

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor: 7. Zemědělství, potravinářství, lesní a vodní hospodářství

Automatický skleník

Petr Štourač

Brno 2020

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

AUTOMATICKÝ SKLENÍK

AUTOMATIC GREENHOUSE

AUTOR	Petr Štourač
ŠKOLA	Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Brno, Sokolská, příspěvková organizace
KRAJ	Jihomoravský
ŠKOLITEL	Mgr. Miroslav Burda
OBOR	7. Zemědělství, potravinářství, lesní a vodní hospodářství

Brno 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že svou práci na téma *Automatický skleník* jsem vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Miroslava Burdy a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Dále prohlašuji, že tištěná i elektronická verze práce SOČ jsou shodné a nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Brně dne: _____

Petr Štourač

Poděkování

Děkuji svému školiteli Mgr. Miroslavu Burdovi za obětavou pomoc, podnětné připomínky a nekonečnou trpělivost, kterou mi během práce poskytoval.

Tato práce byla provedena za finanční podpory Jihomoravského kraje.



Anotace

Zahradničení je dnes naprosto běžnou zájmovou činností. Mnoho lidí má 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, internet věcí, ProtoPlant

Annotation

TBD

Keywords

greenhouse automation, ESP32, internet of things, ProtoPlant

Obsah

Úvod	8
1 Motivace	9
2 Konkurence	10
3 Jednotlivé moduly ProtoPlantu	11
3.1 PPCU - ProtoPlant Control Unit	11
3.2 Přídavné moduly ProtoPlantu	11
3.2.1 CIPM - Komunikační a napájecí modul	13
3.2.2 SHSM - Modul měření vlhkosti půdy	13
3.2.3 SEM - Modul rozšíření senzoriky	13
3.2.4 PCM - Modul řízení čerpadel	14
3.2.5 RCM - Modul vzdáleného ovládání	14
3.2.6 Uložení řídicí elektroniky	14
4 Tištěné spoje	16
4.1 PPMB32 – Základní deska	16
4.2 PPSB - Desky se senzory teploty a vlhkosti	19
4.3 Senzorika	20
4.3.1 DS18B20	20
4.3.2 DHT22	20
5 Software základní desky	21
5.1 Sdílené knihovny	21

5.2	Datové sběrnice	22
5.3	Komunikace mezi řídicí jednotkou a jednotlivými moduly . . .	23
5.4	Bezdrátová komunikace	23
5.5	Kabelová komunikace a RS-485	24
6	Software dalších modulů	25
7	Zvláštní stavy	26
8	Funkce ProtoPlantu, aneb „Co to všechno umí?“	27
9	Průběh vývoje ProtoPlantu	28
9.1	ProtoPlant 1.0 až 4.0 (tzv. legacy verze)	28
9.1.1	Verze 1.0	28
9.1.2	Verze 2.0	29
9.1.3	Verze 3.0 a další	29
9.2	ProtoPlant verze 5.0	30
10	Dlouhodobé testování	31
10.1	Testování napájení solární energií	31
10.2	Průběh testů	32
11	Úspora energií dosažená s pomocí ProtoPlantu	33
	Závěr	34
	Přílohy	35
	Literatura	41
	Seznam obrázků	42
	Seznam tabulek	43

Úvod

Zahradničení je dnes naprosto běžnou zájmovou činností. Mnoho lidí majících 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 této práce je vytvořit univerzální a dostupný systém pro automatizaci skleníku, který by usnadnil péči o rostliny časově vytíženým lidem.

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 (elektrina, voda), které lze díky automatizaci dosáhnout.

V průběhu vývoje jsem tento projekt nazval PROTOPlant. Celý zdrojový kód, hardwarové parametry, schémata, tištěné spoje, novinky z vývoje a další informace týkající se PROTOPlantu jsou k dispozici na webu *www.protoplant.cz*.

Kapitola 1

Motivace

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.

V minulém roce jsem na systému začal pracovat intenzivně a účastnil se s ním i loňského ročníku SOČ. To mě motivovalo na něm dále pracovat a rozvíjet jej.

Kapitola 2

Konkurence

To be done.

Kapitola 3

Jednotlivé moduly ProtoPlantu

ProtoPlant je modulární systém - není tedy jedním velkým celkem, se všemi funkcemi přímo zaintegroványi. V této kapitole se zaměřím na podrobný popis jednotlivých modulů.

3.1 PPCU - ProtoPlant Control Unit

PPCU, neboli řídicí 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 průchodky pro provlečení kabelů.

Uvnitř se nachází základní deska (viz. Oddíl 4.1) a zdroj napájení.

3.2 Přídavné moduly ProtoPlantu

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

- CIPM (Communication Interface and Power Module - modul potřebný pro drátové připojení ostatních modulů - viz. Pododdíl 3.2.1)

- PSpl (Power Splitter - rozdělovač napájení)
- SHSM (Soil Humidity Sensorics Module - modul vybavený senzory pro měření vlhkosti půdy - viz. Pododdíl 3.2.2)
- SEM (Sensorics Expansion Module - modul pro zvýšení počtu senzorů připojených k ProtoPlantu - viz. Pododdíl 3.2.3)
- PCM (Pump Control Module - modul pro sledování hladiny vody v nádrži a ovládání čerpadla - viz. Pododdíl 3.2.4)
- RCM (Remote Control Module - modul pro připojení vzdáleného ovládacího panelu - viz. Pododdíl 3.2.5)

Zjednodušené schéma zapojení a funkce jednotlivých modulů naleznete na Obrázek 11.1.

Napájení přídatných modulů je prováděno ve čtyřech režimech.

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

Napájení přímo z řídicí 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 řídicí jednotky (viz. Oddíl 4.1).

Použití externího zdroje připojeného k CIPM je použitelné v případě, kdy uživatel upřednostňuje kabelovou komunikaci mezi moduly a řídicí 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 kabely 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 kabely jednotlivých modulů. Tato metoda je určena primárně pro bezdrátovou komunikaci mezi řídicí 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.

3.2.1 CIPM - Komunikační a napájecí modul

Tento modul funguje jako propojovací uzel mezi řídicí jednotkou a všemi přídatnými moduly. Dále slouží pro připojení externího napájení pro jednotlivé další moduly (viz. Oddíl 3.2).

3.2.2 SHSM - Modul měření vlhkosti půdy

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

3.2.3 SEM - Modul rozšíření senzoriky

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 řídicí elektronikou a jediným omezením je dosah zvoleného způsobu komunikace s řídicí jednotkou.

3.2.4 PCM - Modul řízení čerpadel

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.

3.2.5 RCM - Modul vzdáleného ovládání

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

3.2.6 Uložení řídicí elektroniky

Řídicí elektronika (základní deska, řadiče, kabeláž, atp.) je uložena v průmyslových elektroinstalačních boxech s krytím IP65 (*úplná prachotěsnost a odolnost proti tryskající vodě* [2]). Vyvedení kabelů z těchto boxů je řešeno s pomocí kabelových průchodek se stejnou úrovní krytí.

Upevnění řídicí elektroniky do těchto boxů je řešena díly vytisknutými na 3D tiskárně z materiálu ABS-T. Ten jsem zvolil pro jeho odolnost a malou nasákavost. Nevýhodou tohoto materiálu je nižší odolnost proti UV záření, proti kterému jsou ovšem díly v boxu chráněné.

Konstrukci pro upevnění tvoří zpravidla 3 části:

- montážní deska
- kabelový unašeč
- kartuše se silikagelem

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.

Kartuše se silikagelem má na sobě drážky pro zasunutí do jejich protikusů na montážní desce.

Kapitola 4

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.

4.1 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 periférií)

- 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 periférií
- 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 nouzového režimu (viz. kapitola 7).

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).

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).

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 VN2SP30 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 VN2SP30, z nichž jeden (VN1) je určen pro ovládání aktuátorů manipulujících s okny a druhý (VN2) má několik režimů funkce, podle připojeného výstupu:

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

Napájení desky je rozděleno do tří okruhů.

Okruh A Tento okruh je určen pro napájení řídicí elektroniky. Má celkově 3 části, oddělené 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 4.1.

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.

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

Tabulka 4.1: 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.

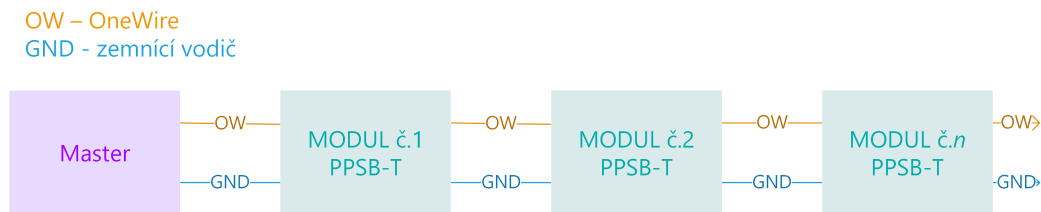
Sekce PanCon Dvanácti-pinový konektor PanCon slouží pro připojení kabelu od hlavního řídicího panelu. Samotný konektor má dva zemnicí vývody, dva napájecí (1 x 5 V a 1 x 3,3 V), dva vývody sběrnice I²C a 6 vývodů pro připojení tlačítek a přepínačů. Přesnější zapojení je opět k dispozici v data-sheetech jednotlivých desek.

4.2 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.

PPSB-T – deska osazená jedním senzorem DS18B20 [4] zapojeným v režimu parazitního napájení (viz. Pododdíl 4.3.1). 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 11.2.



Obrázek 4.1: Řetězení desek PPSB-T.

PPSB-TH osazena senzorem DHT22 [3] je schopna měřit vzdušnou vlhkost i teplotu. Více o tomto senzoru naleznete v sekci 4.3.2. Narozdíl od PPSB-T tyto desky nelze řetězit. Vizualizace naleznete na obrázku 11.3.

4.3 Senzorika

ProtoPlant primárně podporuje 2 typy senzorů. DS18B20 pro měření teploty a DHT22 schopné měřit vlhkost i teplotu. Dále ProtoPlant podporuje připojení senzorů vlhkosti půdy pracujících na bázi elektrické vodivosti.

4.3.1 DS18B20

Senzory určené pro měření teploty. Komunikují po sběrnici OneWire (více v [4], str. 4) vytvořené společností Maxim Integrated. Jsou určeny pro teplotní rozsahy $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$. V měřicím rozsahu $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou schopny měřit s přesností na $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.3.2 DHT22

To be done.

Kapitola 5

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 6.

Blokové schéma funkce softwaru základní desky Schéma funkce softwaru základní desky je shrnuto blokovým diagramem XXX.

5.1 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 Celý software

5.2 Datové sběrnice

PROTOPlant primárně využívá dvě datové sběrnice:

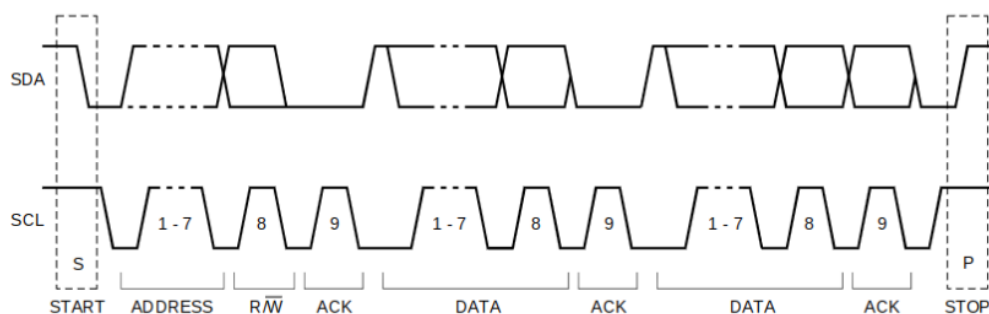
- I²C
- OneWire

Sběrnici I²C používá PROTOPlant pro komunikaci se zařízeními na stejné desce, případně pro řízení LCD displeje instalovaného na řídicím 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 I²C 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. Rychlost celého přenosu určuje pulsování linky CLK. Celý proces názorně zobrazuje obrázek 5.1.



Obrázek 5.1: Celý datový přenos po I2C sběrnici.

Sběrnice OneWire Sběrnici OneWire používá PROTOPlant pro komunikaci s teplotními čidly DS18B20.

5.3 Komunikace mezi řídicí jednotkou a jednotlivými moduly

PROTOPlant podporuje dva režimy komunikace řídicí jednotky s přídatnými moduly:

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

5.4 Bezdrátová komunikace

Je vhodná primárně pro malé skleníky v oblastech, kde nehrozí zarušení signálu.

5.5 Kabelová komunikace a RS-485

Kabelová komunikace probíhá přes tzv. UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter - univerzální asynchronní přijímač a vysílač). PROTOPlant využívá průmyslový standart 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 vytvořený JANUS[7], který používám. Více o principu RS-485 a samotném protokolu v [7, s. 21-25]

Kapitola 6

Software dalších modulů

Software přídatných modulů je navržen tak, aby k jeho běhu nebyl zapotřebí velký výpočetní výkon. Obecně lze jejich funkci znázornit blokovým diagramem 11.4.

Kapitola 7

Zvláštní stavy

To be done.

Nouzový režim To be done.

Kapitola 8

Funkce ProtoPlantu, aneb „Co to všechno umí?“

To be done.

Kapitola 9

Průběh vývoje ProtoPlantu

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

9.1 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.

9.1.1 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 zemní vodič. Toto zapojení nebylo zcela ideální, vzhledem k nutnosti použití tří

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

9.1.2 Verze 2.0

Největší změnou oproti předchozí verzi byl přechod z Arduina na ESP32 devkitC. Software byl kompletně přepsán a blokuující 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 displaye, na který se vypisovaly naměřené hodnoty ze senzorů a různé stavové hlášky. Během vývoje této verze jsem také systém začal nazývat ProtoPlant.

9.1.3 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 řídicí 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.

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.

Verze 3.2 byla prezentována na loňské celostátní přehlídce. Až na menší změny v interní elektronice řídicí jednotky neznamenal větší posun ve vývoji.

9.2 ProtoPlant verze 5.0

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.

Dal jsem se tedy do vývoje páté verze ProtoPlantu, v čemž pokračuji dále. Místo vývoje dalších prototypů základních desek jsem se rozhodl navrhnout vlastní tištěné spoje a nechat je vyrábět průmyslově.

Kapitola 10

Dlouhodobé testování

Již přibližně rok je ProtoPlant spuštěn v našem domácím skleníku s orchidemi. 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.

10.1 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. Přebytková 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 provoz jsou tedy **nulové**.

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

10.2 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.

Kapitola 11

Úspora energií dosažená s pomocí ProtoPlantu

To be done.

Závěr

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

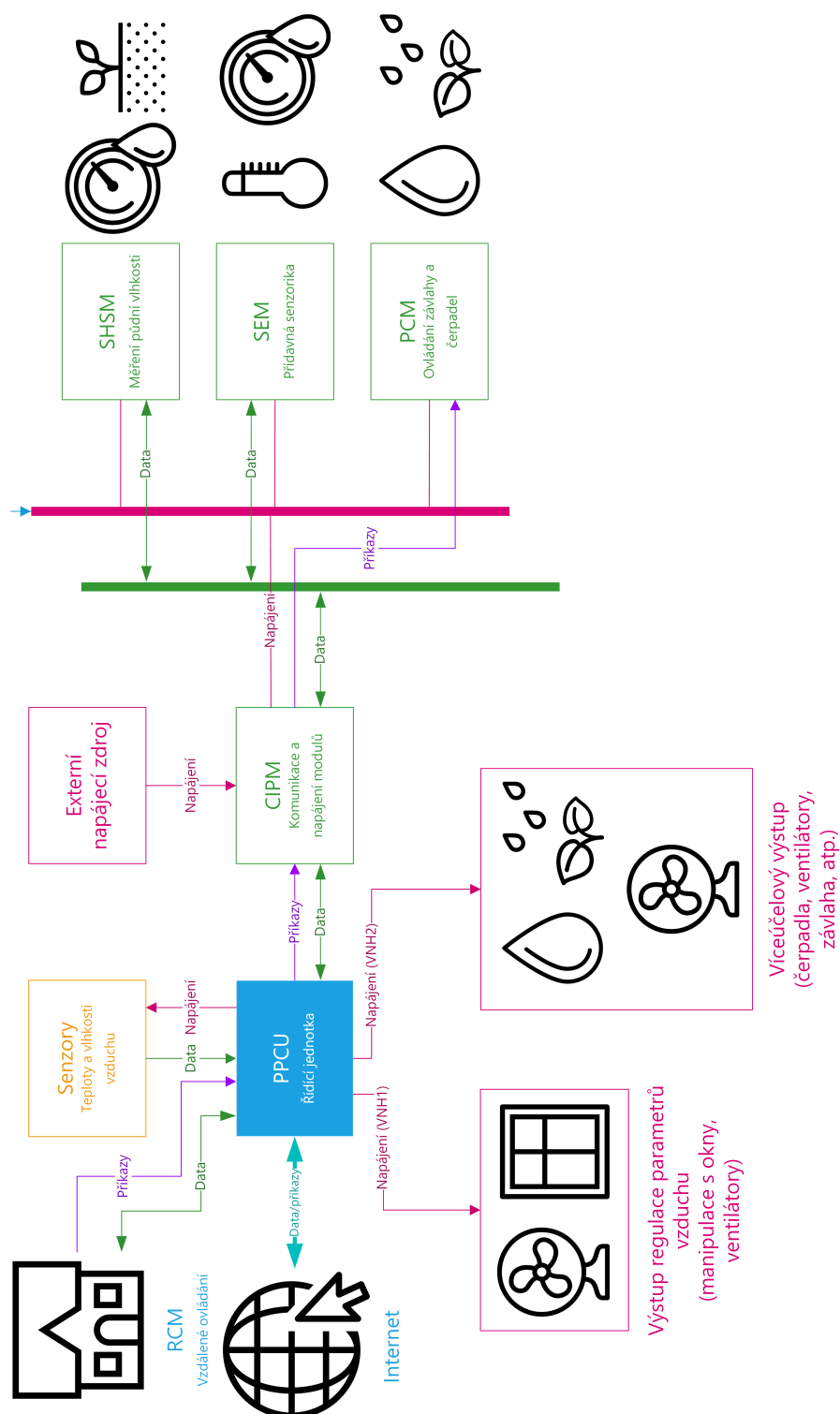
- open-source
- levný
- modulární
- snadný na ovládání
- univerzální

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*.

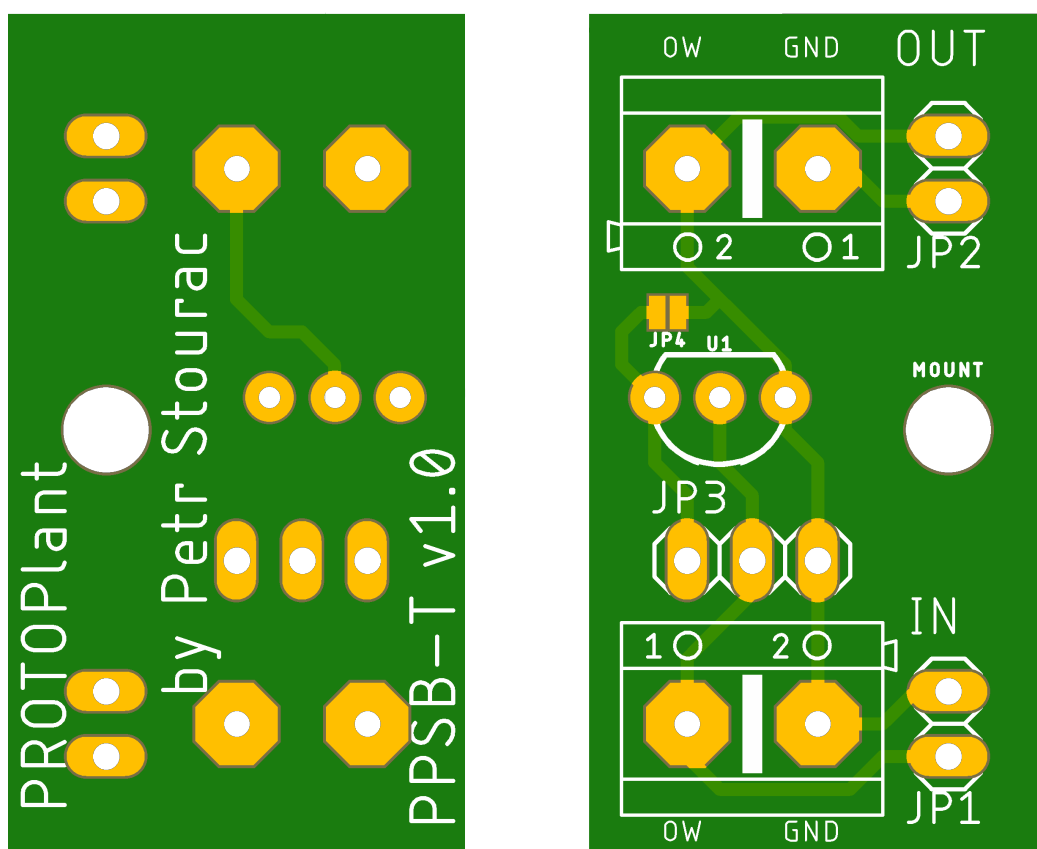
Díky SOČ jsem se naučil pracovat se softwarem pro návrh PCB Autodesk EAGLE. Zároveň jsem vylepšil své schopnosti v programování a získal spoustu dalších zkušeností v elektrotechnice a s prací na takto komplexních projektech.

Co se týče plánů do budoucna, ProtoPlant budu dále rozvíjet. Mezi mé plány se řadí dokončení rozpracovaných modulů a další vylepšování softwaru. Dále bych se rád zaměřil na rozšíření ProtoPlantu o možnosti z oblasti internetu věcí.

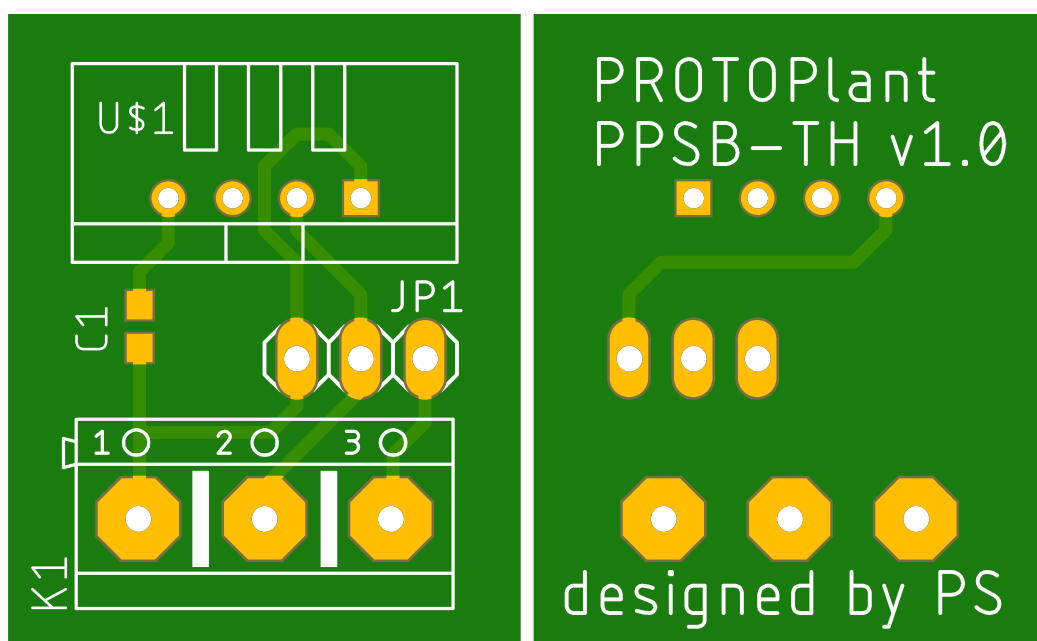
Přílohy



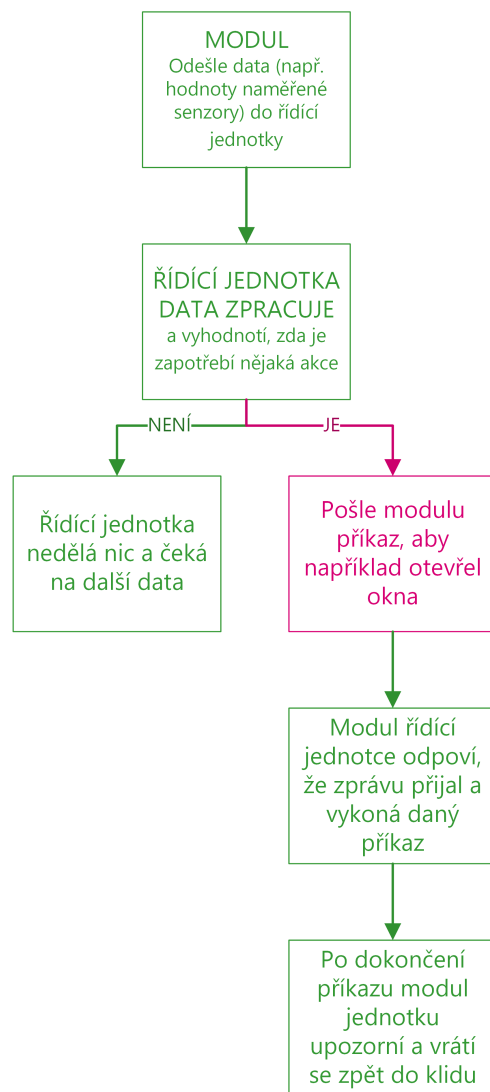
Obrázek 11.1: Schéma zapojení a funkce jednotlivých modulů



Obrázek 11.2: Vizualizace PPSB-T (horní strana vpravo, dolní vlevo)



Obrázek 11.3: Vizualizace desky PPSB-TH (horní strana vlevo, dolní vpravo)



Obrázek 11.4: Blokový diagram komunikace řídicí jednotky a přídatného modulu

Literatura

1. 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>.
2. THE ENCLOSURE COMPANY LTD. *IP Rated Enclosures Explained* [online] [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.enclosurecompany.com/ip-ratings-explained.php>.
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. 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>.
6. STMICROELECTRONICS. *VNH2SP30-E datasheet* [online] [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.elecrow.com/download/VNH2SP30%20Datasheet.pdf>.

7. ROHLÍNEK, Tomáš. *Modulární stavba soutěžních robotů*. 21. října 2014. Dostupné také z: https://github.com/haberturdeur/Janus_Text/blob/master/text.pdf. Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Brno, Sokolská, příspěvková organizace.
8. BERÁNEK, Roman. *Proč je citování nutná pakárna*. Brno, 21. října 2014.

Seznam obrázků

4.1	Řetězení desek PPSB-T.	20
5.1	Celý datový přenos po I2C sběrnici.	23
11.1	Schéma zapojení a funkce jednotlivých modulů	36
11.2	Vizualizace PPSB-T (horní strana vpravo, dolní vlevo)	37
11.3	Vizualizace desky PPSB-TH (horní strana vlevo, dolní vpravo)	38
11.4	Blokový diagram komunikace řídicí jednotky a přídatného mo- dulu	39

Seznam tabulek

- 4.1 Tabulka napájecích rozsahů napájecích větví VNH1 a VNH2 . 19