Tato část však zatím není hotová. Po výběru veličiny, kterou chce zákazník zobrazit, se dostane na zobrazení hodnot v různých časových rozpětích. Pro příklad je na obrázku Obrázek 6.8 zobrazení teploty.



Obrázek 6.8 Zobrazení teploty chytré lavičky ČZU po dobu 1 měsíce

Hodnoty teploty jsou zobrazeny v několika možnostech. Hlavní je graf vycházející z hodnot naměřených lavičkou. Následně jsou zobrazeny maximální, minimální, průměrná a aktuální teplota v daném časovém úseku. Časové úseky jsou předem definované na zobrazení roku, měsíce, týdne a dne. Při každém zobrazení se graf vykresluje na základě průměrování hodnot v dané časové periodě. Z toho důvodu dochází ke zkreslení vývoje grafu na rozdíl od zobrazení serverem Zabbix. Pro uživatele je to jednodušší způsob, jak zjistit trend vývoje dané sledované veličiny. Pokud graf na obrázku Obrázek 6.8 porovnáme s grafem na obrázku Obrázek 6.5 dojdeme k závěru, že trend grafu je dodržen a graf ve webové aplikaci tak odpovídá naměřeným hodnotám.

# ZÁVĚR

Výsledkem celé bakalářské práce jsou funkční chytré lavičky. Tyto lavičky se podrobují stálému sledování v reálném provozu, ve kterém se zjišťují případné nedostatky, chyby a především doba bezchybného provozu celé lavičky bez zásahu zvenčí.

Na základě požadavků se tak vytvořil návrh, ze kterého se dále postupovalo k zpracování projektu chytré lavičky. Při vytváření prototypu a jeho následném testování bylo možné dojít k ucelenému souboru prvků, které jsou potřebné pro správné fungování chytré lavičky.

Po vytvoření plně funkční chytré lavičky se tak až doposud provádějí další možné unifikace použitých komponentů a zjednodušování výrobních a také servisních procesů. Do lavičky jsou tak postupně instalována co nejjednodušší konektorová spojení s dostatečnou úrovní krytí proti opotřebení a vlhkosti. Dalšími postupy jsou pak zmenšování desek plošných spojů.

Při stavbě a zpracování se vyskytlo mnoho problémů, jako například špatně zvolené senzory, se špatnými komunikačními sběrnicemi, které byly vyřešeny nalezením funkčních senzorů atd. I přes tyto problémy a chyby během celého procesu vývoje se však povedlo dostat ke zdárnému konci, na kterém stojí fungující chytré lavičky.

Náročnost samotného projektu spočívala především v časovém nedostatku. Na vyhotovení funkčního prototypu bylo potřeba tři měsíců. Potřebný čas na vyhotovení tohoto prototypu respektive konečného produktu byl prakticky nulový. Proto byla v určitých částech procesu vývoje a výroby používána metoda pokusu a omylu.

Dnes je již ale možné se na tuto chytrou lavičku posadit a využít možnosti dobítí mobilního telefonu, příjemného odpočinku díky kaskádové zahradě osazené na lavičce. Dále pak lavička umožňuje připojení k internetové síti zdarma a zjištění aktuálních či dřívějších informací o meteorologických podmínkách v místě lavičky prostřednictvím webové aplikace.

# LITERATURA

- [1] DUDÁČEK, K. *Sériová rozhraní SPI, Microwire, I2C a CAN*. 2002. ZCU. [http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova\\_rozhrani.pdf](http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova_rozhrani.pdf)
- [2] BOSCH SENSORTEC. *BME280 Combined humidity and pressure sensor: BME280: Final data sheet* [online]. 2015 [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: [https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BME280\\_DS001-10.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BME280_DS001-10.pdf)
- [3] AMS AG. *CCS811 Ultra-Low Power Digital Gas Sensor for Monitoring Indoor Air Quality*. [v1-04]. 2018, 34 s. Dostupné také z: <http://ams.com/eng/content/download/951091/2269479/471718>
- [4] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. *ADS111x Ultra-Small, Low-Power, I2C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADCs With Internal Reference, Oscillator, and Programmable Comparator*. SBAS444D. 2009, 53 s. Dostupné také z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf>
- [5] Texas Instruments, Incorporated [SBOS448,G]. *INA219 Zero-Drift, Bidirectional Current/Power Monitor With I2C Interface datasheet (Rev. G)* [online]. 2017 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina219.pdf>
- [6] WAAREE Energies Ltd. *WS-40 to WS-95 ARKA SERIES* [online]. 2015 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: [http://www.waaree.com/documents/Arka\\_Series.pdf](http://www.waaree.com/documents/Arka_Series.pdf)
- [7] *Modules and Arrays Introduction: Module Circuit Design* [online]. 2017 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <http://pveducation.org/pvcdrom/modules/module-circuit-design>
- [8] Westinghouse. *WA12-65: (12V65Ah)* [online]. [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.540-528.2.pdf>
- [9] LHOON. VRLA battery. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 2006 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/VRLA\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/VRLA_battery)
- [10] Odstředivé čerpadlo 12-24V CP3200 [online]. [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <http://eshop.homesolar.cz/9/323/odstredive-cerpadlo-12-24v-cp3200.html>
- [11] rs-components. *Raspberry Pi 3 Model B* [online]. 2016 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/14ba/0900766b814ba5fd.pdf>
- [12] farnell.com. *Raspberry Pi 3 Model B* [online]. 2016 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: [https://www.terraelectronica.ru/pdf/show?pdf\\_file=%252Fds%252Fpdf%252FT%252FTechicRP3.pdf](https://www.terraelectronica.ru/pdf/show?pdf_file=%252Fds%252Fpdf%252FT%252FTechicRP3.pdf)
- [13] MikroTik. *RB912* [online]. 2017 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <https://i.mt.lv/routerboard/files/RB912-171016104518.pdf>
- [14] Huawei. *ME909u-521 Mini PCIe* [online]. 2015 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: <http://consumer.huawei.com/solutions/m2m-solutions/en/products/tech-specs/me909u-521mini-pcie-en.htm>

- [15] *Fotovoltaické autonomní systémy* [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <http://www.jrpsolar.cz/fotovoltaicke-autonomni-systemy/>
- [16] ELECFreaks. *Ultrasonic Ranging Module HC - SR04* [online]. 2011 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>
- [17] LandStar 陆之星 太阳能控制器. *Solar charge controller* [online]. 2013, 2014 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.522-078.1.pdf>
- [18] <https://cascadegarden.nemec.eu/smart-bench>