

Bakalářská práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F3**

Fakulta elektrotechnická

## Automatický systém hydroponického pěstování rostlin

**Kerner Matěj**

Školitel: doc. Ing. Stanislav Vítek, Ph.D.  
Srpen 2021

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kerner** Jméno: **Matěj** Osobní číslo: **483206**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra radioelektroniky**  
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Automatický systém hydroponického pěstování rostlin**

Název bakalářské práce anglicky:

**Automatic hydroponic planter**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Proveďte přehled systémů pro hydroponické pěstování rostlin v domácím prostředí.
- 2) Navrhněte programové vybavení pro automatizaci již existujícího prototypu hydroponického systému (dodá vedoucí)
- 3) Navržené programové vybavení implementujte
- 4) Diskutujte možnosti úpravy stávajícího řešení

Seznam doporučené literatury:

- [1] RESH, H. M. A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower, 551p. 2013.  
[2] SARASWATHI, D., et al. Automation of hydroponics green house farming using IoT. In: 2018 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCA). IEEE, 2018. p. 1-4.  
[3] CHOWDHURY, Muhammad EH, et al. Design, construction and testing of IoT based automated indoor vertical hydroponics farming test-bed in Qatar. Sensors, 2020, 20.19: 5637.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Ing. Stanislav Vítek, Ph.D., katedra radioelektroniky FEL**

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

Datum zadání bakalářské práce: **29.01.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13.08.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2022**

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Stanislav Vítek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Josef Dobeš, CSc.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
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

## Poděkování

Mé poděkování patří doc. Ing. Stanislavu Vítkovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi nejen v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, 13. srpna 2021

## Abstrakt

*Tato bakalářská práce popisuje, jak fungují hydroponické systémy a jaké jsou možnosti při jejich stavbě. Je zde podrobně popsáno, jak lze pracovat s cirkulací vody, umělým osvětlením či zasazením různých senzorů do systému a jejich napojení na hlavní řídicí jednotku. Dalším bodem této práce je rozšíření již fungujícího systém připojením wifi modulu. To je realizováno sériovou linkou mezi wifi modulem a hlavní řídicí deskou s následným nasměrováním dat na internetový cloud. To umožňuje celý systém monitorovat a provádět na něm údržbu téměř výhradně dálkově.*

**Klíčová slova:** hydroponie, sériová komunikace, wifi modul

**Školitel:** doc. Ing. Stanislav Vítek, Ph.D.

## Abstract

*This bachelor thesis describes how hydroponic systems work and what construction possibilities they offer. It describes the possibility of water circulation or artificial lightning management. Further possibilities include implementation of various sensors of the system and their connection to the main control device. Next point of this thesis is expansion of already running hydroponic system by adding a wifi node. It is done by linking main control unit with wifi node by serial link and forwarding data to internet cloud. That allows monitoring and controlling of whole system almost fully remotely.*

**Keywords:** hydroponics, serial communication, wifi module

**Title translation:** Automatic hydroponic planter

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>	<b>6 Použití senzorů</b>	<b>19</b>
<b>2 Koncept vzniku</b>	<b>3</b>	6.1 Měřené veličiny a použité senzory	19
2.1 Světové problémy	3	6.1.1 Vodivost a teplota	20
2.1.1 Přelidňování	3	6.1.2 pH	20
2.1.2 Nedostatek surovin	3	6.2 Zasažení senzorů do systému	20
2.1.3 Odpadní zdroje	3	<b>7 Možné rozšíření systému o umělé osvětlení</b>	<b>23</b>
2.1.4 Ztráta zemědělské půdy	3	7.1 Světelné potřeby rostlin	23
2.2 Jak může implementace hydroponických farem pomoci?	4	7.2 Zdroje světla	24
2.2.1 Tok surovin a zdrojů	4	7.2.1 CFL (Compact Fluorescent Light)	24
2.2.2 Prostor pro zemědělství	4	7.2.2 HID (High Intensity Discharge Light)	24
<b>3 Pěstování pomocí hydroponických systémů</b>	<b>5</b>	7.2.3 LED (Light Emitting Diode)	24
3.1 Typy hydroponických systémů	5	<b>8 Projekt: Hydroponický systém</b>	<b>27</b>
3.1.1 NFT (Nutrient Film Technique)	5	8.1 Aktuální stav	27
3.1.2 FaD (Flow and drain)	5	8.1.1 Hlavní řídicí deska	28
3.1.3 DFT (Deep Flow Technique)	6	8.2 Wifi modul	28
3.1.4 Aeroponie	6	8.2.1 ESP32	28
3.1.5 Aquaponie	7	8.2.2 Arduino IOT cloud	29
3.2 Umístění hydroponických systémů	8	8.2.3 Shield	30
3.2.1 Skleníky	8	8.2.4 Komunikační protokol	33
3.2.2 CPSP (Closed Plant Production System)	9	<b>9 Závěr</b>	<b>37</b>
<b>4 Použití hydroponie ve světě</b>	<b>11</b>	<b>Literatura</b>	<b>39</b>
4.1 Ekonomická stránka hydroponických systémů	11		
4.2 Firmy pracující s hydroponií	12		
4.2.1 Square Roots	12		
4.2.2 AeroFarms	12		
4.2.3 Feel Greens	12		
<b>5 Model PFAL (plant factory with artificial lighting)</b>	<b>15</b>		
5.1 Části modelu PFAL	16		
5.1.1 Místnost (Cultivation room)	16		
5.1.2 Buňka a paleta	17		
5.1.3 Zásoby	17		
5.1.4 Jednotka pro sběr a manipulaci s daty	17		
5.2 Aktuální problémy modelu PFAL	17		
5.3 Vhodné a nevhodné rostliny pro PFAL/Rostliny použitelné v modelu PFAL	18		

## Obrázky

3.1 NFT systém .....	6
3.2 DFT systém .....	7
3.3 Princip aeroponie .....	7
3.4 Aquaponický systém .....	8
3.5 Hydroponický skleník .....	9
4.1 Námořní kontejner .....	12
4.2 Hala uzpůsobená pro vertikální farmaření .....	13
5.1 Trilemma .....	15
5.2 Rozložení místností .....	16
6.1 Schéma hydroponického systému	19
6.2 Ukázka funkce senzorů v systému	21
7.1 Absorpční spektrum rostlin ....	23
8.1 Prototyp hydroponického systému	27
8.2 ESP32 schéma .....	29
8.3 Arduino IoT dashboard .....	30
8.4 ESP-RS485 schéma .....	31
8.5 Watchdog schéma .....	32
8.6 Napájení, kamera reset a nouzový systém .....	33
8.7 Boot/run přepínač a LED ....	34
8.8 Komunikační protokol .....	36

## Tabulky

4.1 Ceny skleníkové farmy a vertikální farmy .....	11
---	----

# Kapitola 1

## Úvod

Ve světě se rozmáhá mnoho globálních problémů spojených s nedostatkem jídla, surovin či zemědělské půdy. Hydroponické systémy a s nimi spojené vertikální farmaření nabízí jednu z možností, jak se s tímto problémem do určité míry vypořádat. Tradiční zemědělství vyžaduje obrovské množství místa s plodnou půdou, což je problém v místech, kde je po plodinách největší zájem, a to v hustě obydlených oblastech. Hydroponické systémy mají tu výhodu, že nepotřebují půdu ani velké množství místa. Stává se z nich ideální alternativa k tradičnímu zemědělství, s možností zasazení do měst.

Hydroponický systém je pouze model, který má spoustu různých realizací. Například systém FaD (Flow and Drain) je velice jednoduchý na realizaci, jelikož stačí, aby jednou za čas napustil a vypustil nádrž s vodou. Naopak třeba aeroponie je založená na rozprašování roztoku na kořínky rostlin a ač je to metoda velice efektivní, je velice náročná na realizaci a údržbu.

Možnosti hydroponie nekončí u zavlažování rostlin. Systém je možné rozšířit o umělé osvětlení, izolaci místnosti od okolního prostředí a třeba i o řídicí jednotku. Všechny tyto věci lze upravit na míru rostlinám tak, aby bylo dosaženo ideálních podmínek růstu. Osvětlení je možné realizovat např. pomocí LED a zvolit ideální barevné spektrum pro konkrétní rostlinu. Vzduchová izolace zamezí škůdcům ohrožovat rostliny a není tak třeba používat chemikálie či pesticidy na ochranu rostlin.

Všechny tyto možnosti lze implementovat tak, aby byly kontrolovatelné a ovladatelné přes hlavní řídicí desku. Dále je možné vytvořit komunikaci přístrojů tak, aby tato deska posílala veškeré své informace na internetový cloud. Všechny údaje ze senzorů a případně i kamer je možné sledovat odkudkoli online. Mimo čtení údajů ze senzorů lze také celý hydroponický systém dálkově ovládat, konkrétně třeba měnit intenzitu osvětlení, zapnout či vypnout zavlažování, změnit teplotu v místnosti či zapnout oxidaci vody v konkrétní nádrži. Můžeme tak dosáhnout pokročilé obsluhy, která téměř nevyžaduje přítomnost a zároveň umožňuje absolutní kontrolu nad systémem.

Základní deska, na které celý systém běží nemá implementovaný přístup k internetu, a je třeba připojit wifi modul. Mezi nimi vyrobíme sériovou linku a pevně stanovíme, dle jakých pravidel se má přenos informací řídit. Následně propojíme wifi modul s internetovým cloudem a vytvoříme prostředí, pomocí kterého budeme systém ovládat. Konkrétně použijeme Arduino IoT cloud,

který je pro podobné účely téměř ideální. Bylo by možné pro celý systém vytvořit samostatnou internetovou stránku, nicméně jsem zvolil již připravené prostředí.



## Kapitola 2

### Koncept vzniku

#### 2.1 Světové problémy

##### 2.1.1 Přelidňování

Začátkem 19. století se díky technologickým (později i politickým) změnám snížila úmrtnost a průměrná délka lidského života se zdvojnásobila. To způsobilo, že počet lidí na planetě začal rapidně růst. Některé studie naznačují, že populační růst se zpomalí a dokonce zastaví a k přelidnění nedojde. Jiné studie přepovídají takzvanou Malthusiánskou katastrofu, kdy počet obyvatel země převyší zemědělskou výrobní kapacitu a dojde k hladomoru či válce o zdroje. I přes růst populace klesá počet pracovníků v zemědělství a také zemědělské půdy.

##### 2.1.2 Nedostatek surovin

Ačkoli zásoby surovin, které naše planeta poskytuje, jsou v osobním měřítku nepředstavitelně rozsáhlé, rapidní nárůst obyvatelstva a jeho potřeb jednoznačně poukazují na krátkost časového horizontu jejich vypotřebení. Mezi tyto suroviny řadíme např.: čistá voda, fosilní paliva, biomasa a obdělávatelná půda. Je tedy za potřeba hledat způsob, jak tyto zdroje surovin obnovovat či alespoň zpomalit jejich vypotřebení.

##### 2.1.3 Odpadní zdroje

S rostoucí populací a s rostoucí *quality of life* se začalo spotřebovávat obrovské množství energie (především města) a s tím přišlo i spousta odpadní energie. Tato odpadní energie může být v jakékoli formě (tepelná, elektrická, světelná, vodní, nevyužité materiály, čistá voda...). Konkrétně v rozvinutých městech je této energie mnoho.

##### 2.1.4 Ztráta zemědělské půdy

Jak již bylo zmíněno, zemědělská půda je omezený zdroj, který dochází. Aktivním a nesprávným používáním zemědělské půdy se z ní dostávají potřebné



## Kapitola 3

# Pěstování pomocí hydroponických systémů

### 3.1 Typy hydroponických systémů

Hydroponie je technika pěstování rostlin, která k růstu nevyžaduje půdu a je doplněna o automatické zavlažování. Rostlina je zasazena do umělé polyesterové houbovitě kostky (anglicky: sponge), která je dále v košíku, kde mohou kořeny volně viset dolů. Listy tak mají přístup ke kyslíku, zatímco kořeny mohou přijímat živný roztok.

Vzhledem k absenci půdy musí rostlina získávat živiny jinak. K tomu se používá speciální živný roztok. Tento roztok obsahuje správný poměr makroživin potřebných k vývoji dané rostliny. Přes 20 elementů je potřeba k optimálním podmínkám, uveďme si alespoň 17 základních: C, H, O, P, K, N, Ca, Mg, S, Fe, B, Mn, Cu, Zn, Mo, Cl, Ni. Nedostatek či přebytek některého může vyústit ve špatnou kvalitu produktů.

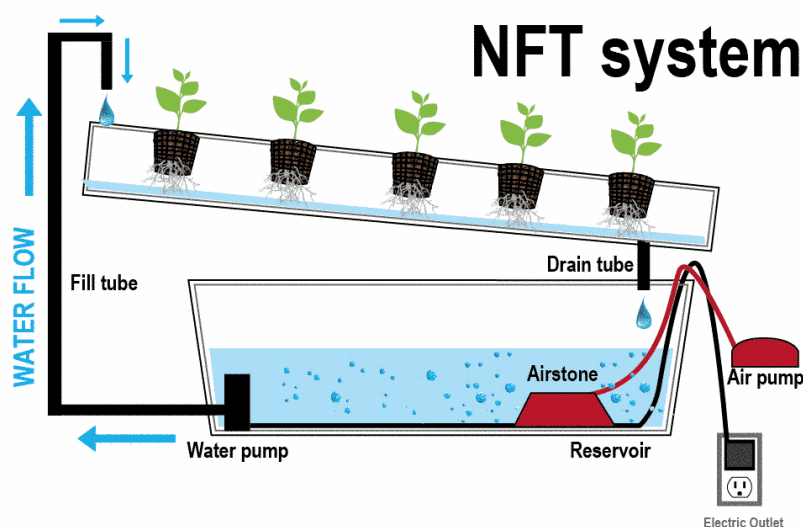
#### 3.1.1 NFT (Nutrient Film Technique)

V tomto systému jsou kořeny namočené ve velmi jemné vrstvě tekoucího živného roztoku. To rostlině poskytuje dostatek živin a zároveň zajišťuje, že nebude "přepitá". Tok vody vytvoříme mírným vyzdvižením jedné strany. Postačí 2-3 mm hluboký tok. Tento systém je ve své minimální podobě poměrně nenáročný. Je potřeba vodní čerpadlo, nádrž s živným roztokem a místo pro košíky. Náčrt systému je na obrázku 3.1.

#### 3.1.2 FaD (Flow and drain)

Systém FaD je jeden z jednodušších systémů na stavbu. Narozdíl od NFT či DFT nejsou rostliny permanentně vystaveny živnému roztoku. Namísto toho jsou jednou za určitý časový interval (záleží na rostlině, typicky 2-3 hodiny) zavlaženy dostatečně na to, aby se rostlina napila a aby se nasákla i houbová kostka, ve které je rostlina zasazena.

Na stavbu takového systému nám stačí pouze dvě oddělené nádoby, čerpadlo s časovačem a ventil (např. elektromagnetický). Jednoduchost tohoto systému s sebou však nese i nevýhody jako např. ohrožení rostliny během výpadku proudu nebo větší náchylnost vůči plísním.



Obrázek 3.1: NFT systém

### 3.1.3 DFT (Deep Flow Technique)

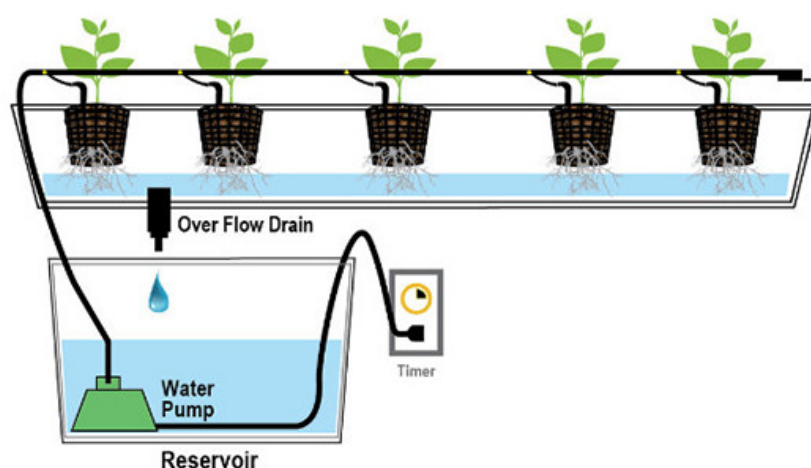
Název *deep flow* (česky: hluboký proud) tento systém dokonale vystihuje. Místo jemné vrstvy, je zde hlubší a silnější proud vody a kořeny jsou téměř celé pod vodou. To ovšem vyžaduje mnohem lepší cirkulaci živného roztoku. Především z pohledu  $CO_2$ , jelikož má rostlina omezenou schopnost dýchat. Panel s košíky většinou plave na vodě, na jedné straně je zajištěný přísun roztoku a na druhé straně vtéká zpět do nádrže.

Výhodou tohoto systému je schopnost poskytnout rostlině podmínky pro růst v případě výpadku elektrického proudu. Nevýhodou systému je špatná manipulace s panelem a jeho rostlinami způsobená vysoká hmotnost. Další nevýhoda tohoto systému je rychlé opotřebení panelu. Plovoucí materiály, které jsou využívány v tvorbě panelů, jsou náchylné na chytání prachu a množení vodních organismů, především řas. Tím ztrácí svoji schopnost odrážet světlo, což zapříčiňuje zvýšení potřebného množství vyzářeného světla pro rostliny, a tudíž větší energetické ztráty systému.

### 3.1.4 Aeroponie

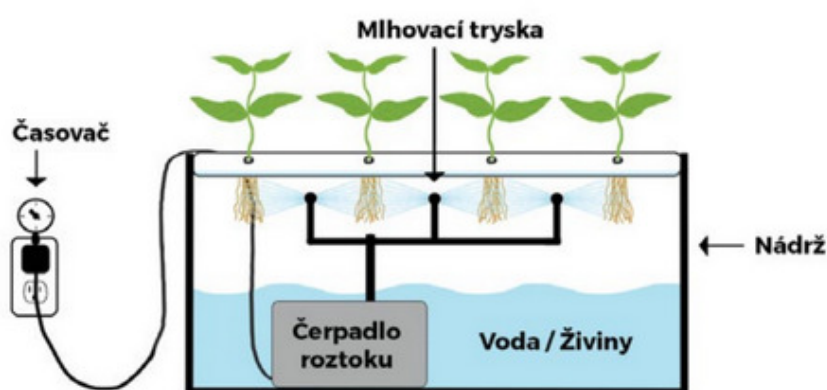
Aeroponie zprostředkovává rozprašování živného roztoku na kořeny rostlin. Rostliny jsou umístěny v košíčcích ve vzduchu. To umožňuje stálou vlhkost kořenů díky které mají kořeny dostatek živin a přísun vzduchu. Rozprašováním tak vzniká minimum odpadní vody a celý systém je tak velice šetrný na vodu. Kultivační buňka je velice lehká a to především kvůli absenci vodního toku. Umožňuje velice dobrou manipulaci.

Rozprašování roztoku na kořeny s sebou nese spoustu možných komplikací. Pokud by došlo k výpadku proudu nebo poruše čerpadla, rostlinám hrozí vyschnutí. Další nevýhodou je možnost ucpání trysky (krystalizace složek roztoku, mikroorganismy). Je tedy třeba pravidelně systém čistit a kontrolovat.



Obrázek 3.2: DFT systém

Na obrázku 3.3 je náčrt aeroponického systému.



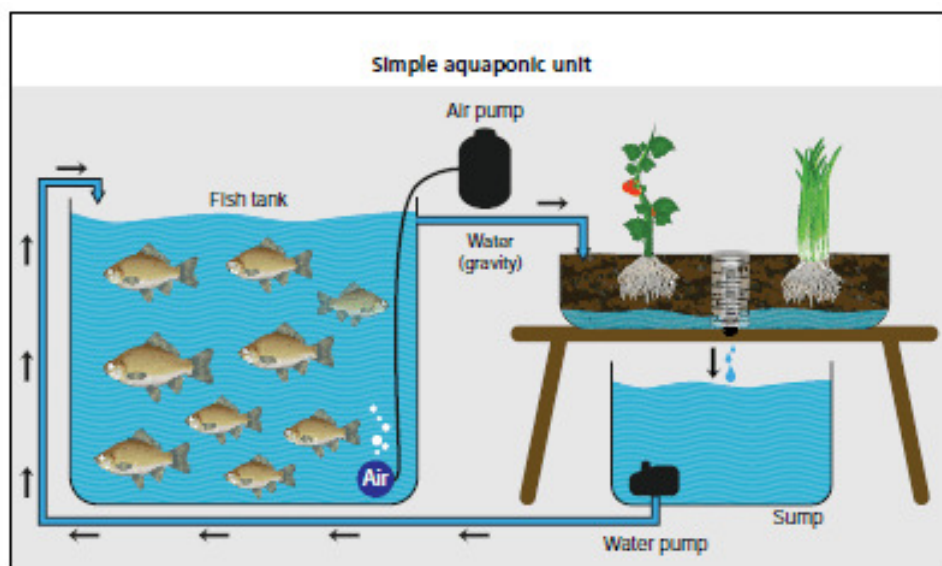
Obrázek 3.3: Princip aeroponie

### 3.1.5 Aquaponie

Aquaponie je technika pěstování, která doplňuje hydroponii o integraci vodních organismů do uzavřené smyčky. Odpad který ryby vytvářejí, je využíván jako přírodní hnojivo. Toto organické hnojivo je rozloženo mikroorganismy na neorganické složky, které jsou rostliny schopny přijmat mnohem lépe než organické.

Například rostliny potřebují vodu obohacenou o  $CO_2$  a vrací vodu s  $O_2$ . Ryby naopak dýcháním spotřebovávají  $O_2$  ve vodě a obohacují ji o  $CO_2$ . Tyto a další probíhající reakce vytvářejí teplo, které lze využít na udržení teploty. Podobné vlastnosti a možnosti integrace do hydroponických systémů mají například houby. Je tedy teoreticky možné vytvořit farmu, kde se budou pěstovat rostliny, ryby a houby s minimální odpadní složkou. Na obrázku 3.4

je jednoduchý náčrt aquaponického systému



Obrázek 3.4: Aquaponický systém

## 3.2 Umístění hydroponických systémů

### 3.2.1 Skleníky

Skleník patří spíše k tradičním způsobům pěstování. Moderní skleníky mají implementovaný hydroponický systém pro efektivnější a stabilnější produkci než je to v standardním obdělávání půdy. Je to poměrně efektivní způsob zemědělství. Skleník lze postavit téměř kdekoli, kde je přístup ke slunečnímu světlu a k čisté vodě. Zabere podstatně menší plochu než tradiční zemědělství, a je tak možné jej postavit i nedaleko hustěobydlených oblastí. Obrázek 3.5 nabízí pohled do moderního skleníku vybaveného hydroponií.

Oproti CPPS se liší především tím, že se spoléhá na sluneční světlo. To je sice bez nákladů, ale bohužel nemáme možnost jej ve skleníku ovládat a není to tolik energeticky efektivní. Intenzita slunečního záření je často příliš nízká. To nastává například k večeru, kdy Slunce zapadá, ráno když vychází, během dnů, kdy je zataženo či prší, a během zimy. Naopak během léta a poledne bývá intenzita příliš vysoká. Též nemůžeme ovlivnit kvalitu a směr slunečního záření. Může tak nastat, že některé rostliny budou strádat.

Další nevýhoda skleníku je náročná tepelná regulace. Vzhledem k tomu, že teplota uvnitř skleníku je silně ovlivněna slunečním zářením, je poměrně náročné udržet dlouhodobě stabilní teplotu. Pro snížení teploty je vyžadováno větrání. Pokud však dochází k výměně ovzduší mezi skleníkem a venkem, hrozí nebezpečí, že rostliny budou nakaženy hmyzem či nemocí. Je třeba tedy použít řadu chemikálií, které budou rostlinu chránit. Tím dochází ke zhoršení



**Obrázek 3.5:** Hydroponický skleník

kvality a hodnoty produktů. Nicméně v porovnání s tradičním zemědělstvím je hydroponický skleník velice efektivní nástroj.

### ■ 3.2.2 CPPS (Closed Plant Production System)

CPPS je termín, který do sebe zahrnuje veškeré pěstování rostlin v tepelně i vzduchově izolovaných prostorách, které jsou podobné skladišti či hale. Patří do něj i model PFAL, což popisuje více konkrétní systém. Izolovanost těchto prostor nám poskytuje velké množství výhod:

1. Je možné CPPS postavit téměř kdekoli. Není na něj potřeba půda nebo sluneční světlo.
2. Prostředí je velmi dobře kontrolovatelné (teplota, vlhkost vzduchu, čistota).
3. Plodiny jsou chráněny před venkovními vlivy (bouře, hmyz, záplavy atd.).
4. Není třeba používat chemikálie pro ochranu rostlin.
5. Celoroční produkce plodin, což zaručuje více než 100 $times$  větší sklizeň na stejném prostoru, jako při tradičním zemědělství.
6. Menší množství bakterií a mikroorganismů (až 1000 $times$  méně) ponechává rostliny trvanlivější.
7. Minimální vliv na okolní prostředí.

Nicméně i přes všechny výhody má CPPS spoustu nedostatků. Mezi největší patří potřeba velké počáteční investice a velká provozní cena. Největší část provozní ceny tvoří cena elektřiny za umělé svícení. 70% až 80% veškerých cen za elektřinu tvoří umělé osvětlení.



## Kapitola 4

### Použití hydroponie ve světě

#### 4.1 Ekonomická stránka hydroponických systémů

V této sekci porovnávám ekonomickou stránku hydroponického skleníku a vertikální farmy. Jedná se o reálné stavby a pracuji se zveřejněnými daty. Skleník patří firmě BrightFarms a vertikální farma společnosti AeroFarms. Předpokládá se, že přístroje budou použitelné 15 let. Cena energií je odhadnuta na 9 Kč na kilo produkce. Údaje jsou za rok. Celková cena je počítána podle rovnice 4.1.

$$C_{celk} = \frac{O}{P} + \frac{N_{zam} \cdot C_{zam}}{P} + C_{en} + C_{tran} \quad (4.1)$$

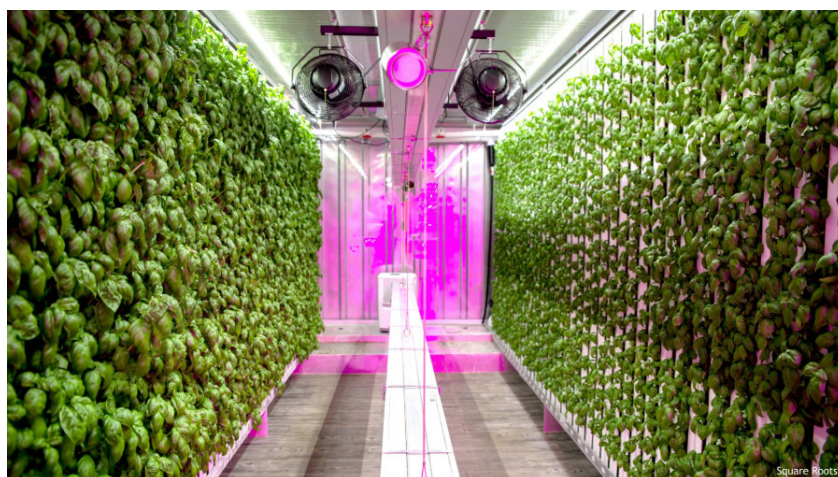
	Skleník	Vertikální farma
Velikost prostoru	26000 m <sup>2</sup>	6400 m <sup>2</sup>
Požizovací cena	400 mil. Kč	850 mil. Kč
[P] kil vyprodukovaných potravin	900 000	900 000
[O <sub>dpisy</sub> ] roční odpisy	26,5 mil. Kč	56,5 mil. Kč
odpisy na kilo produkce	29 Kč	63 Kč
[N <sub>zam</sub> ] Potřebný počet zaměstnanců	55	58
[C <sub>zam</sub> ] Cena za jednoho zaměstnance	870 000 Kč	870 000 Kč
Celková cena za zaměstnance	48 mil. Kč	50 mil. Kč
Cena zaměstnanců na kilo	53 Kč	55Kč
[C <sub>en</sub> ] Odhadnutá cena energií za kilo	18 Kč	18 Kč
Celková cena výroby 1 kila	71 Kč	73 Kč
[C <sub>tran</sub> ] Odhadnutá cena transportu za kilo	9 Kč	9 Kč
[C <sub>celk</sub> ] Celková cena za kilo	109kč	145 Kč

**Tabulka 4.1:** Ceny skleníkové farmy a vertikální farmy

## 4.2 Firmy pracující s hydroponií

### 4.2.1 Square Roots

Kimbal Musk, bratr známého podnikatele Elona Muska, vytvořil moderní farmářskou společnost Square Roots. Pomocí námořních kontejnerů vybavených technologií vertikálního farmářství dodává čerstvé ovoce, zeleninu a bylinky občanům Brooklynu. Stále se jedná o poměrně malou firmu, nicméně potenciál pěstování v kontejnerech je opravdu velký. Dle [12] dokáže jeden kontejner o rozloze 30m<sup>2</sup> ročně vyprodukovat stejně potravin, jako přibližně 6500m<sup>2</sup> klasické zemědělské půdy. Kontejnery představují izolovanou soustavu, ve které se dají pomocí počítače kontrolovat podmínky růstu jako např. teplota, osvětlení, vlhkost vzduchu, živiny dodané rostlinám atd. To, že je kontejner uzavřený, poskytuje výhodu odolnosti vůči venkovním vlivům. Celá tato kontrola je ale energeticky náročná. To se Square Roots snaží řešit pomocí solárních panelů na vrchu kontejnerů. Na obrázku 4.1 je vidět vnitřek námořního kontejneru



Obrázek 4.1: Námořní kontejner

### 4.2.2 AeroFarms

AeroFarms je jedna z největších firem pěstující rostliny pomocí vertikální technologie. Své farmy umísťuje do starých či nepoužívaných budov ve městech nebo dokonce staví moderní specializované haly pro pěstování. Jejich produktivita je vzhledem k použitému prostoru až 400times lepší než u standardních farem. Na obrázku 4.2 je zobrazena hala pro pěstování.

### 4.2.3 Feel Greens

Společnost Feel Greens je největší český zástupce chytrého vertikálního farmářství. Vlastní první komerční produkci ve vertikální farmě v České republice.



**Obrázek 4.2:** Hala uzpůsobená pro vertikální farmaření

Nachází se v Břeclavi společně s kamenným obchodem, ve kterém lze nakoupit čerstvé produkty. Pro pěstování se využívá hydroponie, a nabízí tak produkty bez pesticidů, škůdců a až s úsporou vody až 95%.



## Kapitola 5

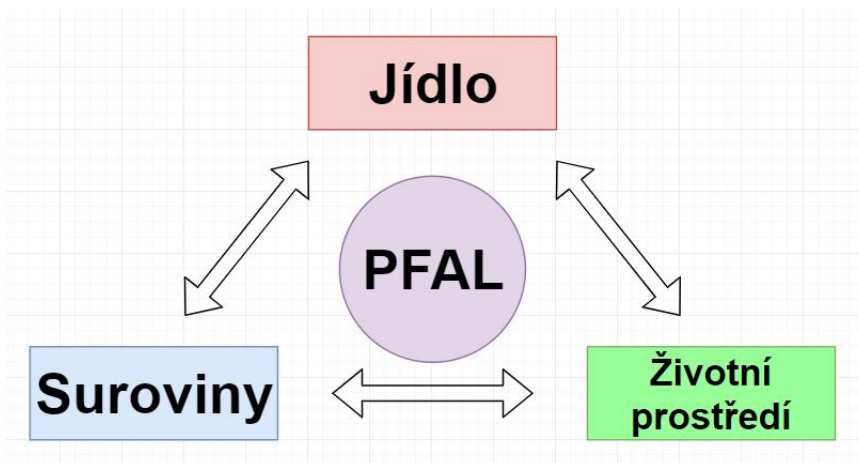
### Model PFAL (plant factory with artificial lighting)

Světové zemědělství by se dalo shrnout do tří možných nedostatků:

- Nedostatek, či silná nestabilita v dodávkách potravin.
- Nedostatek surovin pro pěstování.
- Degradace životního prostředí.

Pokud se povede některý z těchto nedostatků vyřešit či ho úplně eliminovat, je to ve většině případů na úkor ostatních dvou. Pro eliminaci tohoto problému je zapotřebí modelu, který stabilně dodává velké množství potravin s minimální spotřebou surovin a s minimálním negativním vlivem na životní prostředí.

Obrázek 5.1 znázorňuje, jaký je účel modelu PFAL. Hledá co nejvyváženější cestu mezi těmito problémy a snaží se najít jakýsi kompromis pro efektivní zemědělství.



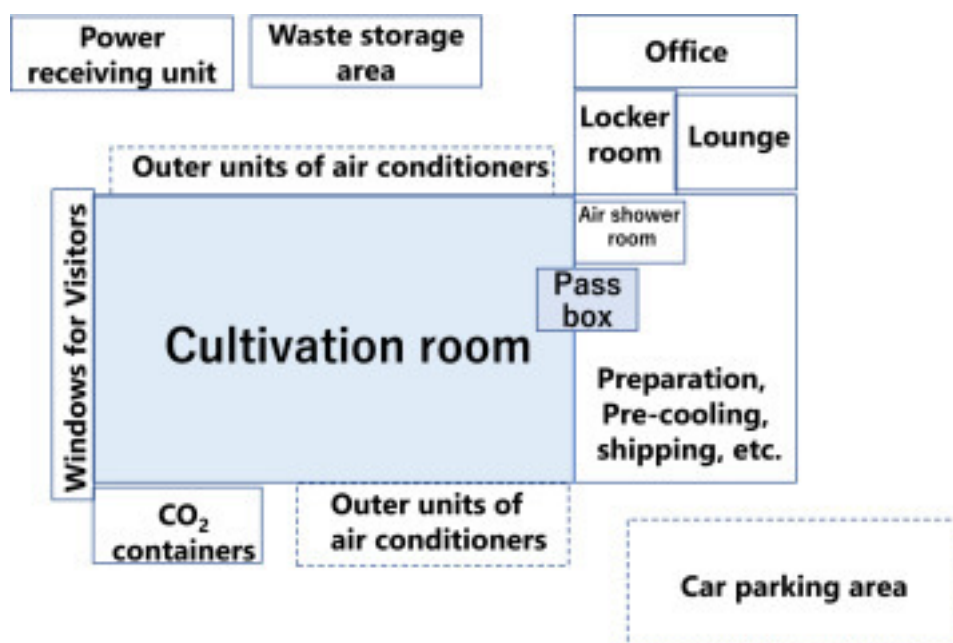
Obrázek 5.1: Trilemma

PFAL je jedním z modelů u kterého se předpokládá, že by v budoucnu mohl fungovat. Zatím je bohužel omezen vysokou počáteční investicí, cenou za energie a potřebnou pracovní silou.

V místech s vysokou hustotou obydlí je potřeba velké množství jídla každý den. Zároveň je vyprodukováno obrovské množství odpadu do kterých můžeme zahrnout  $CO_2$ , biomasu, teplo či odpadní vodu. Tyto vedlejší produkty jsou pro rostliny zdrojem živin, nikoli odpadem. PFAL se snaží všechny tyto věci využívat, ale stále si neumí poradit s drahým světlem, které je potřeba generovat pomocí elektrické energie. PFAL je velice svázaný s CPPS. Na obrázku 5.2 je náčrt struktury farmy.

## 5.1 Části modelu PFAL

Obrázek 5.2 popisuje, jak by mohla vypadat struktura PFAL farmy. Počítá se i s místnostmi pro personál. V následujících podkapitolách budu rozebírat pouze klíčové či jinak zajímavé místnosti.



Obrázek 5.2: Rozložení místností

### 5.1.1 Místnost (Cultivation room)

Požadavky na místnost nejsou nikterak náročné. Cílem je dosáhnout místnosti, která bude co nejlépe tepelně izolovaná, vzduchotěsná a čistá. Jednoduše: čím lepší izolace, tím méně energie je potřeba na vytápění. Čím více vzduchotěsná, tím je lépe udržitelná, a to jak z pohledu tepla, tak čistoty. Čistota vzduchu se projeví především na lepší kvalitě rostlin a na prodloužení životnosti používaných přístrojů. Největší aktuálně používané místnosti mají rozlohu cca 5000 m<sup>2</sup>. Při takových rozměrech se používá plná automatizace s přístroji na zasívání, přesazování, sklízení i balení rostlin. Obecně se však zatím nevyplatí takovou automatizaci dělat v místnostech menších než 1000 m<sup>2</sup>

### ■ 5.1.2 Buňka a paleta

Buňka je prostor, ve kterém bude rostlina růst. V každé buňce bude potřeba zajistit místo pro růst (paleta s košíky), osvětlení a nádržku s živným roztokem. Do buňky také zahrneme lokální trubky pro šíření roztoku. V jedné buňce bývá přibližně 20 rostlin, záleží však samozřejmě na konkrétní plodině.

### ■ 5.1.3 Zásoby

Do zásob počítáme suroviny potřebné pro chod. Čistě mezi suroviny řadíme  $CO_2$  uschovaný v uzavřeném kontejneru. Ten je napojený na řídicí jednotku a trubkový rozvodný systém. Dále potřebujeme vodu, resp. tři nádrže s vodou. Čistá voda v první nádrži, v druhé probíhá příprava živného roztoku (jsou zde uváděny v poměr živiny,  $CO_2$  a čistá voda) a třetí nádrž na odpadní vodu. Mezi potřebné suroviny můžeme zařadit i světlo a elektrickou energii. Je potřeba svoji produkci maximálně chránit a jedním z nebezpečí je výpadek proudu, který může ochromit celý systém a způsobit uhynutí rostlin. Je tedy vhodné mít nějaký záložní zdroj elektrické energie. Může se jednat o předem nabitou baterii či o samostatný generátor.

### ■ 5.1.4 Jednotka pro sběr a manipulaci s daty

Pro úspěšné pěstování je potřeba sbírat a vyhodnocovat získaná data (teplota, vlkost, poměr  $CO_2$  a živin ve vodě, doba svícení atd). Tato data mohou být vyhodnocována chytrým systémem, který buď zvládne nedostatky vyřešit sám, nebo dá informaci personálu. Komplexnost a inteligence vyhodnocování může nabývat libovolných rozměrů.

## ■ 5.2 Aktuální problémy modelu PFAL

1. Potřebná počáteční investice je velmi vysoká.
2. Operační cena je též velmi vysoká. Pro efektivní pěstování je třeba tuto cenu snížit o alespoň 30%.
3. Osvětlování spotřebuje moc velké množství energie.
4. Nejsou vyvinuty systémy na efektivní hospodaření s energií a substancemi v procesu.
5. Řasy rostou v jakémkoli prostředí, kde se nachází voda, světlo a živiny. Je potřeba vyvinout způsob, jak eliminovat jeho šíření.
6. Není vyvinutá studie na optimální obsah příznivých a nepříznivých mikroorganismů v substrátu.
7. Není vyvinutá potřebná technologie pro automatizaci procesu a aplikaci smart PFAL.

### 5.3 Vhodné a nevhodné rostliny pro PFAL/Rostliny použitelné v modelu PFAL

Vhodné rostliny, které se dají efektivně pěstovat ve vertikálních farmách, musí mít následující vlastnosti.

1. Rostlina nesmí být vysoká pro zasazení do několikapatrové struktury (Jedna buňka je vysoká cca. 50 cm).
2. Vybrat si rychlerostoucí rostliny. Ideálně tak rychlé, aby bylo možné ji sklídit po cca 10-30 dnech.
3. Nenáročná na množství přijatého světla a na prostor k růstu (aby se vešlo do jedné buňky co nejvíce plodin).
4. Aby produkt benefitoval z kontrolovaného prostředí (rychlejší/kvalitnější produkce).
5. Velká část rostliny musí být konzumovatelná/prodatelná (pokud bude nepoživatelný kořen tvořit 60% hmotnosti, je to značně neefektivní)

Mezi takové rostliny řadíme například hlávkový salát, mrkev, tuřín, ředkvičky. Dále jsou ideální bylinky, protože jsou nenáročné na pěstování a protože je po nich velká poptávka ve vysoce obydlených oblastech.

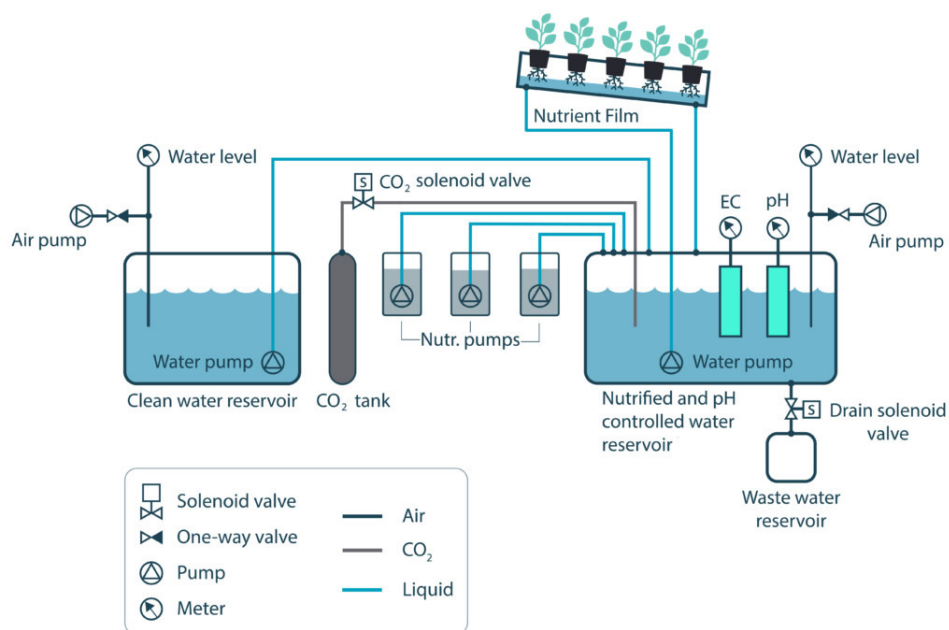


## Kapitola 6

### Použití senzorů

#### 6.1 Měřené veličiny a použité senzory

Při standardním farmaření si rostlina bere živiny z půdy. V hydroponickém systému si veškeré živiny bere z vody (roztoku). Pokud bude živin v roztoku málo, budou rostliny strádat. Pokud jich bude moc, může to být pro rostliny toxické. Monitoring kvality a složení vody bude pro hydroponický systém klíčový. U roztoku budeme měřit 3 základní veličiny: teplotu, pH a vodivost (konduktivita).



Obrázek 6.1: Schéma hydroponického systému

Na použité senzory nejsou kladeny příliš velké nároky. Vzhledem k tomu, že pracujeme s živými organismy, které jsou na prostředí velmi citlivé, nebudeme zacházet do extrémů. Typicky: Co přežije rostlina, vydrží i senzor.

### 6.1.1 Vodivost a teplota

Rostliné živiny v roztoku se skládají z minerálních solí rozpuštěných ve vodě. Čím více těchto živin se ve vodě nachází, tím roste elektrická vodivost vody. Díky tomu můžeme měřit koncentraci živin v roztoku pomocí snadno měřitelné vodivosti. Různé rostliny vyžadují různé hodnoty živin, následkem čehož potřebujeme udržet různé hodnoty vodivosti. Pro toto použití si vystačíme s laboratorním konduktivním senzorem se dvěma elektrodami.

Teplota nám ovlivňuje i vodivost vod. To však bude řešeno optimalizací na řídicí desce. Nicméně žádné velké teplotní výkyvy nepředpokládáme. Postačí tedy levný teplotní senzor. Je možné použít i senzor, který měří jak vodivost, tak teplotu. To je v našem případě ideální řešení, jelikož nám to ušetří práci.

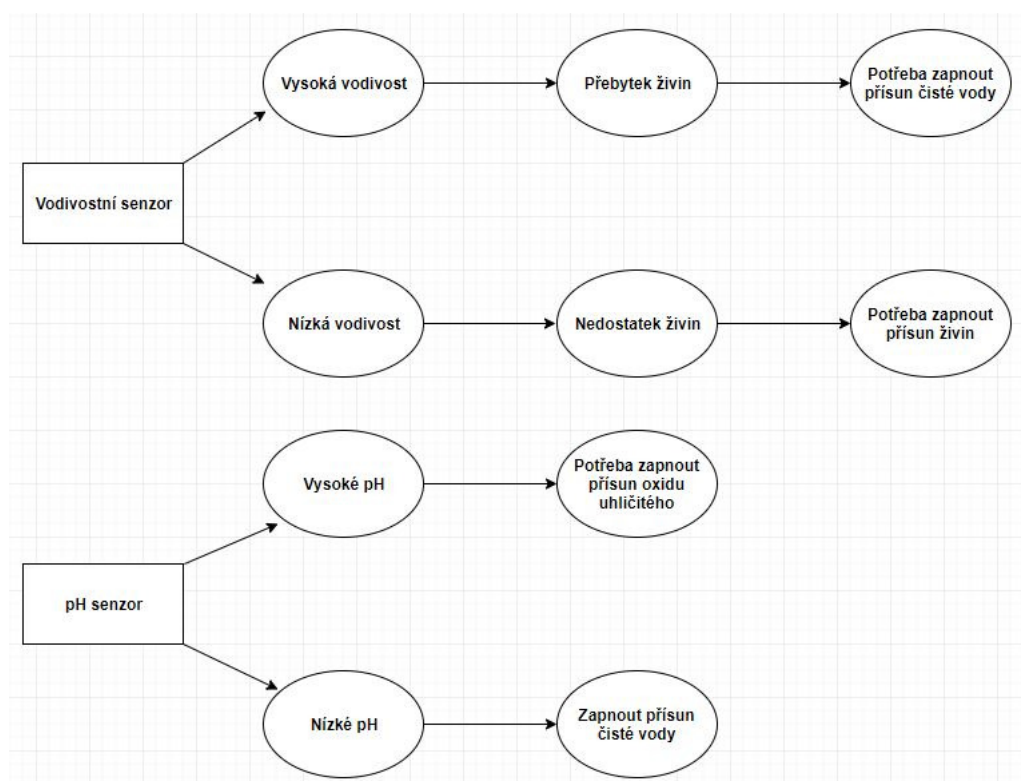
### 6.1.2 pH

Rostliny vsakují živiny pomocí svých kořenů z živného roztoku, tato schopnost je silně ovlivněna hladinou pH daného roztoku. Příklad: Kyselé roztoky podporují absorpci hliníku, vodíku a manganu. Pokud je kyselost příliš vysoká (nízké pH), přebytek těchto prvků může být pro rostlinu toxický. Vysoká kyselost také omezuje příjem vápníku a hořčíku. Nízké pH tedy povede k deficitu těchto prvků. Zásadité roztoky zase podporují příjem makroživin, ale omezují příjem fosforu, zinku, železa a mědi. Vzhledem k tomu, že nepotřebujeme žádné extrémní prostředí (velmi vysoké či nízké pH), vystačíme si s poměrně levným laboratorním elektrochemickým pH senzorem.

## 6.2 Zasazení senzorů do systému

Hydroponický systém většinou obsahuje 3 nádrže s vodou. Jedna obsahuje čistou vodu, druhá vodu obohacenou o živiny (živný roztok) a ve třetí nádrži je odpadní voda. PH a kompozice živin je kontrolována pomocí trubek a pump v druhé nádrži. Lze tak přidat do roztoku živiny, oxid uhličitý nebo čistou vodu. Čerpání odpadní vody ze systému umožňuje udržet konzistentní hladinu vody a zároveň kontrolovat poměr živin a pH.

Do hydroponického systému tedy potřebujeme vodivostní, teplotní a pH senzor, všechny do nádrže s živinami obohacenou vodou. Podle měření těchto senzorů je možno poslat signál k otevření přísunu čisté vody, živin nebo oxidu uhličitého. Příklad: Pokud bude vodivost příliš vysoká, indikuje to přebytek živin v roztoku. Senzor vyšle signál pro zapnutí čerpadla, který přidá čistou vodu. Naopak pokud bude vodivost nízká, může senzor vyslat signál pro přidání živin do vody. Podobně lze ovlivňovat pH pomocí oxidu uhličitého.



Obrázek 6.2: Ukázka funkce senzorů v systému



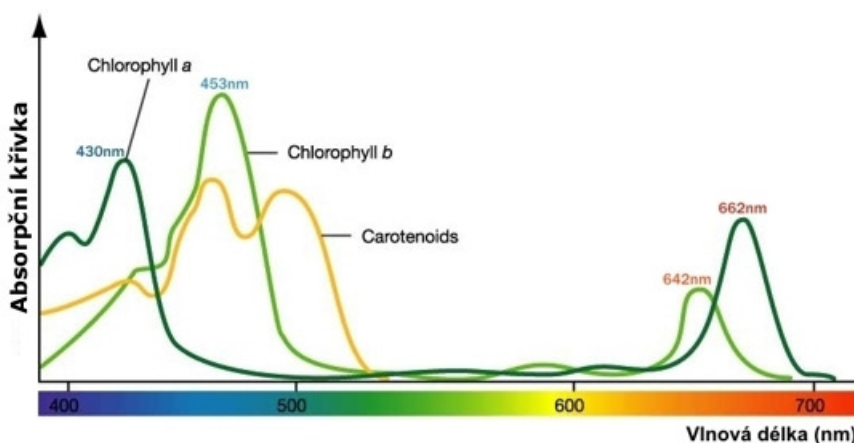
## Kapitola 7

### Možné rozšíření systému o umělé osvětlení

Při běžném pěstování se musí rostlina přizpůsobit dennímu a nočnímu cyklu. Pokud rostlině daný cyklus nevyhovuje, projeví se to na kvalitě i kvantitě produktů. V hydroponických systémech je veškeré svícení umělé. To nám nabízí možnost poskytnout rostlině ideální podmínky k růstu a dosáhnout tak maximální efektivity. Dva základní aspekty umělého osvětlení jsou poskytnuté světlo a doba svícení. Doba svícení lze jednoduše nastavit pomocí časovače a nebudu se jí moc zabývat.

#### 7.1 Světelné potřeby rostlin

Pro růst většiny rostlin jsou nejdůležitější chlorofil A, B a karotenoidy. Na 7.1 je zobrazen graf, vyznačující absorpční spektrum pro tvorbu těchto barviv. Z obrázku dokážeme vyčíst, že rostliny potřebují především modré a červené světlo (modrá: vrcholy na vlnové délce 430 nm a 453 nm, červená: 642 nm a 662 nm). Modré světlo je primárně určeno pro růst rostlin, zatímco světlo červené pro tvorbu plodů a květů. Zelené světlo naopak rostliny neabsorbují vůbec, naopak jej odráží.



Obrázek 7.1: Absorpční spektrum rostlin

Pro osvětlení hydroponického systému tedy bude ideální pouze určité spektrum, které je kombinací modré a červené barvy. Samozřejmě bychom



Možnost regulovat vlnovou délku vyzářeného světla tvoří též obrovské plus. Je možné nastavit světlo tak, aby odpovídalo fázi vývoje rostliny.

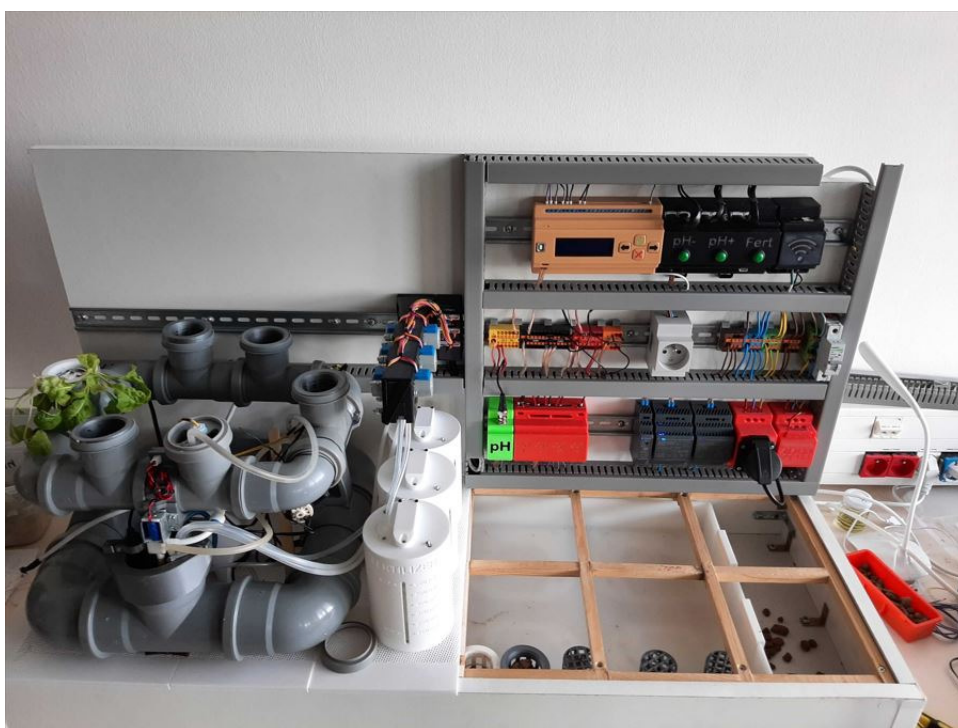
Vzhledem k demonstračnímu účelu našeho hydroponického systému bych zvolil svícení pomocí LED. Ač zmiňuji že není nejlevnější, vyhovuje dokonale malému počtu rostlin. Dle mého úsudku je LED svícení také nejestetičtější a poskytuje nejjednodušší přístup k ovládání vysvícených barev.





## Kapitola 8

### Projekt: Hydroponický systém



Obrázek 8.1: Prototyp hydroponického systému

#### 8.1 Aktuální stav

Budu navazovat na již rozpracovaný projekt. Jde o již fungující hydroponický systém, který je schopný pojmout 5 rostlin najednou. Jeho účely jsou především demonstrační, a není tak třeba aby měl velkou kapacitu.

Základem jsou dvě nádrže s vodou položené nad sebou, přičemž nad vrchní nádobou jsou košíčky pro růst rostlin. Ve spodní nádrži se voda udržuje a kontroluje, probíhá zde míchání s živným roztokem, balancování pH a oxidace. Vrchní nádrž je přímo napojená na rostliny a jednou za 3 hodiny je zaplavena živným roztokem, aby se mohly rostliny zavlažit. Po několika minutách je

voda vypuštěna zpět pomocí elektromagnetického ventilu. Jde tedy o systém FaD (Flow and Drain) viz. 3.1.2.

### ■ 8.1.1 Hlavní řídicí deska

Hlavní řídicí deska celého systému je Arduino MEGA 2560. Obsahuje 54 digitálních pinů a 16 analogových. Dále také 256 kB flash paměti a USB rozhraní. Nepodporuje však bluetooth ani wifi. To bude zapotřebí vyřešit připojením další desky (ESP32). Na desku je také napojený jednoduchý display s tlačítky. Ten dává informace o probíhajících procesech a odpočítává dobu do jejich ukončení. Například když deska zapne zavlažování, na displayi se ukáže: Probíhá zavlažování, zbývající čas 3:00. Dále display nabízí menu, aby bylo možné ručně zkontrolovat např. hladinu pH či zapnout zavlažování.

Hlavní řídicí deska je naprogramovaná tak, aby pravidelně prováděla určité úkony. Mezi ty patří oxidace vody ve spodní nádrži, zavlažování rostlin aktivací čerpadla ve spodní nádrži a následné vypuštění horní nádrže povolením elektromagnetického ventilu. Dále jsou na desku napojeny senzory, tudíž lze vyčíst aktuální pH či teplotu vody. V budoucnu bude deska udržovat stabilní poměr živin v roztoku pomocí vyhodnocení dat ze sensorů.

Řídicí program je napsaný v C/C++. Celá deska je naprogramovaná jako stavový automat, kdy se systém vždy nachází v jendom určitém stavu a do ostatích nemá přístup, dokud se do nich nepřepne. To je realizováno rozvětvením funkce *switch* na různé případy *case*. Každý případ pak reprezentuje jeden z možných stavů jako například základní menu, oxidace, zavlažování atd. Pokud chci něco implementovat do systému, mám pouze dvě možnosti. Buď tuto změnu vložit do každého stavu zvlášť, nebo vytvořit nový stav, do kterého se systém přepne. Tento stav by však musel být velice krátký, aby nenarušil průběh akcí.

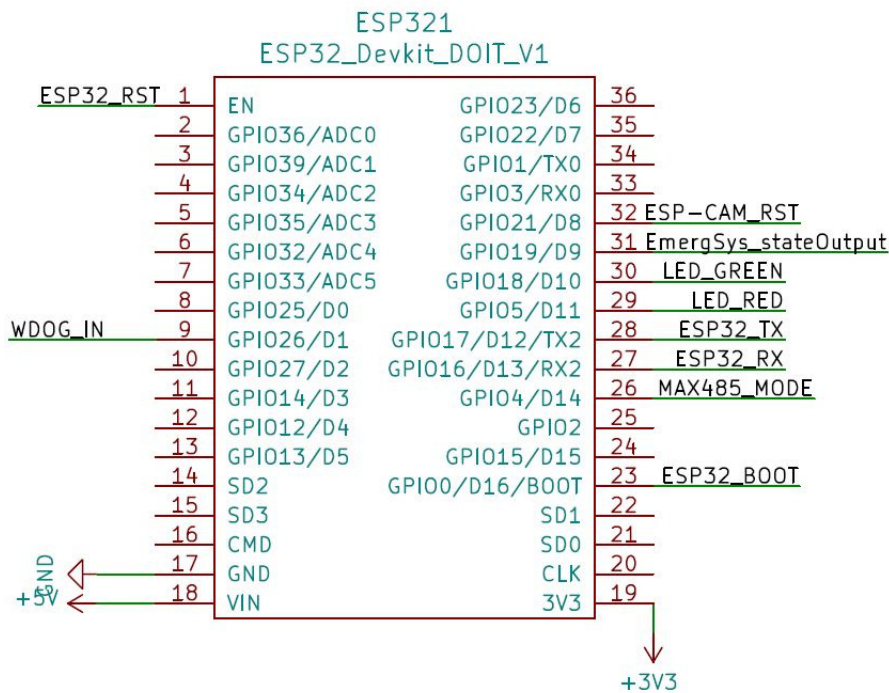
## ■ 8.2 Wifi modul

Připojení k internetu je realizované přes externí wifi modul, hlavní řídicí deska totiž nemá integrovanou wifi. Základem celého wifi modulu je deska DOIT ESP32 devkit V1, která podporuje wifi v několika režimech. Dále modul obsahuje shield pro ESP32, který desku doplňuje o potřebné součásti, například rozhraní pro použití standardu sériové komunikace RS485.

Hlavní řídicí deska bude přes sériovou linku komunikovat s wifi modulem dle stanoveného komunikačního protokolu. Dále se wifi modul připojí ke školní síti Eduroam a následně k internetovému cloudu Arduino IoT. Cloud bude sloužit jako úložiště dat a jako prostředek pro ovládání a kontrolu celého hydroponického systému. Bude tedy možné celý systém ovládat přes internet.

### ■ 8.2.1 ESP32

Základem komunikace s internetem bude deska DOIT ESP32 devkit V1. Obsahuje dvoujádrový 32-bit mikroprocesor s pracovní frekvencí až 240 Mhz



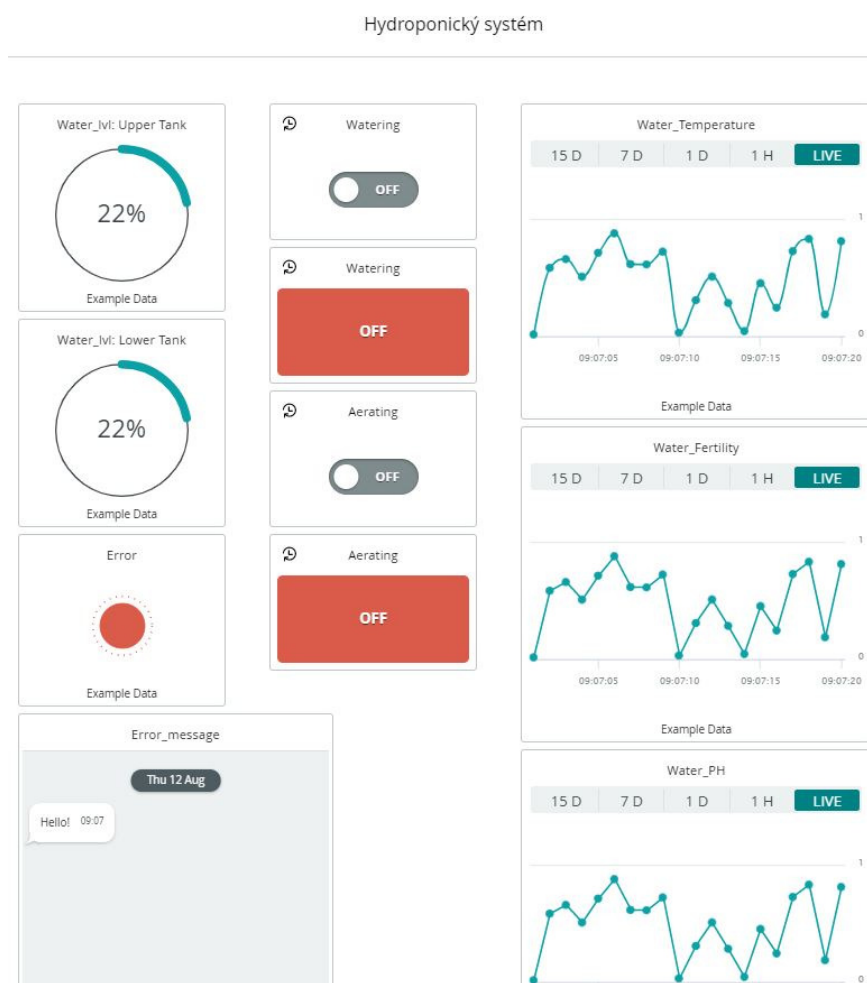
Obrázek 8.2: ESP32 schéma

a s výkonem 600 DMIPS, wifi 802.11 a bluetooth v4.2. Operační napětí je 3.3V, což je méně než 5V které používá hlavní řídicí deska. Dále obsahuje 25 digitálních pinů a 8 analogových. Na obrázku 8.2 můžeme vidět pinout a označení pinů vyvedených na shield.

Deska především zajišťuje připojení k internetu, může pracovat ve dvou základních režimech: Station (STA) a Access Point (AP). režim AP funguje tak, že si deska vytvoří svoji vlastní lokální wifi síť, na kterou se mohou připojit okolní zařízení. STA naopak využívá již fungující síť (např. z routeru) na kterou se připojí společně s ostatními zařízeními. Vzhledem k tomu, že AP režim je omezený vysílacím dosahem ESP32 (je pouze lokální) a neumožňuje připojení k zařízením mimo dosah, zvolil jsem režim STA. Hydroponický systém je umístěn na fakultě, která je pokrytá sítí Eduroam. Lze tak tuto síť využít k připojení systému k internetovému cloudu.

## 8.2.2 Arduino IOT cloud

Jako platforma přes kterou budeme ovládat veškeré prvky nám poslouží Arduino IoT Cloud. Jedná se o relativně novou platformu firmy Arduino, a desky ESP32 ještě nejsou plně podporovány. Nicméně jsem během práce nenarazil na problém s kompatibilitou. IoT cloud disponuje především velice intuitivní tvorbou hlavní monitorovací stránky. Tam je možné využít již předpřipravené widgety ve formě tlačítek, posuvníků či textových polí. Na obrázku 8.3 můžeme vidět prototyp toho, jak vypadá dashboard s widgety pro kontrolu systému.



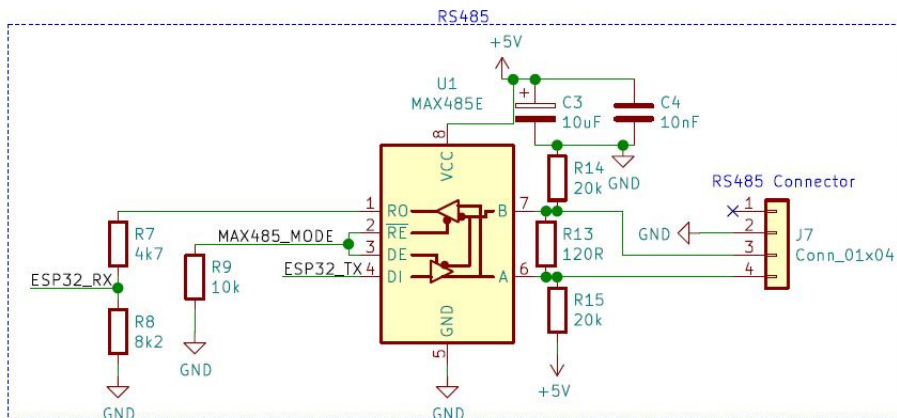
Obrázek 8.3: Arduino IoT dashboard

### 8.2.3 Shield

Ač je komunikační deska s wifi rozhraním ESP32 velice rozmanitá, nebylo by jednoduché ji zasadit do systému. Proto je na ni připojený shield, který poskytuje řadu rozhraní a velice ulehčuje práci s deskou. Tento shield disponuje například výstupem pro RS-485 a také transceiverem MAX485E, který slouží jako konverzní člen (pouze úroňová logika). Dále systémem Watchdog, 5V napájecím vstupem či konektorem pro reset kamery.

#### Komunikace shieldu po RS485

Na schéma 8.4 můžeme vidět vyvedení pinů z ESP32 do transceiveru MAX485E a následně do RS485 konektoru. Pro RS-485 konektor jsou využity 3 piny: GPIO16/ESP32-RX, GPIO17/ESP32-TX a GPIO14/MAX485-MODE. Pin pro přijímání dat je označen RX2 (Receive), pro odesílání dat TX2 (Transmit) a pro přepínání příjmacího a vysílacího stavu slouží MAX485-MODE. Ze schéma lze vyčíst, že piny RE a DE jsou spojeny a vyvedeny na MAX485-



Obrázek 8.4: ESP-RS485 schéma

MODE. Pokud se nachází v logické 0 tak zařízení informace přijímá, pokud v logické 1, tak zařízení vysílá. MAX485-MODE má pomocí pulldown rezistoru R9 výchozí pozici v logické 0, tudíž je v přijímacím režimu.

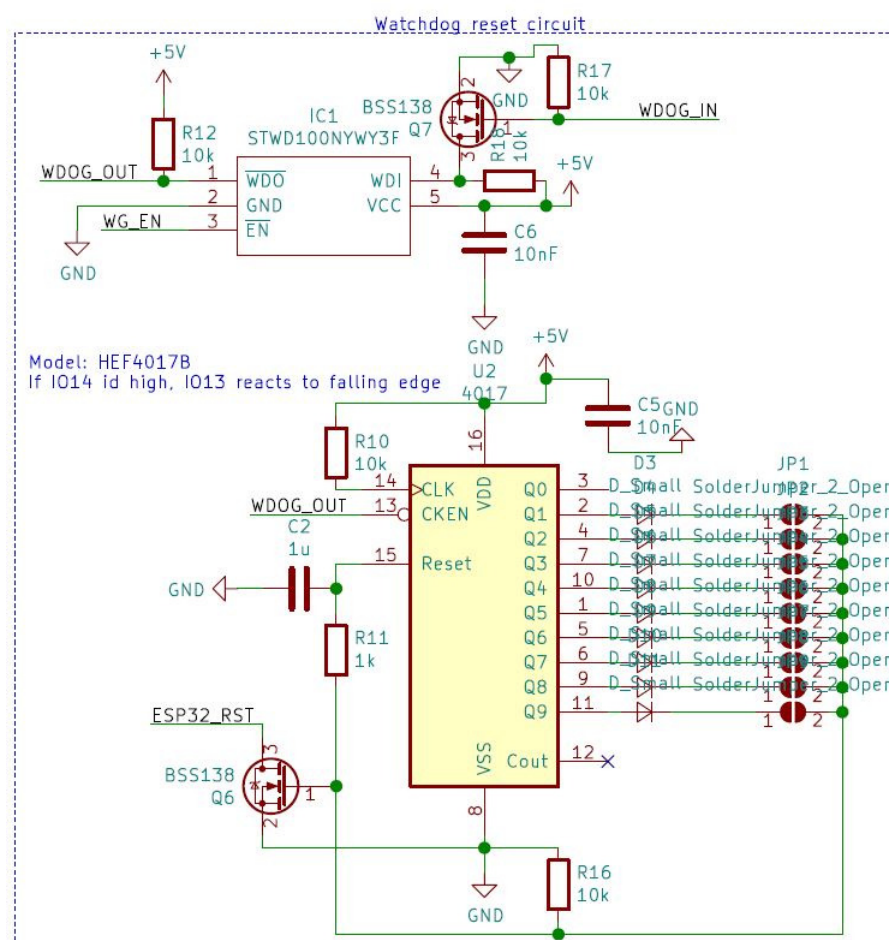
## ■ Watchdog

Watchdog-reset-circuit je poměrně jednoduchá ochrana zařízení. Má na starost hlídat, aby se zařízení během chodu nezacyklilo tam, kde nemá. Je potřeba softwarově implementovat jeho reset každých pár vteřin. Stačí přepnout daný pin (GPIO26/WDOG-IN) na logickou 1, počkat cca 2 milisekundy a přepnout zpět na logickou 0. Pokud by k tomuto nedošlo, watchdog by resetoval celou desku. Zabrání to tak případnému poškození desky, ale reset pouze pustí desku znovu a k zacyklení pravděpodobně dojde znovu. Snažíme se tedy resetu předejít. Můžeme si všimnout ještě pinu WG-EN, který pokračuje na schéma 8.7. Vede na přepínač režimů boot/run a má za úkol držet watchdog vypnutý během bootovacího režimu. Nahrání kódu může trvat dlouho a pokud by desku stále resetoval watchdog, nebylo by možné nic nahrát.

WDOG-OUT není naveden přímo na reset desky, ale předtím musí ještě projít HEF4017B čítačem. Ten slouží pro násobení doby do resetu watchdogu. Při testování připojení k wifi docházelo k resetu dříve, než se byla schopná připojit k internetu a byla tak potřeba tuto dobu prodloužit. Čítač má sadu výstupů (Q1 - Q9) a pokaždé, když dostane signál (sestupnou hranu), posune výstup o jeden dolů. Pomocí toho si můžeme zvolit kolikanásobek watchdog časovače je pro nás vhodný. Pokud dojde k resetu desky, resetuje se i čítač (posune se zpět na Q0). U resetu je vložený RC článek který drží logickou 1 na resetu po určitou dobu (cca 1 sekunda), jelikož pouhý impuls pro restart nestačí.

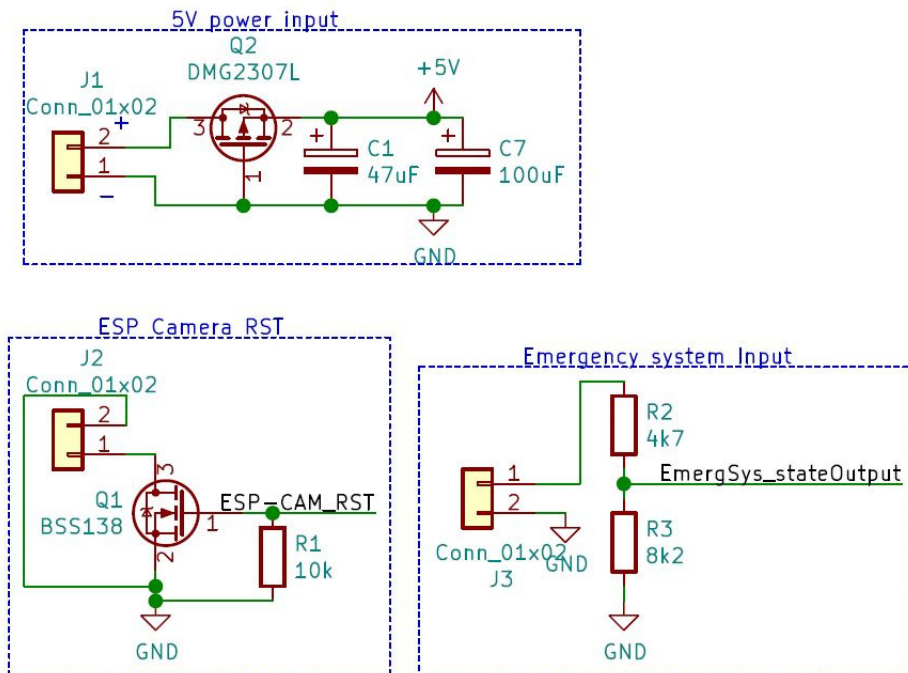
## ■ Ostatní obvody na shieldu

Shield je doplněný o 5V napájení, aby deska mohla pracovat samostatně bez připojení k počítači. Dále je tu připravený konektor pro reset kamery,



Obrázek 8.5: Watchdog schéma

která ještě není implementovaná. Emergency system output je doplněný o jednoduchý dělič, protože deska ESP pracuje na 3.3V. Maintenance board connector je připojen na boot button a je tak možné stav run/boot přepínat namísto držení tlačítka. Je zde vyveden i WG-EN, což vypíná watchdog systém během boot režimu. Červená a zelená LED byla implemenovaná aby bylo možné rozeznat, zda deska běží, a to i přes plastový kryt.



Obrázek 8.6: Napájení, kamera reset a nouzový systém

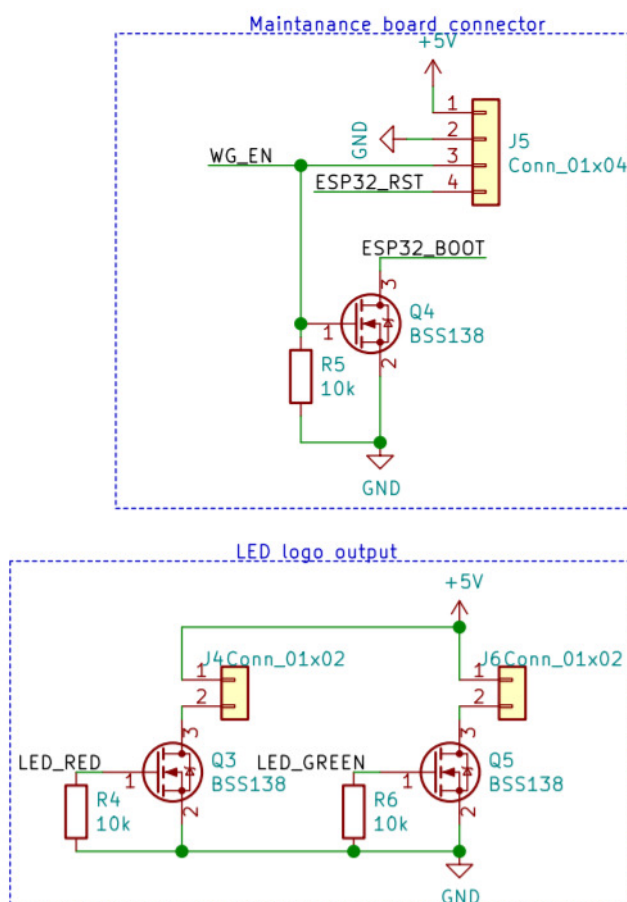
## 8.2.4 Komunikační protokol

### RS485

Komunikace mezi hlavní řídicí deskou a wifi modulem bude realizována pomocí standardu sériové komunikace RS-485. Ač se jedná se o velice starý standard (1983), pro naše účely bude ideální. Rychlost přenosu je velice závislá na délce vedení, které může dosahovat délky až 1200m. Nicméně pro krátké spoje může být rychlost přenosu až 10 Mib/s. RS-485 je navržen tak, aby ve své klasické dvou vodičové podobě umožňoval poloduplexní sériové spojení (poloduplexní: obě strany mohou přijímat i vysílat, nikoli však najednou). Existuje i čtyřvodičová verze RS-485, ta se ale používá jen vyjíměčně. Dvou vodičová verze (také nazývaná kroucená dvoulinka) umožňuje vytvořit komunikační sběrnici, na kterou lze připojit až 32 zařízení najednou bez použití opakovače.

Je potřeba, aby vždy vysílalo maximálně jedno zařízení, to řeší komunikační protokol. Typicky se v praxi používá jeden vysílač a 31 přijmačů, případně pokud je třeba tak se zařízení ve vysílání střídají.

Standard RS-485 nezahrnuje komunikační protokol a je tak na nás, jaký typ komunikace zvolíme. Je možné si zvolit jeden z mnoha zavedených standardů, nicméně pro potřeby hydroponického systému bude lepší si komunikační protokol zavést. Nebudeme tak omezeni striktními pravidly jako třeba délka či tvar zprávy.



Obrázek 8.7: Boot/run přepínač a LED

## ■ ALOHA protokol

Vzhledem k rozhodnutí, že použijeme multimaster komunikaci, je nutno nastavit komunikační pravidla vysílání tak, aby nedocházelo ke kolizím. Tedy aby nestala situace, že vysílá více zařízení najednou. Mohlo by dojít ke ztrátě dat. To vyřešíme aplikací ALOHA protokolu, který specificky říká, kdy může zařízení začít vysílat.

Kontrola, zda na lince probíhá nějaká komunikace je možná pomocí Rx pinu (Recieve). Představme si situaci, kdy zařízení A chce vyslat zprávu do zařízení B.

Průběh bude následující:

1. Jednotka A zkontroluje, zda na lince probíhá nějaká komunikace. Pokud komunikace probíhá, počká určitý časový interval a zkouší to znovu, dokud nebude linka volná. Pokud žádná komunikace neprobíhá, přesune se na krok 2.
2. Linka je v danou chvíli volná. Jednotka si sama zvolí náhodný časový interval (stačí několik mikrosekund) a počká. Pokračuje na krok 3



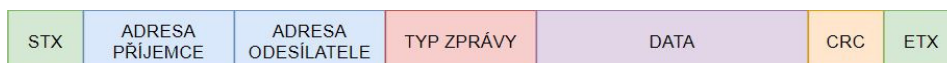
3. Jednotka A právě počkala náhodný časový interval a znovu zkontroluje, zda je komunikační linka volná. Pokud volná není, vrací se na krok 1. Pokud volná je, může začít vysílat.

Proč nezačít vysílat hned po prvním kroku, když je linka volná? To popisuje následující situace:

Zařízení A vysílá, linka je tudíž plná. Další dvě zařízení B a C se nezávisle během toho rozhodnou, že potřebují také něco vysílat. Když vysílání od A skončí, B i C se podívají, zda je linka volná a oba zhodnotí, že ano (oba se podívali ve stejnou chvíli, a to když vysílání od A skončilo). Oba začnou najednou vysílat a dojde ke ztrátě dat. Pokud se však B a C budou držet ALOHA protokolu, každé si zvolí jiný časový interval, například B kratší a C delší. Zařízení B se v kroku 3 podívalo, zda je linka volná, to se potvrdilo a začala vysílat. Zařízení C se též v kroku 3 podívalo, nicméně kvůli delšímu časovému intervalu už je linka používaná a vrátí se tak na krok 1. Šance, že bude vysílat více zařízení najednou je tedy minimální.

### ■ Návrh komunikačního protokolu

Jak již bylo zmíněno, chceme se vyhnout omezením zavedených komunikačních standardů a vytvoříme si vlastní komunikační protokol. Půjde o kombinaci a modifikaci zavedených standardů. Obrázek 8.8 ukazuje aktuální podobu komunikačního protokolu. Je kladen důraz na minimální chybovost a na jednoduchou implementaci. Každý byte bude při přenosu zdvojený, aby nedocházelo k chybám. Hlavička datagramu má 5 byte a zápatí 2 byte.



**Obrázek 8.8:** Komunikační protokol

1. STX (1 byte): Počáteční sekvence znaků která značí, že se zahajuje komunikace.
2. Adresa příjemce a adresa odesílatele (2+2 byte): informace odkud kam se mají data poslat.
3. Typ zprávy (1 byte): Typ zprávy udává, jak s příchozími daty naložit. Může být ve tvaru požadavku na hodnotu, odpověď či nastavení parametrů.
4. DATA (0 až N byte): Přenos hlavní informace, objeví se zde co se má poslat či co se má kam zapsat. N v našem případě je 8, máme tak dostatečnou rezervu pro velice specifické příkazy. Vzhledem k tomu, že nepřenášíme informaci o délce dat, bude na konci stanovený znak (například středník), který bude znázorňovat konec rámce DATA a začátek CRC.
5. CRC (1 byte) Kontrolní součet skrz všechny položky ve zprávě.
6. ETX (1 byte) Znak značící ukončení komunikace

## Kapitola 9

### Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit přehled systémů pro hydroponické pěstování v domácím prostředí a práce na již existujícím prototypu. V prvních několika kapitolách byly popsány a porovnány možnosti pro cirkulaci vody a možná umístění hydroponických systémů ve sklenících, či v izovolvaných místonstech s kontrolovaným prsotředím. Důraz byl kladen na model PFAL, který se prokázal jako velice ambiciózní alternativa k tradičnímu zemědělsví aplikovatelná do hustě obydlených oblastí. Zatím jej však brzdí nedostatečně pokročilé technologie.

Největší částí této práce bylo rozšíření prototypu hydroponického systému. Konkrétně o realizaci komunikace mezi hlavní řídicí deskou, wifi modulem a internetovým cloudem. Jako cloudovou platformu jsem zvolil Arduino IoT cloud, který nabízí velice přívětivé prostředí pro tvorbu podobného projektu. Vzhledem k předpokládanému růstu velikosti projektu bude v budoucnu pravděpodobně třeba zvolit jinou cloudovou službu než Arduino IoT cloud, který je v bezplatné verzi omezený. Jak hlavní řídicí deska, tak internetový cloud pocházeli od firmy Arduino, zatímco základní deska wifi modulu byla do firmy Espressif Systems. Nicméně i přesto je kompatibilita poměrně bezproblémová.

Sériová linka byla vytvořena na základě standardu RS485, který v sobě nezahrnuje komunikační protokol. Bylo tedy možné implementovat již existující standard, to se však zdálo do určité míry omezující. Rozhodl jsem se tak navrhnout vlastní modifikaci zavedených protokolů. Umožnilo to řídit komunikaci podle konkrétních potřeb daného hydroponický systému.

Ač je projekt už ve velice pokročilé fázi, stále se nabízí řada možností jak systém doplnit či vylepšit. Konkrétně o umělé osvětlení, automatizaci tvorby živného roztoku či o doplnění řady senzorů. Nicméně aktuální komplexnost systému značně zpomaluje jakékoliv snahy o rozšíření.





## Literatura

- [1] DEASPOMMIER, Dickonson D. *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*. USA, Columbia: Picador, 2011. ISBN 0312610696.
- [2] *AFN* [online]. USA: AgFunderNews, 2019 [cit. 2021-7-16]. Dostupné z: <https://agfundernews.com/europe>
- [3] *V roce 2050 bude žít na Zemi 9,7 miliardy lidí, očekává OSN*. ČT24 [online]. Praha: Česká Televize, 1996 [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/2845994-v-roce-2050-bude-zit-na-zemi-97-miliardy-lidi-ocekava-osn>
- [4] *HYDROPONICS WATER QUALITY*. Sensorex [online]. Californie: USA, 2020 [cit. 2021-01-09]. Dostupné z: <https://sensorex.com/hydroponics/>
- [5] KOZAI, Toyoki, Genhua NIU a Michiko TAKAGAKI. *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. USA: Academic Press, 2016. ISBN 9780128017753.
- [6] KOZAI, Toyoki. *Smart Plant Factory: The next generation indoor vertical farms*. USA: Springer, 2018. ISBN 9789811310645.
- CITACE OBRÁZKŮ:
- [7] NFT: Nutrient Film Technique. *Alucraft* [online]. Brno: Alucraft, 2018 [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://alucraft.cz/hydroponie/>
- [8] DFT: Deep Flow Technique. *Pěstík.cz: od semínka po sekačku* [online]. Praha: Pěstík s.r.o, 2017 [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://www.pestik.cz/module/csblog/post/72-14-hydroponie-pro-zacatecniky-.htmlgref>
- [9] Aeroponie. *Roots: časopis s kořeny* [online]. Praha: Casopis Roots, 2018 [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://casopisroots.cz/aeroponie/>

- [10] Simple aquaponic unit. ResearchGate [online]. Berlin: ResearchGate, 2016, 2014 [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/figure/Thematic-aquaponic-structure-derived-from-Salam-et-al-2014-fig1-308601544>
- [11] Hydroponic Greenhouse. AZO Cleantech [online]. USA: AZONetwork, 2013, 2016 [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=586>
- [12] Square Roots. The Counter [online]. USA: The Counter, 2020 [cit. 2021-8-5]. Dostupné z: <https://thecounter.org/vertical-farming-terroir-flavor-square-roots-kimbal-musk/>
- [13] Aerofarms. *Aerofarms* [online]. USA: Aerofarms, 2020 [cit. 2021-8-5]. Dostupné z: <https://www.aerofarms.com/>
- [14] Hydroponic monitoring system. Sensorex [online]. USA - California: Sensorex, 2020 [cit. 2021-8-5]. Dostupné z: <https://sensorex.com/hydroponics/>
- [15] Absorbční křivka. *Pěstování, rady a zajímavosti o palmách* [online]. Praha: Webnode, 2020 [cit. 2021-8-5]. Dostupné z: <https://pestovani-palem.webnode.cz/umela-osvetleni/>