

ROČNÍKOVÁ PRÁCE

**Automatický skleník**

Petr Štourač

Brno 2020

**ROČNÍKOVÁ PRÁCE**

**AUTOMATICKÝ SKLENÍK**

**AUTOMATIC GREENHOUSE**

**AUTOR** Petr Štourač

**ŠKOLA** Střední průmyslová škola a Vyšší  
odborná škola Brno, Sokolská,  
příspěvková organizace

**KRAJ** Jihomoravský

**VEDOUCÍ PRÁCE** Mgr. David Vaculík, Ph.D.

**Brno 2020**

## Anotace

Zahradničení je dnes naprosto běžnou zájmovou činností. Mnoho lidí mající takovou zálibu je ovšem velmi časově vytížených. Kromě práce se musí starat mnohdy i o rodinu a na péči o rostliny jim často jednoduše nezbývá čas. Jedním z těchto lidí je i můj táta, který mě inspiroval k vytvoření PROTOPlantu – systému pro snadnou a levnou automatizaci skleníku.

Cílem práce je vytvořit univerzální a dostupný systém pro automatizaci skleníku, který by usnadnil péči o rostliny časově vytíženým lidem.

## Klíčová slova

automatizace skleníku, ESP32, PROTOPlant, automatizace, open-source hardware, open-source software

## Annotation

Gardening is a very common hobby today. However, many people who like this activity doesn't have enough time for it. Beside work, they have to take care of their families and after this, they don't have any time to take care of plants. My dad is exactly this kind of man. And that inspired me to create PROTOPlant – system for easy and cheap greenhouse automation.

Goal of this thesis is to create universal and available system for greenhouse automation, that will make it easier for these people to take care of their plants.

## Keywords

greenhouse automation, ESP32, PROTOPlant, automation, open-source hardware, open-source software

# Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Úvod</b>  | <b>7</b>  |
| <b>1 Motivace</b>                                      | <b>9</b>  |
| <b>2 Konkurence</b>                                    | <b>10</b> |
| 2.1 Průmyslová řešení . . . . .                        | 10        |
| 2.2 „Kutilská“, neboli amatérská řešení . . . . .      | 11        |
| 2.2.1 Zavlažovací systém skleníku . . . . .            | 11        |
| 2.2.2 RaspberryPI greenhouse . . . . .                 | 11        |
| 2.3 Srovnání s PROTOPlantem . . . . .                  | 12        |
| 2.4 Sumarizace . . . . .                               | 13        |
| <b>3 Funkce PROTOPlantu, aneb „Co to všechno umí?“</b> | <b>14</b> |
| 3.1 Funkce řídící jednotky . . . . .                   | 15        |
| 3.2 Funkce dalších modulů . . . . .                    | 16        |
| <b>4 Jednotlivé moduly PROTOPlantu</b>                 | <b>17</b> |
| 4.1 Řídící jednotka (PPCU) . . . . .                   | 17        |
| 4.2 Přídavné moduly PROTOPlantu . . . . .              | 17        |
| 4.2.1 Komunikační a napájecí modul – CIPM . . . . .    | 19        |
| 4.2.2 Modul měření vlhkosti půdy – SHSM . . . . .      | 19        |
| 4.2.3 Modul rozšíření senzoriky – SEM . . . . .        | 19        |
| 4.2.4 Modul řízení čerpadel – PCM . . . . .            | 20        |
| 4.2.5 Modul vzdáleného ovládání – RCM . . . . .        | 20        |

|                                      |  |           |
|--------------------------------------|--|-----------|
| 4.2.6                                | Uložení řídící elektroniky . . . . .                   | 20        |
| <b>5</b>                             | <b>Rostliny, parametry a dělení skleníku na sekce</b>  | <b>22</b> |
| 5.1                                  | Přednastavení a režimy . . . . .                       | 23        |
| <b>6</b>                             | <b>Vývoj</b>   | <b>24</b> |
| 6.1                                  | PROTOPPlant 1.0 až 4.0 (tzv. legacy verze) . . . . .   | 24        |
| 6.1.1                                | Verze 1.0 . . . . .                                    | 24        |
| 6.1.2                                | Verze 2.0 . . . . .                                    | 25        |
| 6.1.3                                | Verze 3.0 a další . . . . .                            | 25        |
| 6.2                                  | PROTOPPlant verze 5.0 . . . . .                        | 26        |
| <b>7</b>                             | <b>Dlouhodobé testování</b>                            | <b>27</b> |
| 7.1                                  | Testování napájení solární energií . . . . .           | 27        |
| 7.2                                  | Průběh testů . . . . .                                 | 28        |
| 7.3                                  | Výsledky testů . . . . .                               | 28        |
| <b>8</b>                             | <b>Úspora energií dosažená s pomocí PROTOPPlantu</b>   | <b>29</b> |
| <b>9</b>                             | <b>Dostupnost, distribuce a využití PROTOPPlantu</b>   | <b>30</b> |
| 9.1                                  | Případové studie . . . . .                             | 31        |
| 9.1.1                                | Malý skleník s užitkovými rostlinami . . . . .         | 31        |
| 9.1.2                                | Středně velký skleník s okrasnými rostlinami . . . . . | 32        |
| 9.2                                  | Využití PROTOPPlantu . . . . .                         | 32        |
| <b>Závěr</b>                         |  | <b>34</b> |
| <b>Přílohy</b>                       |  | <b>36</b> |
| <b>A Elektronika a tištěné spoje</b> |  | <b>36</b> |
| A.1                                  | PPMB32 – Základní deska . . . . .                      | 36        |
| A.2                                  | PPSB – Desky se senzory teploty a vlhkosti . . . . .   | 39        |
| A.3                                  | Datasheet DPS PROTOPPlantu . . . . .                   | 40        |
| A.4                                  | Senzorika . . . . .                                    | 40        |

|                   |  |           |
|-------------------|--|-----------|
| A.4.1             | DS18B20 . . . . .  | 40        |
| A.4.2             | Senzory půdní vlhkosti . . . . .                             | 41        |
| A.4.3             | DHT22 . . . . .  | 41        |
| <b>B</b>          | <b>Software základní desky</b>                               | <b>42</b> |
| B.1               | Sdílené knihovny . . . . .                                   | 42        |
| B.2               | Datové sběrnice . . . . .                                    | 43        |
| B.3               | Komunikace mezi řídící jednotkou a jednotlivými moduly . . . | 45        |
| B.4               | Bezdrátová komunikace . . . . .                              | 45        |
| B.5               | Kabelová komunikace a RS-485 . . . . .                       | 45        |
| <b>C</b>          | <b>Software dalších modulů</b>                               | <b>46</b> |
| C.1               | Zvláštní stavy . . . . .                                     | 46        |
| <b>D</b>          | <b>Obrazové přílohy</b>                                      | <b>47</b> |
| <b>Literatura</b> |  | <b>55</b> |
|                   | Seznam obrázků . . . . .                                     | 56        |
|                   | Seznam tabulek . . . . .                                     | 57        |

# Úvod

Pěstování skleníkových rostlin je dnes naprosto běžnou zájmovou činností. Ať již člověk pěstuje zeleninu, orchideje, nebo technické plodiny, vždy dojde k závěru, že na ně mnohdy nemá čas. Když přijde domů z práce, musí se postarat o rodinu, připadně dodělat jiné činnosti a na rostlinky již jednoduše čas nezbývá. Jedním z těchto lidí je i můj táta. Velmi rád pěstuje orchideje, které má ve skleníku. Ovšem postupem času na ně má z pracovních důvodů stále méně a méně času. Proto mne napadlo, že lidí, kteří na tom jsou tak, jako on, je jistě mnoho. To mne inspirovalo k vytvoření PROTOPlantu – systému pro levnou a snadnou automatizaci skleníku dostupného každému.

Cílem této práce je vytvořit univerzální a dostupný systém pro automatizaci skleníku, který by usnadnil péči o rostlinky časově vytíženým lidem.

Systémy pro takovouto automatizaci dnes existují, jsou ovšem určeny primárně pro velkozemědělství, nikoli pro člověka, který ve skleníku pěstuje několik druhů zeleniny pro sebe, aby ji nemusel kupovat v obchodě nebo který vlastní menší skleník s okrasnými rostlinami.

Samozřejmě, na internetu existuje spousta návodů, jak si nějaký takový „systém“ vyrobit za pomoci Arduina, nepájivého pole a „pár“ drátků. Takové řešení se mi ovšem nezdá příliš univerzální a pracující lidé nemají mnohdy čas si takto hrát. Zároveň pro sestavení něčeho takového potřebují mít určité znalosti v elektrotechnice a programování.

Kromě toho jsem chtěl, aby bylo možno systém v budoucnu připojit k internetu a sledovat jej tak například z dovolené.

Při vytváření práce jsem si dal za cíl, aby byl systém:

- kompletně open-source
- levný
- modulární
- snadný na ovládání
- univerzální

Dalším z cílů tohoto projektu je úspora energií (elektřina, voda), které lze díky automatizaci dosáhnout.

# Kapitola 1

## Motivace

Jak již zmiňuji v úvodu, k nápadu vytvořit PROTOPlant mě dovedl můj otec, který má zálibu v pěstování orchidejí. Má na ně i velký skleník, na který ovšem z pracovních důvodů nemá příliš času. Napadlo mne tedy, že je jistě mnoho dalších lidí, kteří jsou na tom s časem velmi podobně, jako můj otec.

Nejdříve jsem přemýšlel pouze nad regulací teploty otevíráním oken. Později přibylo i zavlažování a nakonec jsem se rozhodl, že z tohoto nápadu udělám komplexní systém i s připojením k internetu. Díky tomu by bylo možné sledovat stav skleníku, nebo měnit nastavení systému jednoduše přes web, nebo mobilní aplikaci například z práce, nebo z dovolené.

V minulém roce jsem na systému začal pracovat intenzivně a účastnil se s ním i loňského ročníku SOČ, kde jsem na celostátní přehlídce dosáhl na šesté místo v oboru Elektrotechnika. To mě motivovalo na něm dále pracovat a rozvíjet jej.

# Kapitola 2

## Konkurence

Potenciální konkurenci PROTOPlantu jsem rozdělil do dvou kategorií:

- průmyslová řešení
- podomácku vytvořená „kutilská“ řešení

### 2.1 Průmyslová řešení

Systémy spadající do této kategorie vyznačují se především tím, že jsou:

- určena primárně pro velkozemědělství
- drahá
- vyráběna na zakázku (nejsou tedy příliš univerzální)
- nedostupná pro běžné zákazníky

Tato řešení jsou většinou řízena pomocí PLC, tedy průmyslových kontrolérů, která jsou povětšinou velmi drahá a náročná na programování. Dodávají je společnosti, které se touto problematikou přímo zabývají a systémy dodávají na zakázku velkým podnikům.

## **2.2 „Kutilská“, neboli amatérská řešení**

Jsou vytvořena lidmi, kteří elektrotechnice rozumí a mají čas na to si s elektronikou takto hrát. Taková řešení většinou jsou:

- neuniverzální, lidé si je vytváří přímo pro sebe
- časově nákladná na výrobu
- nevhodná pro osoby, které nemají zkušenosti v elektrotechnice a programování

Lze je sice nazvat levnými, ovšem na úkor jejich funkčnosti.

Pro konkrétní porovnání mohu uvést dva příklady:

### **2.2.1 Zavlažovací systém skleníku**

Tento systém [2] založený na Arduinu je dle tvrzení autora schopen:

- otevírat okna
- zavlažovat rostliny
- sledovat hladinu vody v nádrži

Toto řešení funguje, ovšem je určeno pro malý „model“ skleníku a pro běžně velký zahradní skleník by se adaptovalo jen velmi těžce. Zároveň vzhledem k použitému řídícímu hardwaru zde není možnost připojení zařízení k internetu.

### **2.2.2 RaspberryPI greenhouse**

Projekt založený na RaspberryPI [9]. Dokáže měřit teplotu, vlhkost, s automaticky zavlažovat rostliny a otevírat okna. Nevýhodu opět tvoří fakt, že je řešení navrženo pro menší skleníky (např. 2 x 2 metry, ovšem nikoli již pro „model“, jako v předchozím případě). Zároveň není vodotěsné.

## 2.3 Srovnání s PROTOPlantem

Pro srovnání PROTOPlantu a těchto dvou kategorií jsem sestavil tabulku 2.1.

|                      | Průmyslová řešení   | „Kutilská“ řešení     | PROTOPlant  |
|----------------------|---------------------|-----------------------|---|
| <b>Dodání</b>        | Výroba na zakázku   | „Vyrob si sám“        | Možnost sestavení přímo doma, nebo dodání <b>hotového</b> systému |
| <b>Cena</b>          | Drahá (> 10 000 Kč) | Levná (< 10 000 Kč)   | Kompromis cena – výkon (již od 2 500 Kč)                          |
| <b>Ovládání</b>      | Komplexní           | Jednoduché (většinou) | Jednoduché  |
| <b>Konektivita</b>   | Většinou ethernet   | Často Wi-Fi           | Wi-Fi, Bluetooth, možnost přidání podpory Ethernetu               |
| <b>Řízení</b>        | PLC                 | Většinou Arduino      | ESP32   |
| <b>Modularita</b>    | Ano                 | Ne                    | Ano   |
| <b>Univerzálnost</b> | Ano                 | Ne                    | Ano   |
| <b>Open-source</b>   | Ne                  | Většinou ano          | Ano   |

Tabulka 2.1: Tabulka srovnání PROTOPlantu a jiných řešení.

**Dodání** – udává způsoby, jak si lidé mohou dané řešení opatřit. „Kutilská“ řešení nejsou k dostání jako již hotový produkt, zatímco PROTOPlant **ano**. Průmyslová řešení jsou většinou již k dostání jako hotové produkty.

**Cena** – srovnání cen jednotlivých řešení. Průmyslová řešení jsou komplexní, ovšem velmi drahá. „Kutilská“ jsou pravým opakem, ovšem nemají tolik funkcí, jako PROTOPlant, nebo řešení průmyslová. PROTOPlant má vše, co běžný majitel skleníku potřebuje, za rozumnou cenu.

**Ovládání** – složitost/jednoduchost ovládání daného systému. PROTOPlant je navržen tak, aby jeho ovládání zvládnul každý. Naopak průmyslová řešení mnohdy vyžadují proškolení personálu. Řešení „kutilská“ dokáže mnohdy ovládat pouze člověk, který si dané řešení navrhnu.

**Konektivita** – zda systém disponuje možností propojení s okolním světem. Průmyslovým standardem je dnes ethernet, tudíž většina průmyslových řešení je vybavena právě jím. PROTOPlant nativně podporuje Wi-Fi a Bluetooth

a je možno jej rozšířit o podporu Ethernetu. „Kutilská“ řešení jsou většinou vybavena Wi-Fi.

**Řízení** – řídící jednotka daného řešení. PLC jsou velmi drahá a jejich programování vyžaduje školení. Arduino je levné, ovšem jeho funkce jsou velmi omezené. ESP32 je výkonný procesor za rozumnou cenu, který nativně podporuje Wi-Fi a Bluetooth.

## 2.4 Sumarizace

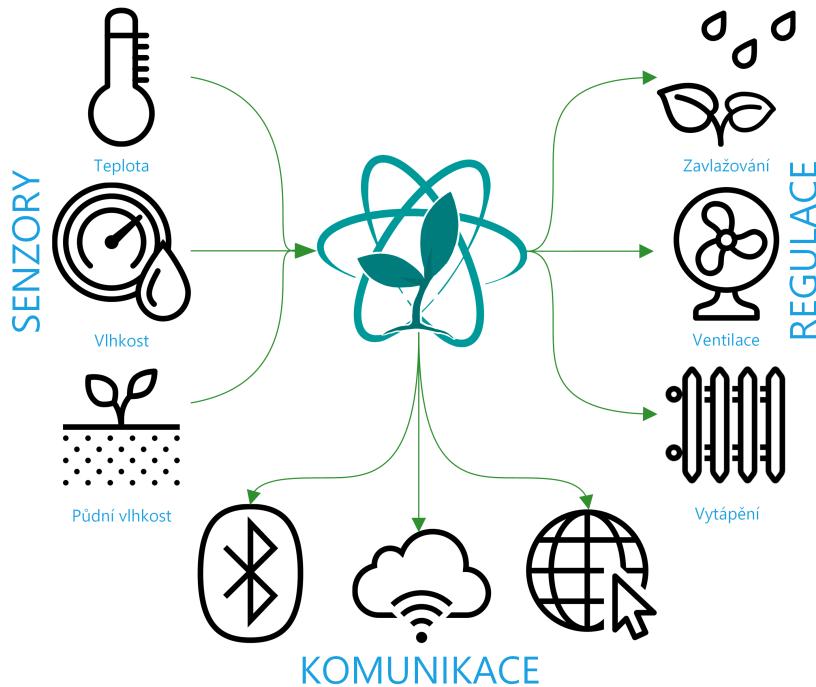
Nabídka řešení v tomto oboru je velmi chudá. Na jedné straně stojí průmyslová řešení, která jsou drahá a dodávají se primárně do skleníků velkých zemědělských firem. Na opačném břehu jsou řešení amatérská. Ta jsou ovšem buďto naprosto nepoužitelná v běžně velkém skleníku (primárně je uživatelé vyrábí pro malá pařeniště), nebo neuniverzální.

# Kapitola 3

## Funkce PROTOPlantu, aneb „Co to všechno umí?“

V této kapitole se pokusím rozebrat funkce řídící jednotky a dalších přídavných modulů. Jednotlivé funkce jsou přehledně vyobrazeny na schématech 3.1 a D.3. Mezi nejdůležitější funkce PROTOPlantu patří:

- možnost řízení ventilace pomocí otevírání oken, nebo ventilátorů
- řízení zavlažování
- měření teploty a vlhkosti vzduchu
- měření vlhkosti půdy
- možnost vytápění
- podpora Wi-Fi – možnost sledování stavu skleníku přes internet, nebo pomocí mobilní aplikace (funkce zatím ve vývoji)
- možnost přidání funkce řízení osvětlení



Obrázek 3.1: Zjednodušený diagram funkcí PROTOPlantu.

### 3.1 Funkce řídící jednotky

Řídící jednotka, neboli PPCU je zároveň i základním modulem celého systému. Sama o sobě je schopna vykonávat spoustu funkcí. Její schopnosti se pak dají ještě více rozšířit dalšími moduly. Mezi nejdůležitější funkce patří:

- dva víceúčelové výstupy pro připojení např. čerpadel, aktuatorů ovládajících okna, ventilátorů a jiných spotřebičů
- možnost připojení až 30-ti senzorů pro měření teploty (viz kapitola A.4.1)
- 6 volných víceúčelových pinů pro připojení jakýchkoliv dalších periferií (senzory půdní vlhkosti, řízení osvětlení atp.)
- možnost připojení k internetu
- LCD displej pro zobrazování naměřených hodnot

## 3.2 Funkce dalších modulů

Jak jsem již zmínil, s pomocí přídavných modulů se dají funkce PPCU ještě více rozšířit. Nutno ovšem poznamenat, že některé moduly jsou stále ve vývoji, jiné zatím ve stádiu konceptu.

**Modul RCM** (viz kapitola 4.2.5) přidává možnost PROTOPlant vzdáleně ovládat a měnit nastavení z pohodlí domova. Díky tomu není potřeba pro změnu nastavení systému opouštět obývací pokoj a chodit do skleníku.

**Modul PCM** (viz kapitola 4.2.4) je určen pro přidání dalších výstupů pro připojení čerpadel. Díky tomu je možno zavlažovat každou část skleníku nezávisle na sobě použitím samostatných čerpadel. Zároveň je díky němu možno kontrolovat hladinu vody v nádrži (pokud tedy skleník nějakou má).

**Modul SEM** (viz kapitola 4.2.3) slouží k připojení dalších senzorů, respektive rozšíření pokrytí senzorkou ve větších sklenících. V menších sklenících je PPCU schopna svojí senzorkou dostatečně pokrýt celý prostor.

**Modul SHSM** (viz kapitola 4.2.2) přidává možnost připojení senzorů pro měření vlhkosti půdy na několika místech současně.

# Kapitola 4

## Jednotlivé moduly PROTOPlantu

PROTOPlant je modulární systém – není tedy jedním velkým celkem se všemi funkcemi přímo zaintegrovanými. V této kapitole se zaměřím na podrobný popis jednotlivých modulů.

### 4.1 Řídící jednotka (PPCU)

PPCU, neboli řídící jednotka je hlavním modulem celého systému. Samotné PPCU tvoří elektroinstalační box s krytím IP65. Na přední části se nachází ovládací panel s LCD displejem a ovládacími tlačítky. Z bočních stran jsou instalovány vodotěsné průchody pro provlečení kabelů.

Uvnitř se nachází základní deska (viz kapitola A.1) a zdroj napájení.

### 4.2 Přídavné moduly PROTOPlantu

Kromě samotné řídící elektroniky je možno PROTOPlant rozšířit i o přídavné moduly. Na vývoji těchto modulů se zatím stále pracuje. Těchto modulů existuje hned několik:

- Komunikační a napájecí modul (CIPM – Communication Interface and

Power Module – modul potřebný pro drátové připojení ostatních modulů, viz kapitola 4.2.1)

- Napájecí rozdělovač (PSpl – Power Splitter)
- Modul určený pro měření půdní vlhkosti (SHSM – Soil Humidity Sensorics Module – modul vybavený senzory pro měření vlhkosti půdy, viz kapitola 4.2.2)
- Modul rozšíření pokrytí senzorikou (SEM – Sensorics Expansion Module – modul pro zvýšení počtu senzorů připojených k PROTOPlantu, viz kapitola 4.2.3)
- Modul ovládání čerpadel (PCM – Pump Control Module – modul pro sledování hladiny vody v nádrži a ovládání čerpadla, viz kapitola 4.2.4)
- Modul vzdáleného ovládání (RCM – Remote Control Module – modul pro připojení vzdáleného ovládacího panelu, viz kapitola 4.2.5)

Schéma zapojení a funkce jednotlivých modulů naleznete na obrázek D.3.

**Napájení přídavných modulů** je prováděno ve čtyřech režimech.

- napájení přímo z řídící jednotky
- napájení z externího zdroje přes CIPM
- napájení přes PSpl
- napájení každého modulu odděleně

**Napájení přímo z řídící jednotky** je možno použít pouze tehdy, když je připojen maximálně jeden modul a to z důvodu, aby bylo zabráněno podpětí celého systému. Modul je takto připojen přímo k napájecímu okruhu A řídící jednotky (viz kapitola A.1).

**Použití externího zdroje připojeného k CIPM** je použitelné v případě, kdy uživatel upřednostňuje kabelovou komunikaci mezi moduly a řídící jednotkou. Při napájení v tomto režimu je počet připojitelných modulů omezen pouze výkonem zdroje napájení připojeného k CIPM. Na vstupní napájecí svorkovnici je připojen externí zdroj. Kromě dvou kabelů pro komunikaci jsou na výstupu připojeny i napájecí kably od jednotlivých modulů.

**Napájení přes PSpl** funguje na velmi podobném principu, jako předchozí varianta. K PSpl je na vstupní svorkovnici připojen externí zdroj napájení. Na výstupních svorkovnicích jsou připojeny napájecí kably jednotlivých modulů. Tato metoda je určena primárně pro bezdrátovou komunikaci mezi řídící jednotkou a moduly.

**Napájení každého modulu odděleně** je nejjednodušší metoda napájení. Každý z modulů je připojen vlastním kabelem přímo k napájecímu zdroji. Primárně je určena pro bezdrátovou komunikaci mezi jednotlivými moduly.

#### 4.2.1 Komunikační a napájecí modul – CIPM

Tento modul funguje jako propojovací uzel mezi řídící jednotkou a vsemi přídavnými moduly. Dále slouží pro připojení externího napájení pro jednotlivé další moduly (viz kapitola 4.2).

#### 4.2.2 Modul měření vlhkosti půdy – SHSM

Modul určený pro připojení senzorů měřících vlhkost půdy. Tento modul je zatím stále ve stádiu konceptu.

#### 4.2.3 Modul rozšíření senzoriky – SEM

Modul určený pro zvýšení pokrytí prostoru skleníku přidáním dalších environmentálních senzorů. Pro malé, případně středně velké skleníky není tento modul potřebný. Ve velkých sklenících již své uplatnění najde vzhledem k tomu,

že je vybaven vlastní řídící elektronikou a jediným omezením je dosah zvoleného způsobu komunikace s řídící jednotkou.

#### 4.2.4 Modul řízení čerpadel – PCM

Valná většina zahrádkářů má pro svůj skleník i nádrž na vodu. Tento modul je určen pro sledování hladiny vody v ní a případné spínání čerpadla, které má za úkol v nádrži vodu doplňovat.

#### 4.2.5 Modul vzdáleného ovládání – RCM

Byl vytvořen pro zjednodušení nastavení a ovládání PROTOPlantu. Skládá se ze dvou částí. Komunikační části, kterou lze připojit k základní desce PROTOPlantu a ovládacímu panelu. Uživatel ovládacího panelu nainstaluje na zeď přímo v domě a může díky němu vzdáleně ovládat celý PROTOPlant přímo z pohodlí domova.

#### 4.2.6 Uložení řídící elektroniky

Řídící elektronika (základní deska, řadiče, kabeláž atp.) je uložena v průmyslových elektroinstalačních boxech s krytím IP65 (*úplná prachotěsnost a odolnost proti tryskající vodě* [6]). Vyvedení kabelů z těchto boxů je řešeno s pomocí kabelových průchodek se stejnou úrovní krytí.

Upevnění řídící elektroniky do těchto boxů je řešena díly vytisknutými na 3D tiskárně z materiálu PET-G. Ten jsem zvolil pro jeho houževnatost a nehygrofilnost.

Konstrukci pro upevnění tvoří zpravidla 2 části:

- montážní deska
- kabelový unašeč

**Montážní deska** je největší částí celého držáku. Na spodní straně se nachází drážky pro správné umístění do boxu. Z jedné z bočních stran se nachází

drážky pro umístění kartuše se silikagelem. Ze strany směřující do volného prostoru boxu se nacházejí výstupky, které se zasunou do drážek v montážní desce pro zdroj. Na horní straně jsou umístěny otvory pro připevnění základní desky a drážky pro upevnění kabelových unašečů.

**Kabelové unašeče** jsou částí složenou z více menších dílů. Jejich úkolem je upevnění kabelů do větších svazků pro vyšší přehlednost.

# Kapitola 5

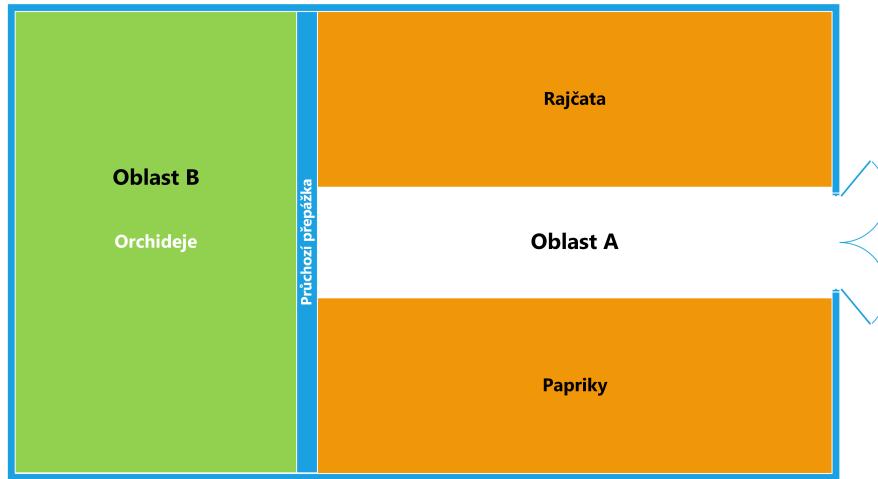
## Rostliny, parametry a dělení skleníku na sekce

Mluvíme-li o malém pěstiteli, který pěstuje např. zeleninu pro svoji obživu, málokdy se stává, že by měl ve skleníku jen jeden typ rostlin (resp. monokulturu). Ovšem vzhledem k tomu, že každý typ rostliny má odlišné podmínky pro jejich pěstování, není možné bez speciálních úprav skleníku je libovolně kombinovat. Díky PROTOPlantu je možno skleník rozdělit na zóny a pro každou nadefinovat vlastní parametry prostředí.

### **Uvedu příklad:**

Mám velký skleník, ve kterém chci pěstovat papriky, rajčata, ale zároveň chci mít ve skleníku sekci, do které mohu přes léto zavěsit několik orchidejí. Skleník tedy mohu rozdělit pomocí průchozí přepážky (závesná fólie např. z PVC) na dvě části, viz obrázek 5.1. V PROTOPlantu poté pouze nastavím, které senzory se nacházejí v které části. Aktuátory pro okna od každé sekce připojím k samostatným výstupům řídící jednotky (sekce A k výstupu č. 1, sekce B k výstupu č. 2). Díky tomu mohu parametry prostředí regulovat pro každou část samostatně. Pro zavlažování poté stačí jedno čerpadlo a dva elektrické ventily, které budou regulovat průtok vody do jednotlivých částí.

Zároveň je takto možné testovat, jaké parametry jsou pro dané rostliny



Obrázek 5.1: Rozdělení skleníku na dvě oblasti.

ideální a výsledky srovnat. Pro tento účel mohu rozdělit skleník na poloviny se stejným typem rostlin a pro každou polovinu nastavit různé parametry. Poté mohu velmi jednoduše sledovat výsledky.

## 5.1 Přednastavení a režimy

Do PROTOPlantu plánuji přidat několik přednastavených režimů pro parametry prostředí. Uživatel tedy zasadí například rajčata a v nastavení PROTOPlantu zvolí přednastavení „Rajčata“. PROTOPlant automaticky změní hodnoty tak, aby podmínky vyhovovaly pěstování rajčat. Pro zvolení nejlepších hodnot pro jednotlivá přednastavení plánuji navázat spolupráci s odborníky.

# Kapitola 6

## Vývoj

Za dobu vývoje PROTOPlantu prošel můj systém spoustou velkých změn. Vývoj byl započat začátkem roku 2018. Za tu dobu vyšlo již několik verzí softwaru i hardwaru.

### 6.1 PROTOPlant 1.0 až 4.0 (tzv. legacy verze)

Původní verze PROTOPlantu byly celkem 4 stabilní a několik vývojových. Tyto 4 stabilní verze jsou ve zkratce popsány níže.

#### 6.1.1 Verze 1.0

Nejstarší funkční verze PROTOPlantu, založená na Arduinu DUE. Jeho software tvořilo jedno, stále se opakující vlákno. Nevýhodou tohoto postupu bylo nepřesné časování některých úkonů způsobeném používáním blokujících operací. Tato verze byla pouze shluk kabelů, přes které byly k Arduinu připojeny jednotlivé moduly senzorů. Byla schopna pouze měřit teplotu a s pomocí relátek ovládat aktuátory, které následně otevíraly, nebo zavíraly okna. Inverze polarity napájení byla řešena použitím třech relé. Dvou, která křížově spínala kladný pól napájení aktuátorů a třetího, který připojoval zemnící vodič. Toto zapojení nebylo zcela ideální, vzhledem k nutnosti použití tří

relé a tedy i velkému úbytku napětí. Použité Arduino bohužel další vývoj nepřežilo.

### 6.1.2 Verze 2.0

Největší změnou oproti předchozí verzi byl přechod z Arduina na ESP32 devkitC. Software byl kompletně přepsán a blokující funkce odstraněny. Díky tomu běžel software mnohem plynuleji. Co se týče hardwaru, tato verze již používala první prototyp základní desky, který byl osazen na univerzálním tištěném spoji. Zároveň jsem přidal podporu LCD znakového displeje, na který se vypisovaly naměřené hodnoty ze senzorů a různé stavové hlášky. Během vývoje této verze jsem také systém začal nazývat PROTOPlant.

### 6.1.3 Verze 3.0 a další

Tato verze byla v minulém roce prezentována na okresním kole SOČ. Kromě několika prototypů základní desky, které se při jejím vývoji vystřídaly, došlo i k mnohým změnám ve funkci celého PROTOPlantu. Doposud používaná relé, kterými PROTOPlant spínal aktuátory, bylo nutno nahradit jiným řešením. Důvodem k tomu byl jejich příliš velký úbytek napětí, který způsoboval podpětí celé řídící elektroniky. Hledal jsem tedy způsob, jak vyřešit spínání aktuátorů tak, aby byl napěťový úbytek co nejmenší. Nakonec jsem objevil H-můstky VNH2SP30. Ty umožňují kromě regulace výstupního napětí velmi jednoduše obracet polaritu výstupů. Pro zjednodušení zapojení při testování jsem využíval Monster Moto Shield, na kterém jsou tato VNH osazena hned dvě. Proto mne napadlo využít druhé VNH jako víceúčelový výstup, ke kterému lze připojit čerpadlo, elektromagnetický ventil, případně jiná zařízení. V softwaru přibyla podpora tlačítek a menu zobrazované na LCD displeji, přes které se dalo měnit nastavení systému za chodu. Dále jsem PROTOPlant uzavřel do průmyslového elektroinstalačního boxu s krytím IP67. Do víka boxu jsem nainstaloval LCD displej a ovládací tlačítka. Fotografie prototypu verze 3.0 viz příloha D.7.

**Verze 3.1** byla další ze stabilních verzí zaměřená primárně na opravu softwarových chyb. Tuto verzi jsem v minulém roce prezentoval v krajském kole SOČ. Menu nastavení bylo přeloženo do češtiny a zrychlena navigace v něm. Dále jsem se zaměřil na větší objektivizaci celého kódu a zvýšení plynulosti běhu systému. Na ovládací panel jsem nainstaloval červený kryt s laserem gravírovanými popisky tlačítek viz fotografie D.5 a D.6.

**Verze 3.2** byla prezentována na loňské celostátní přehlídce. Až na menší změny v interní elektronice řídící jednotky neznamenala větší posun ve vývoji vůči verzi 3.1.

## 6.2 PROTOPlant verze 5.0

Právě vyvážená verze PROTOPlantu. Při pokračování dalšího vývoje verzemi 4.x jsem dospěl k závěru, že je na čase změnit způsob, jakým PROTOPlant funguje. Rozhodl jsem se tedy kompletně změnit software a přepsat jej celý od začátku.

Hardware se také dočkal velmi výrazných změn. Místo vývoje dalších prototypů základních desek jsem se rozhodl navrhnout vlastní tištěné spoje a nechat je vyrábět průmyslově. Dále jsem začal používat díly vytisknuté na 3D tiskárně (především obaly senzorových desek a úchyty pro elektroniku). Software jsem kompletně změnil tak, aby naplně využíval schopnosti vícejádrového procesoru ESP32.

# Kapitola 7

## Dlouhodobé testování

Již přibližně rok je PROTOPlant spuštěn v našem domácím skleníku s orchidejemi. Během této doby jsem na této jednotce testoval stabilitu a funkčnost celého systému. Zároveň jsem zde pravidelně aktualizoval software a s pomocí této testovací jednotky jsem zjišťoval chyby v softwaru a mohl je průběžně opravovat. Ke dni *10. 2. 2020* je aktuálně instalovanou verzí PROTOPlant v4.9.

### 7.1 Testování napájení solární energií

Jednotka PROTOPlantu v tomto skleníku je napájena čistě solární energií získávanou ze dvou solárních panelů instalovaných na střeše přilehlého zahradního domku. Přebytečná energie je ukládána do dvou olověných akumulátorů s napětím 12 VDC. Z nich je systém napájen v noci, nebo v počasí se špatnou viditelností.

Díky tomu je tato jednotka **naprosto nezávislá** na dodávce energie z elektrické sítě. Jednotka tedy běží i v případě výpadku energie a její náklady na energie jsou tedy **nulové**.

Zásobování vodou řeší sběr dešťové vody ze střechy nedalekého rodinného domu do nádrže instalované pod zemí vedle skleníku samotného.

## 7.2 Průběh testů

Za dobu fungování proběhlo několik testů v kratších i delších obdobích.

**Co se týče kratších testů**, jejich délka byla v řádech dní či týdnů. Tyto testy probíhaly většinou s cílem testování stability softwaru. V jejich průběhu mnohdy probíhaly různé opravy softwaru, případně nápravy případných hardwarových nedostatků.

**Dlouhodobé testy** probíhaly většinou s cílem otestovat přesnost senzorů, stabilitu systému či jeho energetickou náročnost. Předpokladem těchto testů bylo použití **stabilní verze softwaru**.

## 7.3 Výsledky testů

Provedené testy ukázaly, že PROTOPlant je schopen fungovat naprosto samostatně bez potřeby zásahu uživatele i po dobu několika měsíců (bereme-li v potaz pouze dlouhodobé testy viz výše).

# Kapitola 8

## Úspora energií dosažená s pomocí PROTOPlantu

Díky možnosti napájet PROTOPlant **kompletně s pomocí solární energie** lze ušetřit elektrickou energii. V noci jej lze napájet z baterií, do kterých se přebytková energie ze solárních panelů ukládá. Tento způsob napájení již dlouhou dobu testuji na našem domácím skleníku. O výsledcích se dočtete v kapitole 7.1.

O solárních panelech se obecně ví, že jejich počáteční náklady jsou poměrně vysoké, ovšem existují způsoby, jak ušetřit i v tomto ohledu. Existuje mnoho lidí, kteří prodávají solární panely z druhé ruky například ze zrušených solárních farem. Tyto panely sice mají nižší účinnost, ovšem je otestované, že PROTOPlant dokáží napájet bez problému. Společně s těmito panely se dají zakoupit i použité akumulátory (povětšinou NiCd FERAK). Z vlastní zkušenosti mohu potvrdit, že tyto akumulátory jsou ideální pro skladování energie získané pomocí solárních panelů.

Dále lze díky němu šetřit vodou, protože se vždy zavlažuje pouze ve chvíli, kdy je to potřeba.

# Kapitola 9

## Dostupnost, distribuce a využití PROTOPlantu

Jak popisují v úvodu, jedním z cílů, který jsem si dal na začátku práce na PROTOPlantu, bylo šíření pod licencí open-source. Toto jsem dodržel. Celý software PROTOPlantu je šířen pod licencí MIT, ostatní části (hardware, atd.) včetně textu této práce je poté pod CC BY-NC-SA 4.0. Přitom převzatý hardware (senzory, procesor a další moduly) je z licence vyňat.

Člověk, který elektrotechnice a programování rozumí, si poté může PROTOPlant bez problému sestavit sám v pohodlí domova.

Ovšem stále je obrovské množství lidí, kteří na sestavení PROTOPlantu nemusí mít dostatečné znalosti, nebo nemají čas si jej sestavovat. Z toho důvodu plánuji zahájit výrobu a distribuci mého systému jakožto hotových komponent, které stačí nainstalovat a zapojit.

Ke dni *20. 2. 2020* jsem ve fázi, kdy připravuji výrobní podklady jednotlivých komponent, a provádí kroky vedoucí k založení podniku. Již v minulém roce jsem provedl průzkum, který ukázal, že o PROTOPlant by skutečně byl zájem.

## 9.1 Případové studie

Pro názorný příklad použití PROTOPlantu uvádím konkrétní případové studie.

### 9.1.1 Malý skleník s užitkovými rostlinami

Zahrádkář pěstující plodiny čistě pro zásobování sebe a své rodiny čerstvou zeleninou vlastní skleník s plochou obdělávané půdy 6x3 metry. Výška skleníku jsou přibližně dva metry, jeho objem je tedy vzhledem k tvaru skleníku **menší, než 36 m<sup>3</sup>**. Pro dostatečné pokrytí prostoru senzorikou zde stačí dva senzory teploty (viz kapitola A.4.1) a jeden senzor vzdušné vlhkosti (viz kapitola A.4.3). Vzhledem k obdělávané ploše, stačí použít 4 senzory půdní vlhkosti. Zavlažování je vzhledem k pěstovaným rostlinám řešeno děrovanou hadicí položenou přímo na půdě. Berme v potaz, že zahrádkář chce, aby PROTOPlant otevříval jen jedno okno. Vzhledem k velikosti okna postačí aktuátor s délkou výsuvu 20 cm.

| Položka                     | Počet kusů | Cena za kus | Cena celkem    |
|-----------------------------|------------|-------------|----------------|
| Řídící jednotka             | 1          | 1800 Kč     | 1800 Kč        |
| Aktuátory pro ovládání oken | 1          | 700 Kč      | 700 Kč         |
| Senzory teploty             | 2          | 60 Kč       | 120 Kč         |
| Senzor vzdušné vlhkosti     | 1          | 60 Kč       | 60 Kč          |
| Senzor půdní vlhkosti       | 4          | 25 Kč       | 100 Kč         |
| Kabely, hadice, spoj. mat.  | 1          | 300 Kč      | 300 Kč         |
| Čerpadlo                    | 1          | 800 Kč      | 800 Kč         |
| <b>Cena celkem</b>          |            |             | <b>3880 Kč</b> |

Tabulka 9.1: Tabulka s cenovou kalkulací systému pro menší skleník.

### 9.1.2 Středně velký skleník s okrasnými rostlinami

Skleník, ve kterém PROTOPlant průběžně testuje je určen pro pěstování orchidejí. Jeho plocha je přibližně 10 x 4 m. Většina rostlin je v květináčích s molitanem či substrátem zavěšena v prostoru, nebo položena na stole. Teplotní senzory jsou zde použity 4, senzory vlhkosti 3. Vzhledem k tomu, že většina z těchto rostlin je epifytní, nesnáší trvale vlhkou půdu. Z tohoto důvodu je zavlažování řešeno rozprašovačem umístěným pod stropem skleníku a upraveným nastavením jeho spínání. Neprobíhá tedy tak často.

| Položka                     | Počet kusů | Cena za kus | Cena celkem    |
|-----------------------------|------------|-------------|----------------|
| Řídící jednotka             | 1          | 1800 Kč     | 1800 Kč        |
| Aktuátory pro ovládání oken | 2          | 900 Kč      | 1800 Kč        |
| Senzory teploty             | 3          | 60 Kč       | 180 Kč         |
| Senzor vzdušné vlhkosti     | 2          | 60 Kč       | 120 Kč         |
| Senzor půdní vlhkosti       | 2          | 25 Kč       | 50 Kč          |
| Kabely, hadice, spoj. mat.  | 1          | 400 Kč      | 400 Kč         |
| Čerpadlo                    | 1          | 800 Kč      | 1000 Kč        |
| <b>Cena celkem</b>          |            |             | <b>5350 Kč</b> |

Tabulka 9.2: Tabulka s cenovou kalkulací systému pro větší skleník.

## 9.2 Využití PROTOPlantu

Možnosti využití mého systému jsou opravdu široké. Kromě automatizace skleníků všech velikostí je možno využít jej při výzkumu optimálních parametrů prostředí pro pěstování různých plodin. Dále jeho použití vidím i v menších zemědělských firmách, případně velkých polo-průmyslových pěstírnách okrasných, technických i užitkových rostlin.



Obrázek 9.1: Exteriér testovacího skleníku



Obrázek 9.2: Interiér testovacího skleníku

# Závěr

Záměrem mojí práce bylo vytvořit univerzální systém pro automatizaci skleníku, který je:

- open-source
- levný
- modulární
- snadný na ovládání
- univerzální

Tento cíl se mi podařilo splnit. Lidé, kteří mají zájem si systém vytvořit najdou veškerou dokumentaci, schémata a zdrojový kód na webu [www.protoplant.cz](http://www.protoplant.cz).

Díky SOČ jsem se naučil pracovat se softwarem pro návrh PCB Autodesk EAGLE. Zároveň jsem vylepšil své schopnosti v programování a získal spoustu dalších zkušeností v elektrotechnice a s prací na takto komplexních projektech.

Část svých plánů do budoucna jsem již nastínil v kapitole 9. PROTOPlant plánuji začít vyrábět průmyslově a prodávat jej. Zároveň jej budu dále vylepšovat a přidávat další funkce. V blížší době plánuji dokončit všechny právě rozpracované moduly a začít implementovat funkci pro vzdálený přístup a sledování přes internet (například z práce, nebo z dovolené). Dále bych pro PROTOPlant vyvinul vlastní mobilní aplikaci, která uživateli umožní snadno a rychle vzdáleně sledovat stav skleníku, měnit nastavení, nebo jej ovládat.

Momentálně běží PROTOPlant v jednom skleníku. Toto číslo bych během následujícího roku rád alespoň zdvacetinásobil.

# Příloha A

## Elektronika a tištěné spoje

Všechny prototypy základních desek PROTOPlantu byly založeny na univerzálních tištěných spojích. Vzhledem k tomu, že jsem po stránce vzhledu i funkčnosti nebyl s takovýmto provedením spokojen, rozhodl jsem se nechat vyrobit vlastní tištěné spoje pro základní desku i senzorové moduly. Díky tomuto jsem se naučil návrhu tištěných spojů a tvorbě výrobních podkladů v programu Autodesk EAGLE.

### A.1 PPMB32 – Základní deska

Základní deska je rozdělena do několika částí. Vzhledem k tomu, že umím pájet velmi dobře, rozhodl jsem se pro ruční osazení všech součástek, které byly doposud osazeny pouze na různých modulech připojených k základní desce, včetně procesoru ESP32-WROOM32D. Z důvodu přehlednosti jsem desku rozdělil do několika částí:

- Control (ESP32-WROOM32D a programátor)
- H-power (napájecí obvod a H-můstky)
- SIN (SensorIN – piny pro připojení senzorů)
- POUT (PowerOUT – výstup pro napájení dalších periferií)

- PanCon (PanelConnect – piny pro připojení tlačítek a displeje na ovládacím panelu)
- SelfProt (SelfProtection – senzor teploty a piny pro připojení vnitřního detektoru vody)

Samotná základní deska má dvě verze. Jejich rozdíly jsou vysvětleny níže. Obě verze desky jsou kromě sekce Control osazeny stejným hardwarem, tedy:

- 2x H-můstek VNH2SP30
- regulátory napětí 7805CV-DG od STMicroelectronics
- pinheady pro připojení senzorů, ovládacího panelu a dalších periferií
- svorkovnicemi pro připojení napájecích kabelů a silových výstupů

Kromě dalších součástek je přímo na desce osazen senzor DS18B20 chránící desku před přehřátím. Pokud teplota základní desky překročí 50 °C, automaticky se přeruší veškeré operace a systém přejde do režimu nouzového chlazení (viz kapitola C.1).

**PPMB32-F** Kompletní, samostatná deska. Je přímo osazena procesorem ESP32-WROOM32D i programátorem CP2102N. Má nižší profil, tudíž je možné ji použít i v menších prostorech. Integrovaný programátor lze s pomocí jumperů odpojit a přes programovací piny připojit externí. Tuto verzi jsem nazval PPMB32-F (označení F od anglického slova Full – kompletní). Zároveň je optimalizovaná pro strojní osazování.

**PPMB32-E** Vzhledem k tomu, že je PROTOPlant veřejně dostupný, nebyl jsem si jist, zda by kompletní osazení takto velké desky zvládl i laik. Napadlo mě proto vytvořit i druhou desku, na které by byly osazeny dutinkové lišty pro vsazení vývojové ESP32 DevKitC. Odpadla by tedy nutnost kompletně osazovat sekci Control. Tuto verzi jsem nazval PPMB32-E (označení E od anglického slova Easy – jednoduchý). Je určena primárně pro ruční osazování.

**Sekce Control** Jak již bylo zmíněno, tato část desky zahrnuje modul procesoru ESP32-WROOM32D a programovací obvod. Ten se skládá z převodníku USB-UART CP2102N, tranzistorů SS8050-G (sloužících pro reset procesoru), indikačních LED diod a mikro USB konektoru. Nachází se zde i jumper pro přepínání mezi externím programátorem a programátorem přímo na desce.

**Sekce H-power** V této části desky se nacházejí H-můstky VNH2SP30 společně s regulátory napětí 7805CV-DG (výstup 5VDC) a LM3940IT-3.3 (výstup 3,3VDC). Na verzi PPMB32-F je dále osazen AMS1117-3.3 pro napájení procesoru.

V dolní části desky se poté nacházejí dva integrované obvody VNH2SP30, z nichž jeden (VNH1) je určen pro ovládání aktuátorů manipulujících s okny a druhý (VNH2) má několik režimů funkce podle připojeného výstupu:

- disabled (výstupy jsou deaktivovány)
- pump (VNH je použito pro spínání čerpadla, případně stykače řídícího čerpadlo)
- heating (VNH je použito pro řízení topné spirály)

Napájení desky je rozděleno do tří okruhů.

**Okruh A** Tento okruh je určen pro napájení řídící elektroniky. Má celkově 3 části, oddelené s pomocí stabilizátorů napětí. Jejich propojení znázorňuje schéma. Rozsah vstupního napětí pro tento okruh je 7,5 VDC až 18 VDC.

**Okruhy V1 a V2** Použity pro oddělené napájení jednotlivých výstupů. Jejich napájecí rozsahy jsou rozepsány v tabulce A.1.

**Sekce SIN** Sekce s piny pro připojení jednotlivých senzorů. S výjimkou ochranných rezistorů je složena pouze z pinheadů. Jednotlivé piny jsou pro lepší přehlednost označeny přímo na desce a podrobněji popsány v jejím datasheetu (viz kapitola A.3).

| Parametr                    | Min. | Max. | Jednotka |
|-----------------------------|------|------|----------|
| Vstupní napětí              | 5,5  | 16   | V        |
| Výstupní napětí             | -    | 16   | V        |
| Výstupní proud              | -    | 30   | A        |
| Maximální kontinuální proud | -    | 14   | A        |

Tabulka A.1: Tabulka napájecích rozsahů napájecích větví VNH1 a VNH2

**Sekce POUT** Piny pro připojení napájení dalších periferií, modulů, či senzorů. Je připojena k napájecímu okruhu A. Piny jsou rozděleny na části připojené k subokruhům A1 a A2 s napětím 3,3 a 5 VDC.

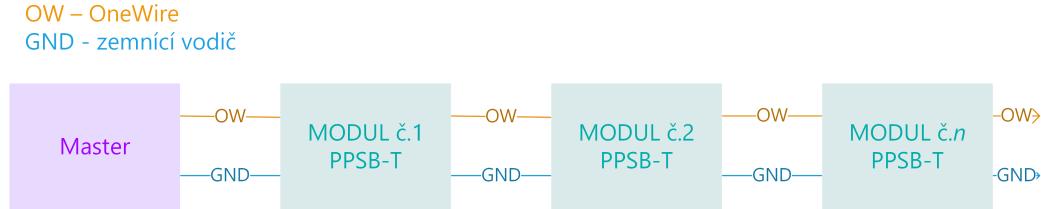
**Sekce PanCon** Dvanáctipinový konektor PanCon slouží pro připojení kabelu od hlavního řídícího panelu. Samotný konektor má dva zemnící vývody, dva napájecí (1 x 5 V a 1 x 3,3 V), dva vývody sběrnice I<sup>2</sup>C a 6 vývodů pro připojení tlačítek a přepínačů. Přesnější zapojení je opět k dispozici v datasheetech jednotlivých desek (viz kapitola A.3).

## A.2 PPSB – Desky se senzory teploty a vlhkosti

Desky osazené senzory DS18B20[4] (PPSB-T) a DHT22[3] (PPSB-TH). Pro oba typy desek jsem navrhl a s pomocí 3D tisku vyrobil vlastní krabičky, viz příloha D.9.

**PPSB-T** – deska osazená jedním senzorem DS18B20 [4] zapojeným v režimu parazitního napájení (viz kapitola A.4.1). V něm je senzor napájen přímo ze sběrnice OneWire, stačí mu tedy pro připojení pouze dva kabely (více v [4]). Deska má jednu vstupní a jednu výstupní stranu, senzory se takto dají řetězit.

Vizualizaci desky naleznete na obrázku D.1.



Obrázek A.1: Řetězení desek PPSB-T.

**PPSB-TH** osazena senzorem DHT22 [3] je schopna měřit vzdušnou vlhkost i teplotu. Více o tomto senzoru naleznete v kapitole A.4.3. Ná rozdíl od PPSB-T tyto desky nelze řetězit. Vizualizace naleznete na obrázku D.2.

## A.3 Datasheety DPS PROTOPlantu

Další informace k jednotlivým DPS vytvořeným v rámci PROTOPlantu budou k dispozici v jejích datasheetech, které budou po jejich dokončení (předpokládám 16. 3. 2020) zveřejněny na webu [www.protoplant.cz](http://www.protoplant.cz).

## A.4 Senzorika

PROTOPlant primárně podporuje 3 typy senzorů. DS18B20 pro měření vzdušné teploty, DHT22 schopné měřit vlhkost i teplotu vzduchu a senzory pro měření vlhkosti půdy. Dále PROTOPlant podporuje připojení senzorů vlhkosti půdy pracujících na bázi elektrické vodivosti.

### A.4.1 DS18B20

Senzory určené pro měření teploty. Komunikují po sběrnici OneWire (více v [4], str. 4) vytvořené společností Maxim Integrated. Jsou určeny pro teplotní rozsahy  $-55^{\circ}\text{C}$  až  $+125^{\circ}\text{C}$ . V měřícím rozsahu  $-10^{\circ}\text{C}$  až  $+85^{\circ}\text{C}$  jsou

schopny měřit s přesností na  $\pm 0,5$  °C. K PPCU je možno připojit až 30 těchto senzorů.

#### A.4.2 Senzory půdní vlhkosti

#### A.4.3 DHT22

Čidla, která měří vzdušnou vlhkost i teplotu. Jejich přesnost je  $\pm 2$  % relativní vlhkosti a  $\pm 0,5$  °C. Opakovatelnost měření je poté  $\pm 1\%$  relativní vlhkosti a  $\pm 0,2$  °C. Tyto senzory komunikují jednosběrnicově, není tedy možno je řetězit. K PPCU je možno připojit těchto senzorů až 6. Více viz [3].

Do budoucna zvažuji přechod na senzory AM2321 [1] vzhledem k tomu, že narozdíl od DHT22 dokáží komunikovat po sběrnici I<sup>2</sup>C (viz kapitola B.2).

# Příloha B

## Software základní desky

Tato kapitola se zaměřuje na software základní desky PROTOPlantu a detailně popisuje jeho funkci. Na software ostatních modulů se zaměřuje následující kapitola C.

### B.1 Sdílené knihovny

Z důvodu usnadnění programování základní desky i ostatních rozšiřujících modulů jsem vytvořil několik sdílených knihoven. V nich je zahrnuto:

- konfigurace systému
- nastavení jednotlivých pinů dle standardního rozložení, vč. možnosti nastavení vlastního
- práce s displayem
- práce s tlačítky
- řízení H-můstků
- ovládání senzorů

Díky těmto knihovnám je většina zdrojového kódu uložena v nich. Koncový uživatel, který se rozhodne software modifikovat, poté pouze v hlavním programu definuje, které moduly spustit a do konfiguračního souboru zapíše nastavení daných modulů.

**Konfigurace softwaru** Konfigurace softwaru pro jednotlivé verze hardware je řešena pomocí jednoho souboru. Podle toho, jak jsou jednotlivá makra v tomto souboru definována, prekompilátor následně sestaví software přímo pro danou verzi. Část konfiguračního souboru je zobrazena níže. V této části lze nastavit parametry přístupového bodu Wi-Fi, který si PROTOPlant sám vytvoří, sériové linky a displeje.

```
//If wifi credentials not set OR wifi not found,  
//create own AP with these credentials  
#define AP_SSID ProtoPlant  
#define AP_PASSWORD protoplant  
  
#define SERIAL_DEBUGGING      true  
#define SERIAL_BAUDRATE       115200  
  
#define DISPLAY_CONNECTED     true  
#define DISPLAY_ADDRESS        0x27  
#define DISPLAY_TIMEOUT        10000  
#define DISPLAY_COLONS         16  
#define DISPLAY_ROWS            4
```

## B.2 Datové sběrnice

PROTOPlant primárně využívá dvě datové sběrnice:

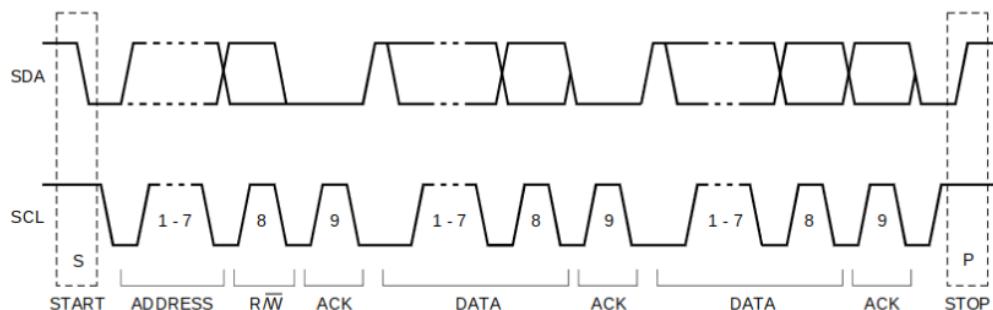
- I<sup>2</sup>C
- OneWire

**Sběrnici I<sup>2</sup>C** používá PROTOPlant pro komunikaci se zařízeními na stejném desce, případně pro řízení LCD displeje instalovaného na řídícím panelu

(připojení přes PanCon).

**Princip** Na sběrnici je připojeno jedno zařízení jakožto master (řídící) a jedno či více zařízení jako slave (řízená). Tato zařízení jsou navzájem propojena dvěma dráty (proto se I<sup>2</sup>C někdy přezdívá TwoWire), serial clock (SCL) a serial data (SDA). Každé ze slave zařízení má sedmibitovou adresu (např. 0xE0), která musí být pro každé zařízení na jedné sběrnici odlišná. Některá zařízení mají tuto adresu pevně zapsanou a nelze ji měnit, zatímco u jiných ji lze změnit. Zařízení připojené jako v režimu master tuto adresu nepotřebuje, vzhledem k tomu, že on sám vždy adresuje jen jedno ze zařízení.

**Komunikační protokol** Za klidového stavu (neprobíhá žádná komunikace) jsou obě linky (SDA i SCL) připojeny nastaveny na HIGH. Jakmile chce master zahájit komunikaci, vyšle takzvaný startovní signál, po kterém následuje adresa daného zařízení, jejíž nultý bit určí, zda chce master číst, nebo zapisovat. Dále následují datové bity. Jakmile jsou všechna data přenesena, vyšle master stop signál, čímž ukončí komunikaci a sběrnice se vrátí do klidu. Rychlosť celého přenosu určuje pulsování linky CLK. Celý proces názorně zobrazuje obrázek B.1.



Obrázek B.1: Celý datový přenos po I<sup>2</sup>C sběrnici. Převzato z [5]

**Sběrnice OneWire** Sběrnici OneWire používá PROTOPlant pro komunikaci s teplotními čidly DS18B20. Více o této komunikační sběrnici v [4].

## B.3 Komunikace mezi řídící jednotkou a jednotlivými moduly

PROTOPlant podporuje dva režimy komunikace řídící jednotky s přídavnými moduly:

- bezdrátová komunikace přes Wi-Fi
- kabelová komunikace přes UART (standard RS-485)

## B.4 Bezdrátová komunikace

Je vhodná primárně pro malé skleníky v oblastech, kde nehrozí zarušení signálu. Tento způsob komunikace je zatím stále ve vývoji.

## B.5 Kabelová komunikace a RS-485

Kabelová komunikace probíhá přes tzv. UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter – univerzální asynchronní přijímač a vysílač). PROTOPlant využívá průmyslový standard RS-485 umožňující komunikaci s pomocí dvojlinky. Opět je zde uplatněn princip master – slave (řídící jednotka je master, ostatní moduly slave). Pro tento způsob komunikace existuje několik protokolů, pro příklad velmi často používaný ModBus, nebo nedávno vytištěný JANUS[7], který používám. Více o principu RS-485 a samotném protokolu v [7, s. 21-25]

# Příloha C

## Software dalších modulů

Software přídavných modulů je navržen tak, aby k jeho běhu nebyl zapotřebí velký výpočetní výkon. Obecně lze jejich funkci znázornit blokovým diagramem D.4.

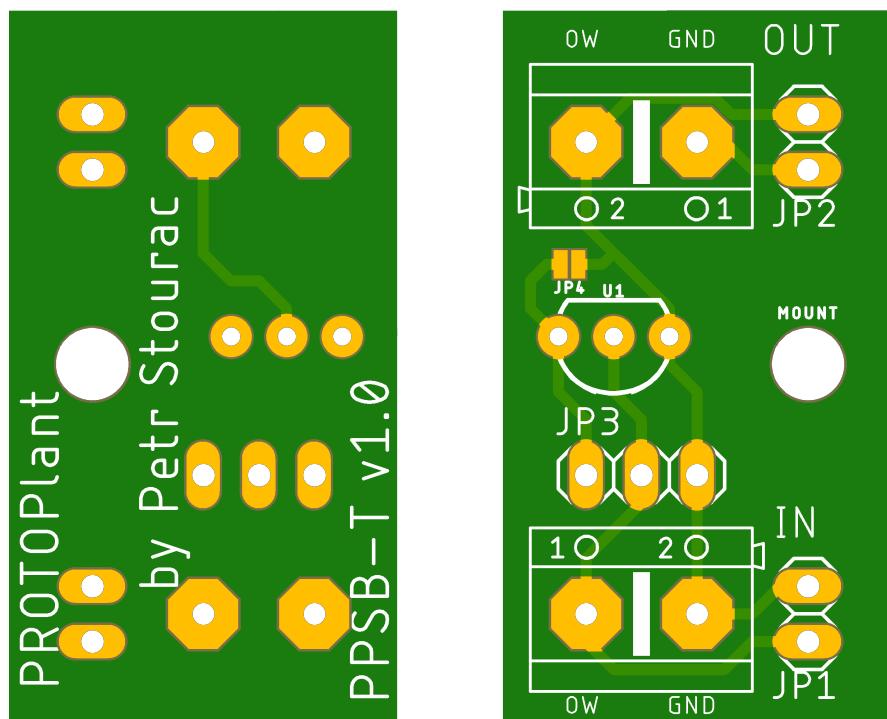
### C.1 Zvláštní stavy

PROTOPPlant má několik zvláštních stavů, ve kterých pracuje v omezeném režimu. Tyto stavы slouží primárně pro zabránění poškození systému.

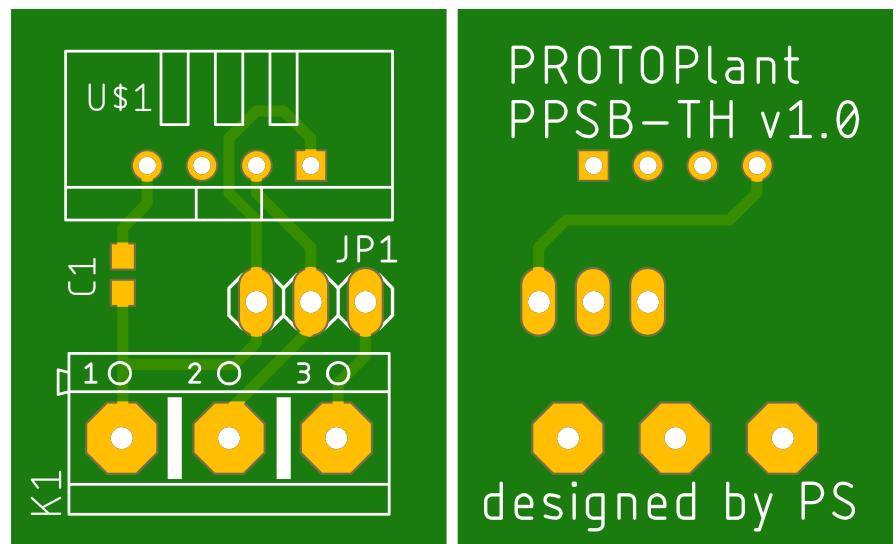
**Režim nouzového chlazení** Do tohoto režimu přejde systém v případě, že teplotní senzor na základní desce PPCU detekuje přehřívání. Dojde k automatickému vypnutí výstupů řídící jednotky. Poté se systém restartuje, aby vyloučil chybu softwaru. V případě, že softwarovou chybu nedetectuje, vyčká, než se teplota sníží na běžnou provozní hodnotu, kterou průběžně vypočítává z průměrů hodnot naměřených před prudkým nárůstem. Po ochlazení systém pokračuje v normálním chodu, ovšem na displeji zůstane upozornění, že k chybě došlo.

## Příloha D

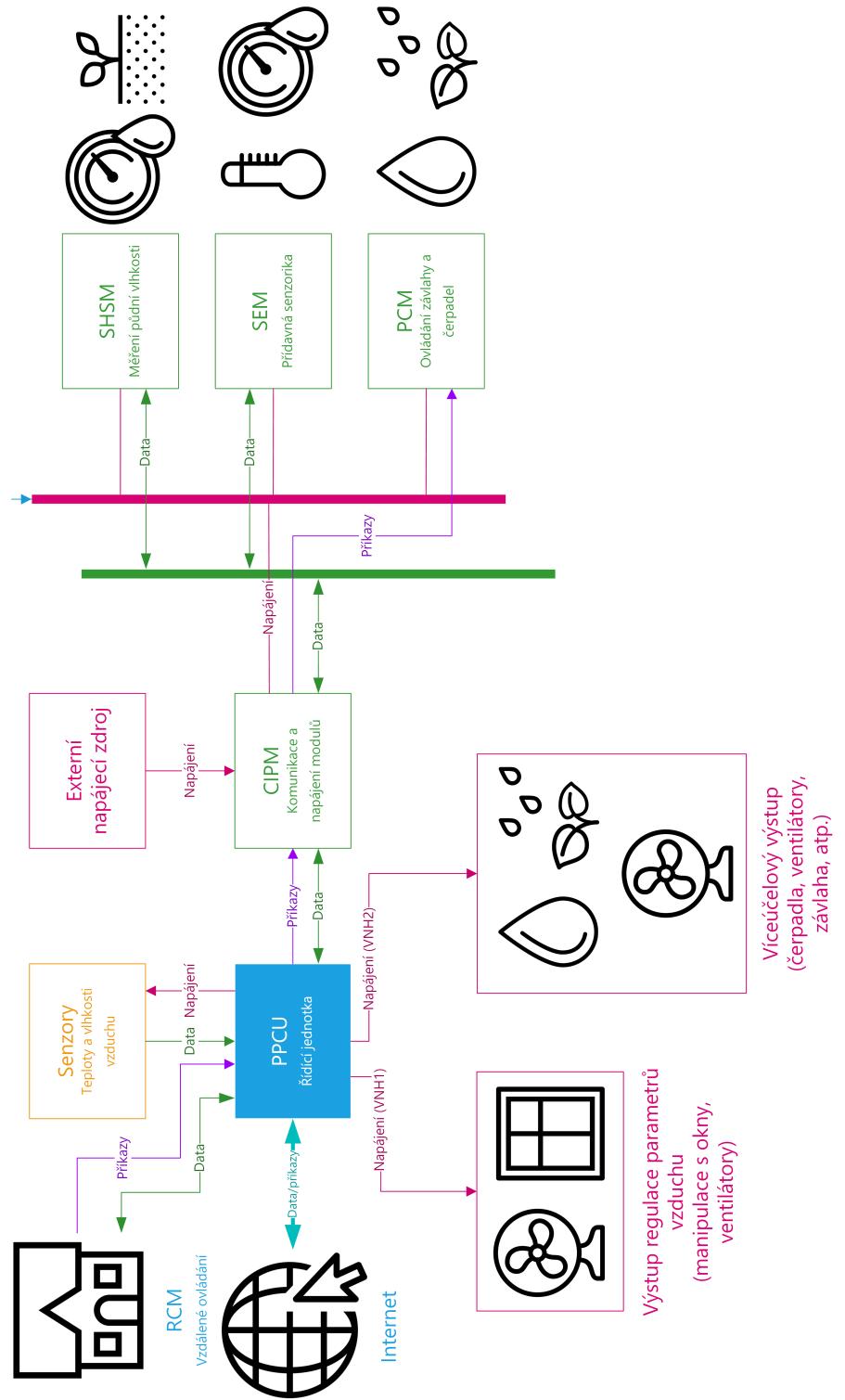
### Obrazové přílohy



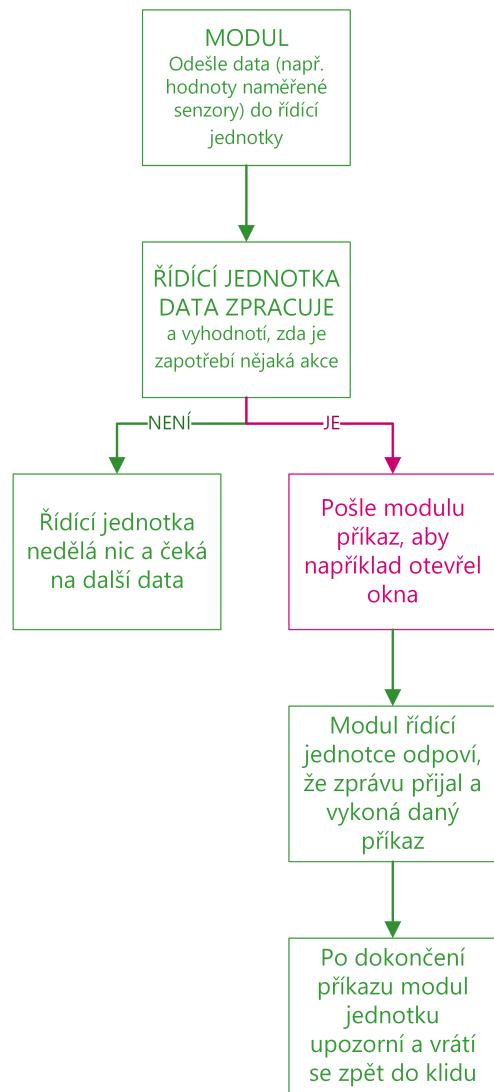
Obrázek D.1: Vizualizace PPSB-T (horní strana vpravo, dolní vlevo).



Obrázek D.2: Vizualizace desky PPSB-TH (horní strana vlevo, dolní vpravo).



Obrázek D.3: Schéma zapojení a funkce jednotlivých modulů.



Obrázek D.4: Blokový diagram komunikace řídící jednotky a přídavného modulu.



Obrázek D.5: Fotografie řídící jednotky instalované v testovacím skleníku (verze 4.9).



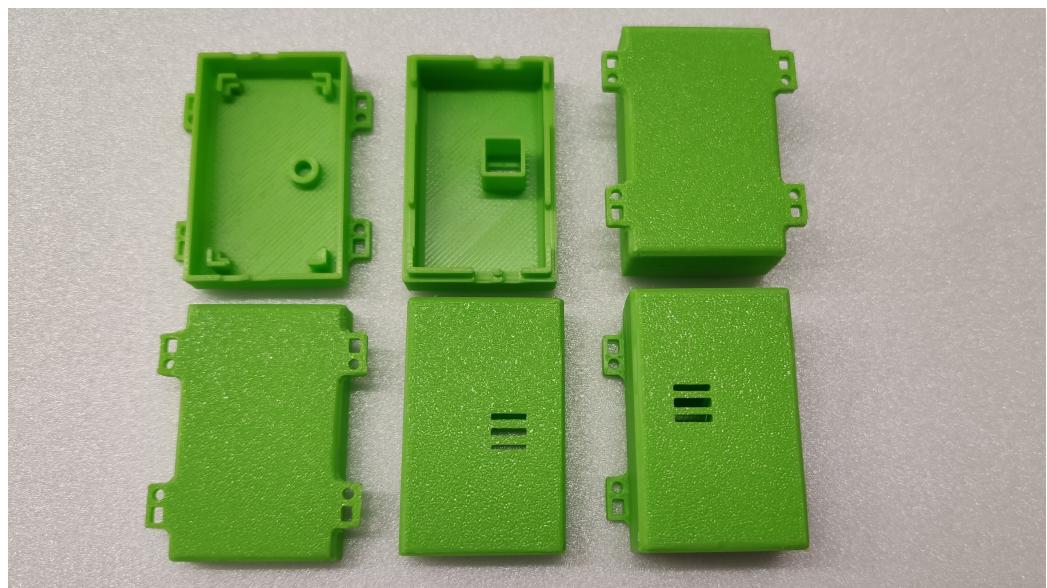
Obrázek D.6: Fotografie prototypu řídící jednotky verze 3.1.



Obrázek D.7: Fotografie prototypu řídící jednotky verze 3.0.



Obrázek D.8: Fotografie otevřeného okna testovacího skleníku.



Obrázek D.9: Krabičky na desky PPSB.

# Literatura

1. AOSONG ELECTRONICS CO.,LTD. *AM2321 product manual* [online] [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: [http://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/AM2321\\_e.pdf](http://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/AM2321_e.pdf).
2. HOLEKA, Lukáš. *Zavlažovací systém skleníku*. 20. února 2020. Dostupné také z: [http://stretech.fs.cvut.cz/2018/sbornik\\_2018/pdf/69.pdf](http://stretech.fs.cvut.cz/2018/sbornik_2018/pdf/69.pdf). Střední průmyslová škola elektrotechnická a Vyšší odborná škola Pardubice.
3. AOSONG ELECTRONICS CO.,LTD. *DHT22 datasheet* [online] [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>.
4. MAXIM INTEGRATED. *DS18B20 datasheet* [online] [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.
5. NXP SEMICONDUCTORS. *I2C-bus specification and user manual* [online] [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>.
6. THE ENCLOSURE COMPANY LTD. *IP Rated Enclosures Explained* [online] [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.enclosurecompany.com/ip-ratings-explained.php>.
7. ROHLÍNEK, Tomáš. *Modulární stavba soutěžních robotů*. 20. února 2020. Dostupné také z: [https://github.com/haberturdeur/Janus\\_Text/](https://github.com/haberturdeur/Janus_Text/)

- [blob/master/text.pdf](#). Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Brno, Sokolská, příspěvková organizace.
8. STMICROELECTRONICS. *L78xx datasheet* [online] [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/41/4f/b3/b0/12/d4/47/88/CD00000444.pdf/files/CD00000444.pdf/jcr:content/translations/en.CD00000444.pdf>.
  9. *Build your own automatic Raspberry Pi Greenhouse* [online] [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://tutorials-raspberrypi.com/build-your-own-automatic-raspberry-pi-greenhouse/>.
  10. STMICROELECTRONICS. *VNH2SP30-E datasheet* [online] [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.elecrow.com/download/VNH2SP30%20Datasheet.pdf>.

# Seznam obrázků

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 3.1 | Zjednodušený diagram funkcí PROTOPlantu.                                  | 15 |
| 5.1 | Rozdělení skleníku na dvě oblasti.  | 23 |
| 9.1 | Exteriér testovacího skleníku   | 33 |
| 9.2 | Interiér testovacího skleníku   | 33 |
| A.1 | Řetězení desek PPSB-T.  | 40 |
| B.1 | Celý datový přenos po I2C sběrnici. Převzato z [5]                        | 44 |
| D.1 | Vizualizace PPSB-T (horní strana vpravo, dolní vlevo).                    | 47 |
| D.2 | Vizualizace desky PPSB-TH (horní strana vlevo, dolní vpravo).             | 48 |
| D.3 | Schéma zapojení a funkce jednotlivých modulů.                             | 49 |
| D.4 | Blokový diagram komunikace řídící jednotky a přídavného modulu.           | 50 |
| D.5 | Fotografie řídící jednotky instalované v testovacím skleníku (verze 4.9). | 51 |
| D.6 | Fotografie prototypu řídící jednotky verze 3.1.                           | 51 |
| D.7 | Fotografie prototypu řídící jednotky verze 3.0.                           | 52 |
| D.8 | Fotografie otevřeného okna testovacího skleníku.                          | 52 |
| D.9 | Krabičky na desky PPSB.   | 53 |

# **Seznam tabulek**

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | Tabulka srovnání PROTOPlantu a jiných řešení. . . . .          | 12 |
| 9.1 | Tabulka s cenovou kalkulací systému pro menší skleník. . . . . | 31 |
| 9.2 | Tabulka s cenovou kalkulací systému pro větší skleník. . . . . | 32 |
| A.1 | Tabulka napájecích rozsahů napájecích větví VNH1 a VNH2 .      | 39 |