



**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ČVUT V PRAZE**

Bakalářská práce

Návrh systému hydroponického pěstování rostlin

Design of a Hydroponic Plant Growing System

Vojtěch Žák

Katedra radioelektroniky

Vedoucí práce: doc. Ing. Stanislav Vitek, Ph.D.

Obor: Elektronika a komunikace

25. května 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Žák** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **491876**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra radioelektroniky**
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh systému hydroponického pěstování rostlin

Název bakalářské práce anglicky:

Design of a Hydroponic Plant Growing System

Pokyny pro vypracování:

- 1) Proveďte přehled systémů pro hydroponické pěstování rostlin.
- 2) Na základě přehledu navrhnete prototyp hydroponického systému.
- 3) Navrhnete a implementujete programové vybavení pro řízení systému.
- 4) Porovnejte výsledek práce s existujícími řešeními.

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: **30.01.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2024**

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

doc. Ing. Stanislav Vítek, Ph.D.
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

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Stanislavu Vítкови, Ph.D. za jeho čas, trpělivost a připomínky, které mi během tvorby bakalářské práce poskytl. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Václavu Navrátilovi, Ph.D. za pomoc a konzultace týkající se 3D tisku koncovek. Také děkuji své rodině a přátelům za jejich podporu při tvorbě bakalářské práce i v průběhu celého studia.

Prohlášení

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

V Praze, 25. května 2023

Abstrakt

Práce se zabývá hydroponickým pěstováním rostlin, jeho dopadům na životní prostředí a společnost. Cílem práce je analyzovat výhody a nevýhody různých typů hydroponických systémů a následně navrhnout a implementovat vlastní hydroponický systém s automatickým ovládním. Automatizace systému je řešena za pomoci senzorů ovládaných mikroprocesorem Raspberry Pi, na kterém běží ovládací software Mycodo. Řešení práce má přínos pro širokou veřejnost, které umožní jednoduché dohledání potřebných informací pro stavbu a automatizaci hydroponií či přímo návod pro vlastní stavbu systému.

Klíčová slova: hydroponie, hydroponické pěstování rostlin, automatizace, NFT, Raspberry Pi, Mycodo, životní prostředí

Abstract

Thesis is focused on hydroponic plant growing and it's impact on environment and society. The work aims to analyse advantages and disadvantages of different types of hydroponic systems and based on this analysis proposes and implements costum hydroponic system with automatic control. Automatization of the system is based on sensor usage controled by microprocessor Raspberry Pi on which is runnig control software Mycodo. The contibution of this work is for wide audience who can easily access needed information for construction and automation of hydroponics or even a guide to build a system.

Keywords: hydroponics, hydroponic plat growing, automation, NFT, Raspberry Pi, Mycodo, environment

Obsah

1. Úvod	11
2. Analýza	12
2.1. Co je hydroponie?	12
2.2. Socioekonomické dopady	12
2.2.1. Stoupající popularita hydroponií	12
2.2.2. Globální dopady	12
2.2.2.1. Úspora zdrojů	12
2.2.2.2. Komerční příležitosti	12
2.3. Dělení hydroponických systémů	13
2.3.1. Hydroponické systémy	13
2.3.2. Pasivní systémy	13
2.3.2.1. Deep water culture system (DWC)	13
2.3.2.2. Wick systém	14
2.3.3. Aktivní systémy	15
2.3.3.1. Nutrient film technique systém (NFT)	15
2.3.3.2. Ebb and flow systém	16
2.3.3.3. Drip systém	17
2.3.4. Aeroponické systémy	18
2.3.5. Akvaponické systémy	19
2.4. Komponenty	20
2.4.1. Substráty	20
2.4.2. Čerpadlo	22
2.4.3. Rezervoár	22
2.4.4. Konstrukce	22
2.5. Řídící jednotka	22
2.5.1. Snímané parametry	22
2.5.2. Automatizace úkonů	23
2.5.3. Ovládací software	23
3. Návrh	24
3.1. Design hydroponického systému	24
3.2. Výběr součástí	24
3.2.1. Konstrukce	24
3.2.2. Rezervoár	25
3.2.3. Čerpadlo	25

3.3.	Řídící jednotka	25
3.3.1.	Ovládací a měřicí prvky	25
3.3.2.	Řídící software	25
3.3.2.1.	Mycodo	25
4.	Implementace navrženého systému	25
4.1.	Nosná konstrukce	25
4.2.	Koncovky na trubky	26
4.2.1.	Vývoj v CADu	26
4.3.	Automatizace systému	27
4.3.1.	Senzorové zapojení	27
4.3.2.	Zapojení mechanických součástí	27
4.4.	Implementace a nastavení Mycodo	28
4.4.1.	Vizualizace dat	28
4.4.2.	Automatizace úkonů	28
4.4.3.	Tvorba funkcí	29
4.5.	Možné budoucí úpravy	30
4.5.1.	Výpustní kohouty	30
4.5.2.	Dodatečné senzory	31
4.5.3.	Izolování systému	31
4.5.4.	Analýza zdraví rostlin	31
5.	Závěr	31
	Seznam zdrojů	33
	Seznam příloh	35

Seznam obrázků

Obrázek 1: DWC systém diagram [32].....	14
Obrázek 2: Wick systém diagram [32]	15
Obrázek 3: NFT systém diagram [32]	16
Obrázek 4: Ebb and flow systém diagram [32]	17
Obrázek 5: Recovery drip systém diagram [32]	18
Obrázek 6: Aeroponický systém diagram [32]	19
Obrázek 7: Akvaponický systém diagram [33]	20
Obrázek 8: Keramzit	21
Obrázek 9: Perlit	21
Obrázek 10: Managreen.....	22
Obrázek 11: Grow bed vertikální r.(vlevo), grow bed nakloněné r. (ve středu), trojúhelníková konfigurace (vpravo)	24
Obrázek 12: Koncovky trubek, první návrh (vlevo), finální podoba (vpravo)	27
Obrázek 13: Finální blokové schéma zapojení	28
Obrázek 14: Nastavení vstupu	29
Obrázek 15: Funkce časování pumpy	29
Obrázek 16: Kód pro notifikaci	30
Obrázek 17: Podmínka a akce u notifikace.....	30
Obrázek 18: Výsledná podoba hydroponie.....	31

1. Úvod

Jako téma své bakalářské práce jsem si vybral hydroponické pěstování rostlin. Tato problematika je dnes ve společnosti diskutována čím dál více. Důvodem je změna myšlení obyvatel ve světě, které dává větší důraz na životní prostředí, udržitelnost, neplýtvání zdroji a zdravý životní styl. Za významnou považuji i myšlenka lokálních farem ve městech v propojení s moderními chytrými technologiemi jako je IoT (Internet of things - Internet věcí), pomocí nichž se tyto systémy dají ovládat, monitorovat a v neposlední řadě automatizovat.

Cílem této práce je zanalyzovat různé druhy hydroponických systémů, uvést jejich výhody a nevýhody. Následně na základě této analýzy navrhnout vlastní hydroponický systém a návrh implementovat.

Hlavním přínosem by měl být popis stavby a automatizace hydroponického systému pro širokou veřejnost a usnadnění hledání potřebných informací pro její realizaci, jako jsou součástky, vhodný materiál (např. na stavbu kostry hydroponie) a dalších znalostí nutných pro realizaci takového projektu.

V práci se nejprve věnuji analýze globální situace a dopadu hydroponického pěstování na její současný stav. Dále analyzuji existující hydroponické systémy i s uvedením dalšího vývoje v této oblasti.

V další části bakalářské práce se věnuji návrhu hydroponického systému, který bude vycházet z předešlé analýzy. Návrh systému se nebude týkat pouze fyzické realizace, ale i jejího ovládání ve formě automatizace a návrhu možného SW (software) řešení. Tato část také obsahuje některá potřebná rozhodnutí pro následnou realizaci hydroponie.

Poslední kapitoly jsou věnovány implementaci návrhu. Popisují výslednou realizaci návrhu a nutná řešení problémů, na které jsem v průběhu realizace narazil. Také jsou zde uvedeny další možnosti vylepšení a zefektivnění hydroponických systémů pro případnou další práci.

2. Analýza

V této kapitole se budu věnovat analýze. Věnoval jsem se jak analýze ze strany zájmu veřejnosti, tak i komerčního sektoru. Dále jsem se věnoval různým možným implementacím jak současným, tak i budoucím. Na základě této analýzy poté budu vymýšlet svůj vlastní návrh, který bych následně implementoval.

2.1. Co je hydroponie?

Za hydroponii bychom mohli považovat jakýkoliv způsob pěstování rostlin, ovoce a zeleniny v živném roztoku (vodě) bez přítomnosti půdy. Nejčastějším způsobem, se kterým se může člověk setkat s hydroponií v běžném životě, je při množení rostlin metodou zapouštění kořinek ve skleničce s vodou.

2.2. Socioekonomické dopady

2.2.1. Stoupající popularita hydroponií

V dnešní době se čím dál více lidí, zejména z DIY (Do It Yourself – udělej si sám) či kutilských kruhů, zajímá o nějakou formu hydroponického farmaření. Může se jednat o malé kuchyňské pěstování pro celoroční přísun čerstvých bylinek či o složitější systémy s cílem automatizovat pěstování domácí zeleniny. Moderní hydroponické systémy umožňují pěstovat skoro každý typ zeleniny. Tato popularita také stoupá díky změně životního stylu, kdy se stále častěji zajímáme o to, co přesně jíme, jaké látky byly při pěstování použity a v neposlední řadě dopad na naše zdraví a životní prostředí. U hydroponického farmaření není zapotřebí používat chemické herbicidy a pesticidy, jako je tomu u tradičního farmaření na poli, a pokud je přeci jen zapotřebí nějakého ochranného postřiku, jsou ve většině používány přírodní látky ve formě bylinných koncentrátů. [1]

2.2.2. Globální dopady

Globální oteplování, efektivní využití zdrojů a udržitelnost jsou jedny z hlavních dlouhodobých témat, která hýbou společností. Hydroponie má možnost pomocí svých vlastností ovlivnit tyto problémy.

2.2.2.1. Úspora zdrojů

Mezi hlavní přednosti hydroponického pěstování totiž patří neplýtvání zdroji jako je voda, s jejímž nedostatkem se v posledních letech potýkají zejména oblasti globálního jihu. U hydroponního pěstování může být spotřebováno až dvacekrát méně vody, než tomu je u tradičního zemědělství. [2] Se šetřením zdrojů souvisí ještě další pojetí hydroponií – jako alternativní způsob farmaření. Jelikož rostliny přijímají všechny potřebné živiny z živného roztoku, není zapotřebí zemědělské půdy, která kvůli intenzivnímu zemědělství ztrácí potřebné minerály a tak svou úrodnost. [3] V extrémních případech špatného zacházení s půdou může dojít k jejímu úplnému vyčerpání tzv. *desertifikaci*. [4] Odpovědí na tento jev je odlesňování či vypalování deštných pralesů, což má znatelné důsledky na místní ekosystém i globální klima.

2.2.2.2. Komerční příležitosti

Z ekonomického hlediska se hydroponická produkce např. zeleniny dá považovat za rentabilní moderní způsob produkce potravin, i když pro větší a komerční využití je potřeba celkem velké počáteční investice. Ta se ovšem rychle vrátí vzhledem k možnosti celoroční produkce. Není zde žádná limitace ve formě ročních období či závislost na denním cyklu, který lze optimálně nastavit pomocí umělého osvětlení tak, abychom dosáhli maximálního růstu rostlin. Na světě se již nachází spousta firem, které se zabývají hydroponickým pěstováním rostlin, mezi něž patří např. AgriCool, Freight Farm, AeroFarms, jejichž zajímavé aplikace hydroponické technologie zahrnují i umístění do lodních kontejnerů. [5]

Na tuzemském trhu můžeme zaznamenat větší množství menších firem, které se tomuto tématu věnují, za zmínku však z mého pohledu stojí především Paralell Gardens¹, kteří nejen prodávají svá chytrá hydroponická řešení do interiéru, ale zároveň mají blog plný přínosných návodů a rad pro začátečníky. Také zde zdarma uvádí návod na stavbu jednoho z jejich systémů a umožňují tím domácím kutilům si ho postavit, a pokud chtějí, tak i zdokonalit s podmínkou, že se o případné úpravy podělí s komunitou. [6] Dalším příkladem může být společnost Greentech², na jejichž hydroponie můžeme narazit t v nákupním centru Westfield Chodov či jejich řešení GreenBox na Manifesto Marketu v Praze. Jejich dalším a dlouhodobým cílem je hydroponické pěstování ve veřejných budovách s cílem přeměnit města na soběstačná potravinová centra. [7]

2.3. Dělení hydroponických systémů

Pojem *hydroponické systémy* v sobě zahrnuje tři podřazené kategorie, tedy aeroponické, akvaponické a vlastní hydroponické.

2.3.1. Hydroponické systémy

Jejich metoda pěstování rostlin spočívá v rozpouštění potřebných živin ve vodě, čímž vzniká živný roztok, který je poté přiváděn ke kořenům rostlin pasivním či aktivním způsobem.

2.3.2. Pasivní systémy

U pasivního způsobu dodávání živného roztoku rostlinám nepoužíváme žádné komplexní mechanické součástky, jako jsou čerpadla či čidla. Potřebujeme ideálně pouze sledovat hladinu vody, k čemuž nám postačí běžný plovák s rýskou. Voda/živiny se ke kořenům rostlin dostává přímo, tedy kořeny jsou zcela ponořeny ve vodě, případně je rostlina uchycená ve vhodném substrátu, který udržuje vlhkost a kořeny ji následně přijímají. [8]

2.3.2.1. Deep water culture system (DWC)

V tomto systému jsou rostliny zasazeny v košíčcích a jejich kořeny jsou ponořeny v živném roztoku. Jelikož jsou kořeny zcela ve vodě, je potřeba mít ji dostatečně okysličenou, aby se rostliny „neutopily“. Proto se do nádrže s roztokem přidává vzduchovací kámen a vzduchové čerpadlo, které zajistí potřebné okysličení a zároveň napomáhá k rovnoměrnému rozprostření výživových látek ve vodě.

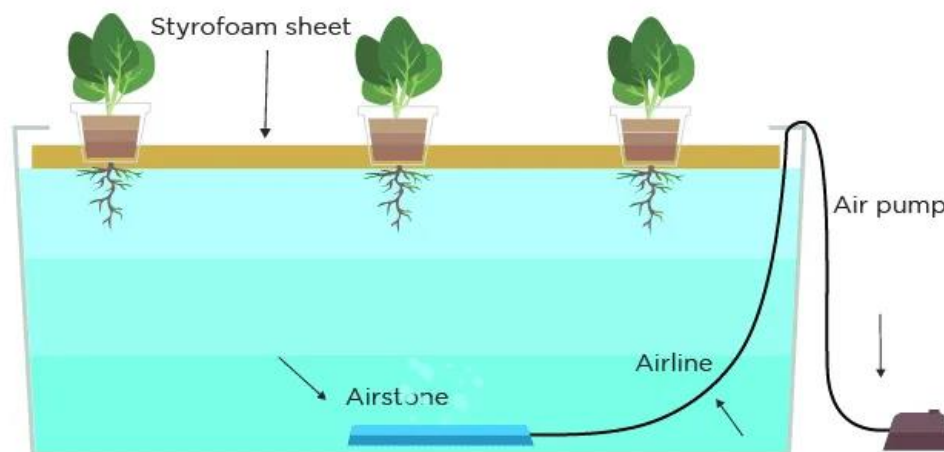
DWC systémy jsou jedny z nejjednodušších, jak je vidět na obrázku 1, a tím pádem i nejpoblíbenější. To je zapříčiněno zejména nízkými pořizovacími náklady, jelikož vhodnou nádobu na vodu doma najde každý. Jediné, co je potřeba zakoupit, je vzduchovací kámen a příslušná pumpa, což nejsou nijak drahé položky. Další věcí, která systému přidává na popularitě, je fakt, že jakmile máme soustavu postavenou, není třeba se o ni nějak významněji starat, je pouze potřeba zajistit chod pumpy a jednou měsíčně vyměnit živný roztok.

Nevýhodou systému jsou limitace ve velikostech rostlin, které se v něm dají vypěstovat. Bylinky a např. saláty jsou vhodné, s trochou úsilí a práce by se daly vypěstovat i malá rajčata či papriky, ale s kvetoucími rostlinami či něčím větším by měl systém už problémy. Další věcí je regulace teploty a rovnoměrného rozložení výživových látek v nádrži, což pro stojící vodu může být obtížné, jelikož nedochází k žádné velké formě míchání vody v rezervoáru. [9] [10] [11]

¹ Odkaz na webové stránky společnosti - <https://www.parallelgarden.com/>

² Odkaz na webové stránky společnosti - <https://green.tech/>

Water Culture



Obrázek 1: DWC systém diagram [32]

2.3.2.2. Wick systém

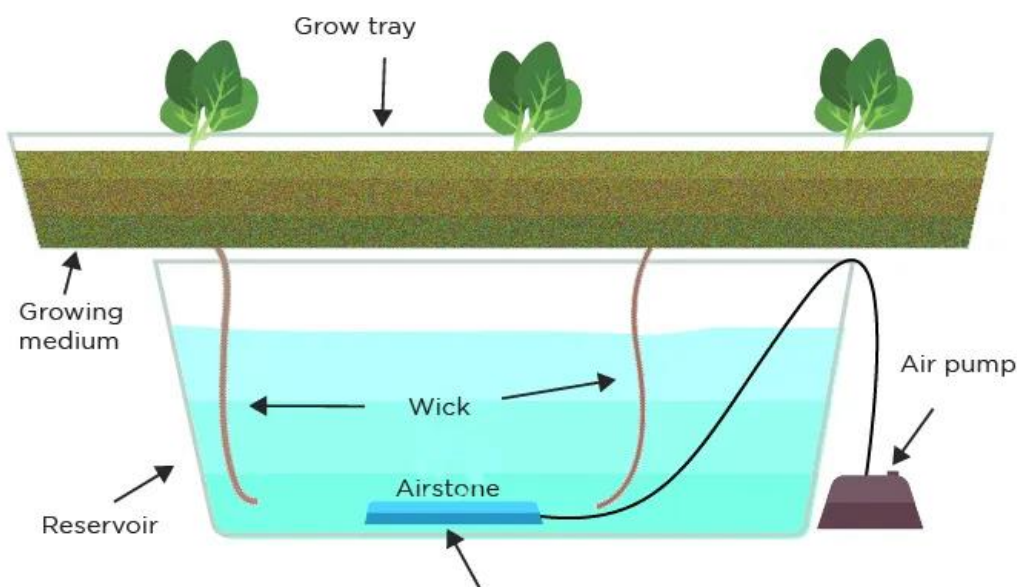
V této soustavě jsou rostliny umístěny nad nádrží s živnou vodou v sadbovém médiu, které je schopno udržet vodu a živiny. Voda s živinami je k takto uchyceným rostlinám přiváděna pomocí knotů, provázků či jiné vhodné látky. To je vyobrazeno na obrázku 2. Systém funguje na kapilárovém principu – ponořeným knotem je voda přiváděna do sadbového média, kde je zadržena.

Takové sadbové médium musí dobře zadržovat vodu a živiny, mít neutrální pH, porézní strukturu a ideálně i velkou kationtovou výměnnou kapacitu, která nám určuje, jak velké množství živin je schopna udržet. Mezi takové vhodné látky patří například vlákna kokosové slupky, perlit, vermikulit.

Pozitivní vlastností wick systému je jeho jednoduchost a to ve směru absence mechanických částí, není zde nutná přítomnost vzdušného kamene a pumpy, jelikož kořeny rostlin nejsou do vody přímo ponořeny a mají tak ke kyslíku volný přístup. V některých případech se však okysličení stále přidává. Jelikož je soustava v základním sestavení je soustava čistě pasivní, lze ji umístit kamkoliv v interiéru a nijak nás neomezuje přístup k elektrické energii.

Problémům, kterým čelíme, jsou plísně a choroby, jelikož je sadbové médium neustále vlhké a tím pádem ideální prostředí pro jejich rozvoj a růst. Samozřejmě ani typů rostlin, které se dají takto pěstovat, není mnoho, ale na běžné kuchyňské bylinky je systém dostačující. [9] [10] [12]

Wick



Obrázek 2: Wick systém diagram [32]

2.3.3. Aktivní systémy

U aktivních systémů již používáme čerpadla pro zajištění cirkulace vody v celém systému, což bývá soustava trubek či kanálů. [8]

2.3.3.1. Nutrient film technique systém (NFT)

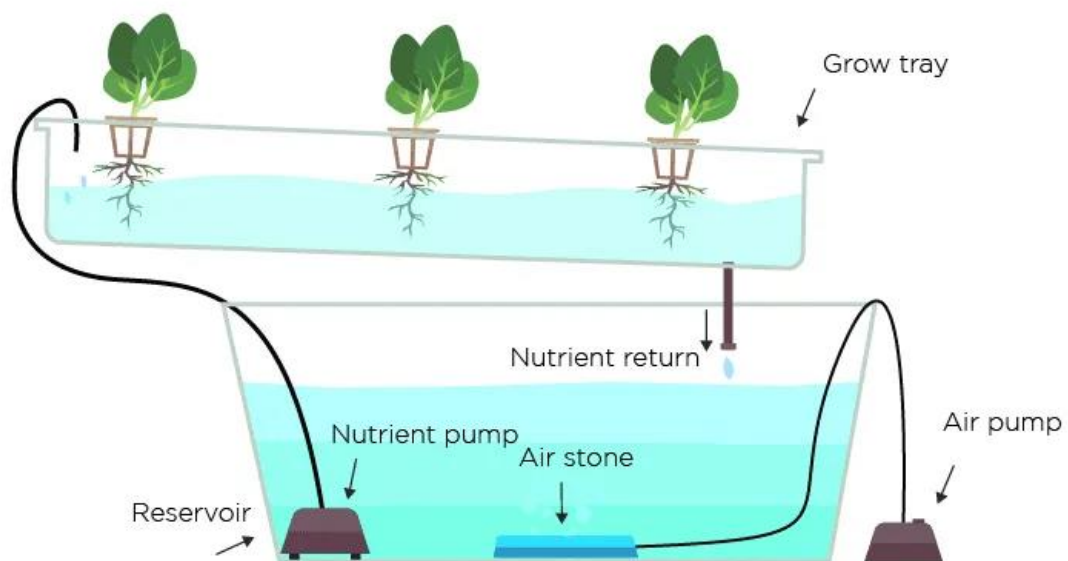
NFT systémy jsou podobné systémům DWC, do živného roztoku jsou zde však namočené pouze konce kořenů rostlin. Tenká vrstva tohoto roztoku (filmu) nepřetržitě proudí v kanálkách, v nichž jsou rostliny zasazené. Tyto kanálky jsou lehce nakloněny, aby voda proudila rovnoměrně po celé jejich délce. Systém funguje na cirkulačním principu a to tak, že okysličený živný roztok je pumpou čerpán na horní konec kanálků, kterými pozvolna stéká dolů zpět do rezervoáru. I když voda neustále proudí systémem, je doporučováno ji občas vyměnit, aby se předešlo případnému růstu řas a dalších nechtěných organismů v systému. Vyobrazení NFT systému na obrázku 3.

Při stavbě tohoto systému je potřeba dát si pozor na vhodný úhel naklonění kanálků, jelikož při moc prudkém sklonu, nemusí dojít k dostatečnému vyživení rostlin, naopak u příliš malého může dojít k nadbytečnému množství vody protékající kanálkem, což může způsobit topení rostlin. Tím, že v kanálkách proudí tenký film živného roztoku, který omílá konce kořenů, má zbytek kořenového systému volný přístup ke kyslíku.

NFT soustavy jsou velice populární v komerční sféře díky schopnosti uživit mnoho rostlin najednou, možnosti pěstovat široké spektrum druhů rostlin, počínaje bylinkami, saláty a konče např. jahodami či rajčaty. Systém je též snadno rozšiřitelný, jelikož jakmile je systém připravený pro jeden kanálek, není obtížné přidat kanálek další či zcela zduplikovat již existující funkční soustavu. Mít mnoho kanálků napojených na jeden rezervoár s vodou ovšem nemusí být úplně ideální při velké produkci, vzhledem k riziku přenosu chorob skrze výživový okruh samotný. Doporučuje se tedy mít k dispozici několik nezávislých systémů, aby se předešlo zbytečně velkým ztrátám.

Dále je třeba dát si pozor na běh a výkon vodní pumpy, jejíž selhání může způsobit vyschnutí a úhyn všech rostlin závislých na daném okruhu. Závažné problémy může také způsobit malá vzdálenost jednotlivých rostlin. Při jejich rozmístování je třeba mít na paměti, že jejich kořenové systémy se mohou proplést a vytvořit tak „zátku“ v kanálku, což by vedlo k nedostatečnému vyživení rostlin ke konci systému. Na tento problém poukazují větší rozdíly mezi růstem rostlin na začátku a na konci kanálku. [9] [10] [13]

Nutrient Film Technique



Obrázek 3: NFT systém diagram [32]

2.3.3.2. Ebb and flow systém

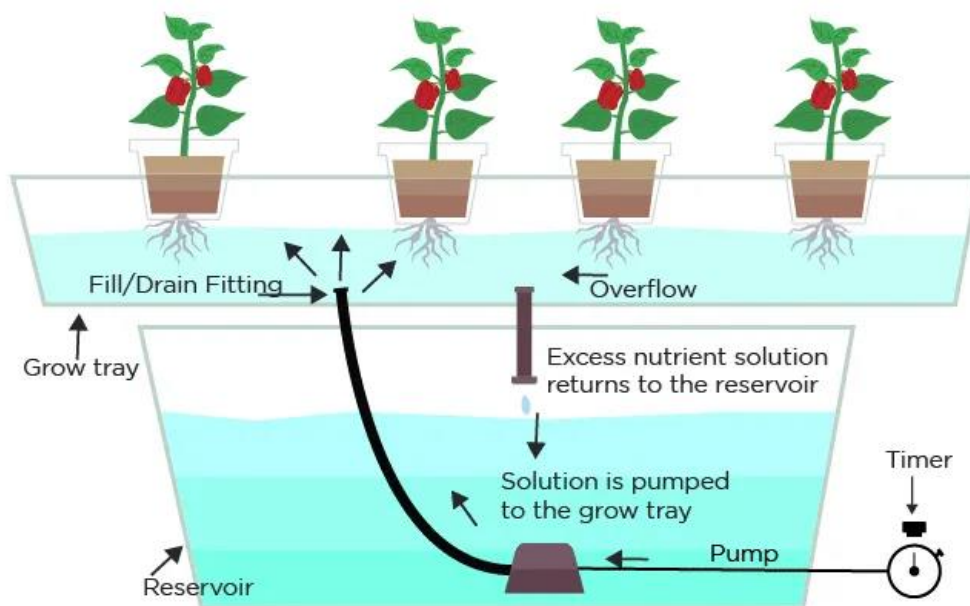
Ebb and flow systém, nebo také flood and drain systém, funguje na principu úplného zaplavení růstového prostoru živnou vodou a následném samovolném odvodnění. Systém obsahuje pumpu, která čerpá vodu z rezervoáru do růstového prostoru, který se většinou nachází přímo nad rezervoárem. K pumpě je připevněn časovač, který ji spouští v potřebných intervalech volených tak, aby rostliny měly dostatečný přístup k živinám a kyslíku a nedošlo tak k jejich vysušení či utopení. Hlavními faktory je tedy rozloha zaplavovaného prostoru a velikost rostlin. Pro případ špatného nastavení časovače či nějaké řídicí poruchy je systém vybaven přepadem coby prevencí poškození stonků i úrody. Jednoduchý náčrt systému je uveden na obrázku 4.

Díky cyklu zaplavení kořenů, následného vyschnutí a dýchání kořenů je rostlinám dopřáváno v hojné míře živin a kyslíku, což zapříčiňuje jejich rychlejší růst. Systém je také populární mezi širokou veřejností a domácími nadšenci a to svou variabilitou a prostorem pro experimentování, jelikož s minimem úprav (hloubka zaplavovaného prostoru, velikost sadbových košíčků, sadbové médium atd.) lze systém připravit pro pěstování jakékoli rostliny s očekáváním velké úrody při zajištění ideálních podmínek.

Jak již bylo výše naznačeno, systém je nutné pravidelně kontrolovat, zvláště kvůli možnosti poruchy pumpy a případně upravit její nastavení tak, aby bylo dosaženo vhodných podmínek. Je také potřeba dávat pozor na čistotu růstového prostoru. Pokud není odvodňován dostatečně a zcela, v místech

zbytkové vody se začne tvořit plíseň a různé choroby, v extrémním případě až hniloba samotných kořenů. V neposlední řadě je taky dobré zvolit rostliny, kterým nevadí prudké změny pH. [9] [10] [14]

Ebb & Flow



Obrázek 4: Ebb and flow systém diagram [32]

2.3.3.3. Drip systém

Jako v předchozích případech je živný roztok rozváděn pomocí pumpy, nicméně tentokrát pomocí hadiček, ve kterých jsou na požadovaných místech malé dírky, kterými voda pomalu prokapává ke kořenům. Rostliny jsou zasazeny v sadbovém médiu. U drip systémů existují dvě konfigurace, a to recovery a non-recovery. Recovery, neboli znovuzískání, je princip, při kterém je rostlinou nespotebovaná voda odváděna kanálkem zpět do rezervoáru a použita při dalším zavlažovacím cyklu. Recovery drip systém využívají hlavně domácí pěstitelé. Je však potřeba monitorovat pH a obsah živin v rezervoáru, jelikož když se již použitá voda vrací zpět, nemá stejné vlastnosti jako předtím, zvláště vzhledem k předchozímu kontaktu s kořeny. Ukázka diagramu recovery drip systému na obrázku 5.

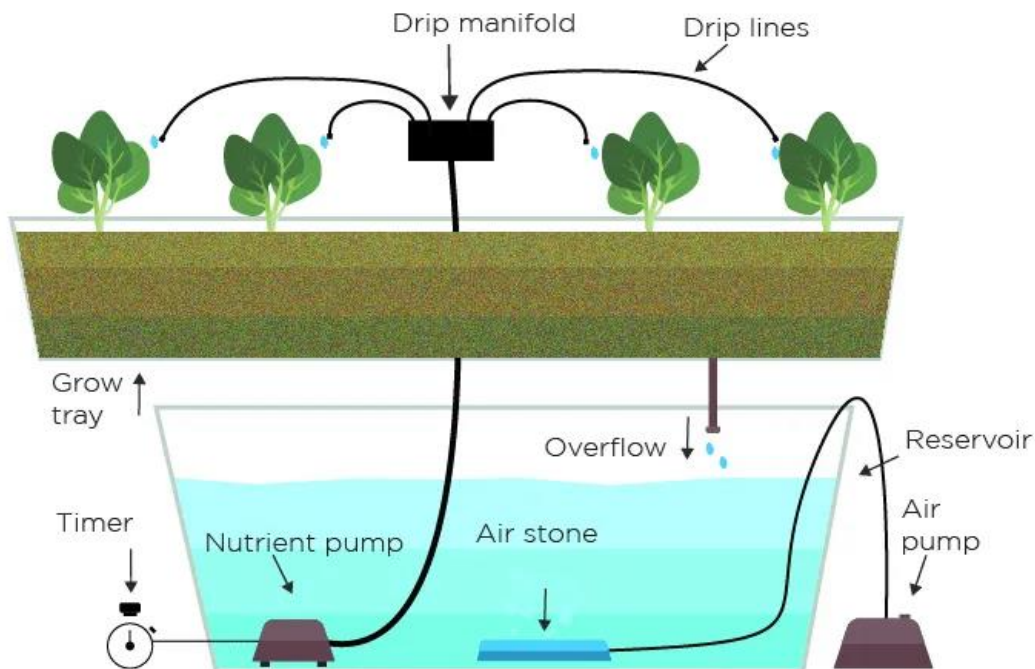
U non-recovery konfigurace je rostlinami nespotebovaná voda odváděna pryč jako odpad. Zprvu se tato konfigurace může zdát neefektivní a úplně proti myšlence hydroponických soustav, kterou je efektivní využití zdrojů – zejména vody. Jelikož je však tato konfigurace používána hlavně u komerčních producentů s velkými systémy, kteří mají zdroje pro návrh systémů tak, aby bylo k rostlinám přiváděno přesné množství živného roztoku a aby sadbové médium bylo neustále optimálně vlhké, množství odpadní vody je velmi malé. A dále jsou tu zaměstnanci, kteří neustále kontrolují správné časování a nastavení závlahy s cílem minimalizovat množství odpadní vody.

Velkou předností a důvodem popularity takového systému u komerčních producentů je jeho schopnost pěstovat velké rostliny oproti dříve zmíněným systémům, jako například meloun, dýně atd. Dále pak možnost pěstování ve velkém měřítku a jednoduchá rozšiřitelnost, kdy jednoduše přidáme nové hadičky, či v případě pěstování nové rostliny s jinými zavlažovacími nároky zkrátka zduplikovat již existující systém a dle potřeb ho nastavit.

Nevýhody tohoto systému se projevují zejména u domácích pěstitelů. Systém může být ve výsledku poměrně komplexní, a tím pádem ne příliš jednoduchý na dostatečnou údržbu a orientaci. Samotná

údržba je navíc příliš náročná pro domácí použití, hlavně v non-recovery konfiguraci. Je potřeba neustále monitorovat pH a obsah živin ve vodě, kontrolovat průchodnost hadiček a případně je vyčistit od usazenin či rostlinné hmoty. [9] [10] [15]

Drip



Obrázek 5: Recovery drip systém diagram [32]

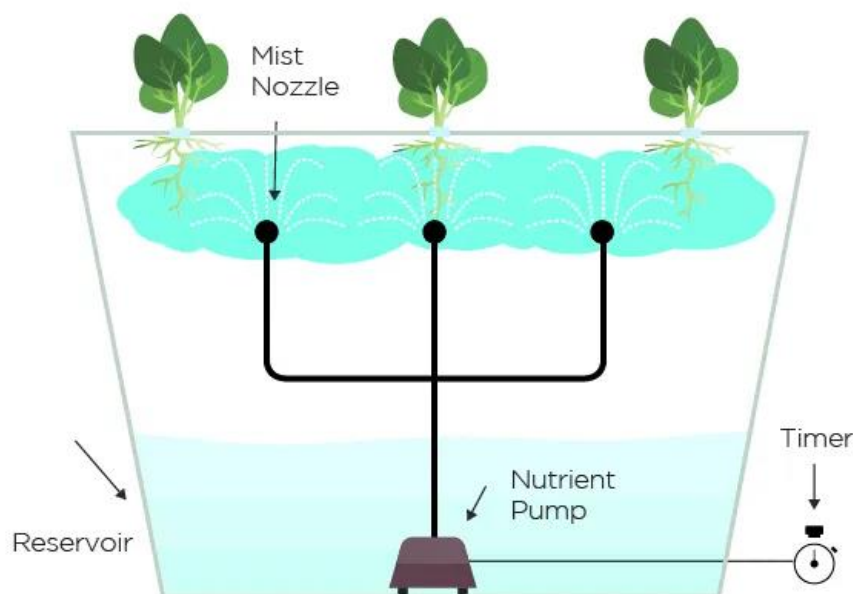
2.3.4. Aeroponické systémy

Hlavní rozdíl mezi aeroponickými a hydroponickými systémy spočívá ve způsobu přenosu výživových látek. V aeroponických systémech nejsou rostliny nijak omílány vodou, ale živný roztok z rezervoáru je pomocí pumpy a trysek rozprašován ke kořenům rostlin (viz obrázek 6). Zavlažování rostlin může probíhat v předem nastavených intervalech, jako je tomu u ebb and flow systému, či neustále, jako u NFT systému. Kořeny nejsou v žádném případě ponořeny ve vodě a mají tak neustále přístup ke kyslíku, což urychluje jejich růst oproti hydroponickým i akvaponickým systémům.

Aeroponické systémy jsou velmi efektivní jak v samotné produkci plodin tak i ve využití zdrojů. Při jejich použití se spotřebuje až o 95 % méně vody než u běžného (zavlažovaného) pole. Pozitivním aspektem je také prostorová nenáročnost systému, například při využití věží lze celý systém umístit, oproti jiným systémům, na relativně malou plochu. Vhodnými rostlinami na pěstování jsou bylinky, středně velká zelenina, saláty.

Značnou nevýhodou systému je jeho nákladnost. Pro sestavení plně funkční soustavy s časovači, pumpami a vším příslušenstvím je potřeba větší finanční obnos než u jiných systémů, i kdybychom jej stavěli podomácku. Bohužel ani po sestavení nemáme úplný klid, jelikož je potřeba kontrolovat chod pump, při jejichž výpadku dochází k vysušení a zahynutí rostlin velmi rychle. Pozor je třeba dát i na plísně a choroby, těm se samozřejmě předejde pravidelným čištěním prostoru, do kterého rozprašujeme živný roztok. [9]

Aeroponics



Obrázek 6: Aeroponický systém diagram [32]

Aeroponické systémy lze dále rozdělit na tři typy dle použitého tlaku rozprašování:

Low – pressure

Nejpopulárnější typ aeroponie mezi kutily díky své nízké ceně, dostupnosti součástek a jednoduchosti na sestavení. Pro rozprašování stačí běžná pumpa s dostatečným tlakem na vytlačení vody do rozprašovačů.

High – pressure

O poznání dražší a náročnější varianta, proto je používána spíše v komerční sféře než u domácích pěstitelů. Je potřeba specializované vybavení, zejména výkonnou pumpu, která dokáže rozpráší vodu do kapek menších než 50 mikronů. Takto malé kapky vody přispívají k lepšímu okysličení kořenů, než je tomu u LP (low – pressure) typu, což z něj dělá nejefektivnější aeroponický systém.

Ultrasonic fogger

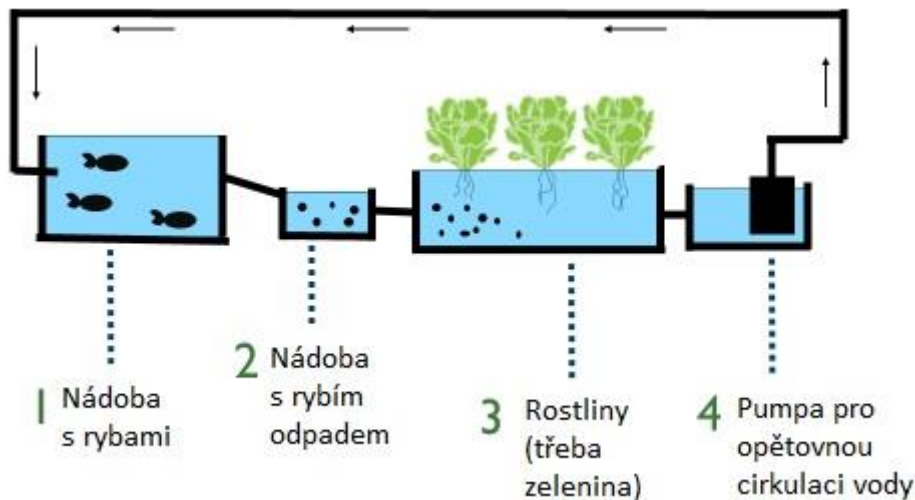
Také je znám pod označením fogponics. Voda je rozprašována pomocí ultrasonického foggeru (mlhovače) do maličkých kapiček, které se zdají jako forma mlhy. I když kořeny rostlin jednodušeji absorbují vodu v malých kapkách, vytvořená mlha obsahuje málo samotné vlhkosti. A při dlouhodobějším chodu se mohou vytvořit krystalky soli, které mohou eventuelně fogger ucpat. [16]

2.3.5. Akvaponické systémy

Akvaponické systémy nabírají hlavně v posledních letech na své popularitě, zejména se snahami o maximální zefektivnění a využití zdrojů a procesů spojených s pěstováním rostlin. Akvaponický systém vzniká spojením akvakultury (chov ryb v uzavřeném prostředí) a hydroponie. Spojením vzniká poměrně složitý systém, který se vzájemně doplňuje a funguje v symbióze.

Soustava funguje na cirkulačním principu a skládá se ze 3-4 rezervoárů. V prvním chováme ryby, běžně je krmíme, a ty následně produkují odpad. Znečištěná voda, zbytky jídla a odpad z ryb je následně

pomocí bakterií rozložen v dalším rezervoáru a amoniak obsažený ve vodě přeměněn na dusičnany. Tento proces se nazývá nitrifikace. Takto upravená voda putuje dále do sadbového prostoru, kde rostliny spotřebovávají dusičnany a další pro růst potřebné látky, které jsou obsažené ve vodě, a vzniká nám čistá voda, která je přečerpávána zpět na začátek celého cyklu k rybám. Ukázka podoby takového systému je možné vidět na obrázku 7.



Obrázek 7: Akvaponický systém diagram [33]

Na nádrž s bakteriemi a další následnou nádrž s rostlinami lze nahlížet jako tzv. bio filtr, jelikož čistí vodu pro ryby. Z popisu fungování akvaponií se to může zdát na první pohled jako vcelku jednoduchá záležitost, stačí pouze mít pár nádrží, pumpu, rostliny, bakterie, ryby, krmivo – máme hotovo a stačí pouze čekat na vydatnou úrodu.

Bohužel opak je pravdou. Aby systém správně a efektivně fungoval, je potřeba kontrolovat mnoho aspektů, jelikož se zde nestaráme pouze o rostliny či ryby, ale i o bakterie. Každý z těchto organismů potřebuje trochu jiné podmínky, aby se mu dobře dařilo. Je potřeba neustále monitorovat teplotu, koncentraci kyslíku a oxidu uhličitého ve vodě a vzduchu, pH vody, úroveň osvětlení a množství živin. Samozřejmě některé parametry není potřeba dodržovat tak podrobně, pokud se smíříme s faktem, že nedosáhneme maximální efektivity.

Nejdůležitější vlastností akvaponie je jeho dlouhodobá udržitelnost a intenzivní produkce potravin napodobením přirozeného přírodního cyklu. Nemáme zde omezenou produkci pouze na zeleninu či ovoce, nýbrž i maso z ryb.

Mezi negativní aspekty patří jeho pořizovací cena, náklady na koupi potřebného vybavení jsou velice vysoké. Pro správný chod soustavy je potřeba mít dobré znalosti z různých odvětví, jako je chov ryb, pěstování rostlin, péče o bakterie či instalatérské a elektrikářské dovednosti. Ne každá rostlina či ryba se do systému hodí. Jelikož jde o uzavřený ekosystém, může dojít až ke ztrátě celého prostředí, rozšířili se případná nákaza, způsobená například nedostatečným filtrováním, do všech částí. Pro včasný zásah je tedy nutná takřka neustálá kontrola. [17] [18]

2.4.Komponenty

2.4.1. Substráty

Určité druhy substrátu se v hydroponii používají, ale plní zde zejména kotvící roli. Dodávání živin je až jejich druhořadá funkce a to pouze taková, že absorbují vodu a udržují vlhkost. Hlavním požadavkem pro hydroponní substrát je vysoká poréznost a v ideálním případě i schopnost nasát a zadržet vodu.

Poréznost zároveň umožňuje dobré provzdušnění kořenového systému. Mezi takové vhodné hydroponní substráty patří:

Keramzit – je druh umělého kameniva vznikající za vysokých teplot expandováním jílu ve speciálních rotačních pecích tvořící kuličky o průměru 4–16 mm. Výsledný materiál je velice porézní a jeho podobu vidíme na obrázku 8. Jedná se o nejoblíbenější substrát v hydroponii a to z důvodu, že keramzit jako takový nijak neovlivňuje látkové složení vody v systému, tedy ze sebe neuvolňuje organické látky a ani neovlivňuje pH vody. Dále ho jeho mechanické vlastnosti řadí do ideální kategorie pro fixaci různě velkých rostlin a samotný kulatý tvar nám zajišťuje, že kořeny rostlin budou mít dostatečný přísun kyslíku. V neposlední řadě je významná jeho možnost opakovaného použití. Při úhynu rostliny stačí již použitý substrát důkladně propláchnout vroucí vodou, tím by měl být substrát sterilizovaný a připravený na další použití. Je ale potřeba zmínit i to, že není vhodný pro všechny hydroponické aplikace. Zvláště ne tam, kde chceme, aby byla přebytečná voda zcela odváděna pryč ze systému. [19] [20]



Obrázek 8: Keramzit

Perlit – extrémně lehký a porézní materiál vznikající provzdušňováním vulkanického skla (viz obrázek 9). Vhodný pro hydroponii zejména v kombinaci s dalšími materiály. Sám o sobě může být nevhodný pro jisté hydroponické aplikace, jelikož vůbec nenasává vodu a odplavuje se. [20]



Obrázek 9: Perlit

Managreen - marketingový název pod kterým je známa směs substrátu o složení zeolit, keramický granulát Liapor a jílový granulát Splitt. Toto složení dává celkovému substrátu dobré kotvící, vzdušné a sací vlastnosti. Substrát je zejména vhodný pro rostliny, které ke svému kvalitnímu růstu potřebují bohatý kořenový systém. Pro určité aplikace je nevhodný z důvodu malé velikosti jednotlivých kamenů. Podoba výsledného substrátu je vyobrazena na obrázku 10. [21]



Obrázek 10: Managreen

2.4.2. Čerpadlo

Na trhu jsou dva druhy čerpadel – ponorné a povrchové. U aktivních systémů je potřeba čerpadlo pro cirkulaci vody. Pro tento účel se používají ve většině případů ponorná čerpadla. Jeho výběr bychom měli přizpůsobit zejména výšce, do které chceme vodu vytlačit. Sekundárním parametrem u čerpadel je jeho průtok. Zpravidla bych řekl, že je vhodné čerpadlo trochu naddimenzovat. Povrchové čerpadlo lze použít v kombinaci se vzduchovacím kamenem pro okysličení vody. [22]

2.4.3. Rezervoár

Výběr rezervoáru by se měl odvíjet od počtu, velikosti a typu rostlin, které chceme pěstovat. Další logickou úvahou, kterou bychom před výběrem měli udělat, je jak často chceme rezervoár doplňovat – zda nám nevádí vodu doplnit každé dva týdny či zda spíše preferujeme delší intervaly doplňování. V neposlední řadě bychom se měli také zamyslet nad umístěním. Pokud se bude rezervoár nacházet na světlém místě s přímým slunečním svitem, je vhodnější zvolit netransparentní nádobu, jelikož v ní nebudou tak hojně růst řasy a další nechtěné vodní organismy.

2.4.4. Konstrukce

Pro nosnou konstrukci lze použít více materiálů, nejběžněji se používá dřevo, železo a PVC trubky. Výběr vhodného materiálu se odvíjí od použité aplikace, umístění v prostoru a v neposlední řadě na rozpočtu.

K nosné konstrukci se přímo vážou trubky a hranaté kanály. Jejich výběr závisí na použití, nicméně hranaté kanály mají jednu výhodu - podstatně jednodušeji se do nich vrtají otvory pro košíčky, které v nich i lépe sedí. [23]

2.5. Řídící jednotka

Aktivní systémy potřebují pro svůj chod řídicí jednotku, která plní zejména dvě funkce a to snímání parametrů ze senzorů a ovládání pump či osvětlení. V pokročilých aplikacích nás zároveň může informovat o stavu systému pomocí notifikací.

2.5.1. Snímané parametry

Pro optimální a efektivní chod hydroponie je zapotřebí celý systém monitorovat a sbírat z něj data. A proto se zejména do sofistikovanějších aktivních systémů instaluje systém pro jeho sledování a automatizaci. V takovém systému chceme sledovat následující parametry:

Teplota – na první pohled by se mohlo zdát, že snímání teploty vody není úplně potřebná informace, ale jak to již bývá, opak je pravdou. Teplota vody totiž ovlivňuje nemalý počet vlastností, které působí na rostliny jako je růst kořenů, fotosyntézu, fáze kvetení a klíčení, obsah kyslíku ve vodě, množství

bakterií, patogenů, řas a další faktory ovlivňující kvalitu vody a rostlin. Teplotu měříme běžným teplotním senzorem. [24]

Množství výživných látek ve vodě – k měření této informace máme dvě možnosti měření, a to pomocí EC (Electric Conductivity – elektrická vodivost) senzoru či TDS (Total Dissolved Solids – veškeré rozpuštěné pevné látky) senzoru. Oba tyto typy senzorů pracují na stejném principu měření elektrické vodivosti vody, která se liší při různých koncentracích látek rozpuštěných ve vodě. Rozdíl mezi nimi je ale takový, že EC senzor nám dává nijak neupravené hodnoty v mS/cm a TDS senzor změří totéž, ale poté hodnotu přenásobí 500, 640 či 700. [25] Jaká přenásobící hodnota se zvolí, záleží na tom co měříme resp. podle, které látky si určujeme stupnici. Přenásobící hodnota 500 patří ke stupnici založené na množství chloridu sodného (NaCl) ve vodě, oproti tomu přenásobící hodnota 700 patří ke stupnici založené na množství chloridu draselném (KCl) Výslednou hodnotu tedy TDS senzor udává v ppm (parts per million), nicméně musíme vědět vůči které stupnici, proto se mnohdy udává rovnou ppm500 či ppm700. [26] Obecně se v hydroponii preferuje EC senzor, jelikož je přesnější a máme i lepší představu o roztoku. Na evropském trhu je však značně dražší než TDS senzor, který není tak složitě zakoupit.

pH vody – podstatný parametr vody zásadně ovlivňující její prostředí, který má vliv na schopnost rostliny přijímat potřebné živiny, což ovlivňuje jejich zdraví a kvalitu. Každá rostlině přirozeně vyhovuje jinak kyselé či zásadité prostředí. Hodnotu pH měříme pH sondou. [27]

Úroveň osvětlení – přidáním např. LED osvětlení a jeho správným nastavení intervalů svícení a intenzity světla lze docílit zrychleného růstu rostlin. Výsledkem je dostatečná úroveň osvětlení po většinu dne bez ohledu na denní dobu či oblačnost. Musíme však dát pozor jaké rostliny pěstujeme, jelikož každá rostlina potřebuje jinou délku světla. Nezapomínejme také, že tmou rostliny potřebují stejně jako lidé a zvířata na odpočinek a plné vstřebání živin. [28]

2.5.2. Automatizace úkonů

Typickou řídicí jednotkou mohou být např. mikroprocesory Raspberry Pi či Arduino. Jejich hlavní funkcí je monitorovat stav systému a následně ho na základě sesbíraných dat ovládat. Nejčastěji se takto upravuje voda cirkulující v systému. Tedy pomocí senzorů monitorujeme hodnoty pH a výživových látek ve vodě. V případě, že se nějaká z těchto hodnot dostane mimo určené meze, řídicí jednotka vydá povel dávkovacím pumpám, aby do oběhu přidaly potřebné množství látek, aby se voda dostala zpět do požadovaných hodnot. Dále lze ovládat intervaly cirkulace vody a umělého osvětlení.

U složitějších systémů řídicí jednotky plní mimo ovládací funkce ještě funkci informativní. A to ve formě notifikací, tedy odesláním zpráv uživateli např. o stavu hladiny vody v rezervoáru, teploty, či pokud je přítomna kamera i fotografie rostlin.

2.5.3. Ovládací software

Pro fungování výše zmíněných ovládacích funkcí musíme mít patřičný ovládací software. V tomto směru se naskýtají dvě možnosti. Napsat si vlastní software např. v programovacím jazyce Python, kde bychom s pravděpodobností potřebovali využít knihovny pro ovládání GPIO (General-purpose input/output - Univerzální vstupní/výstupní) pinů (RPi.GPIO), ukládání dat (MySQL – python) a další, nebo využít již hotový open source software navržený pro hydroponie jako je Mycodo³ či Hydroponics⁴. [29]

³ Odkaz na repozitář projektu - <https://kizniche.github.io/Mycodo/>

⁴ Odkaz na repozitář projektu - <https://github.com/kylelobo/Hydroponics>

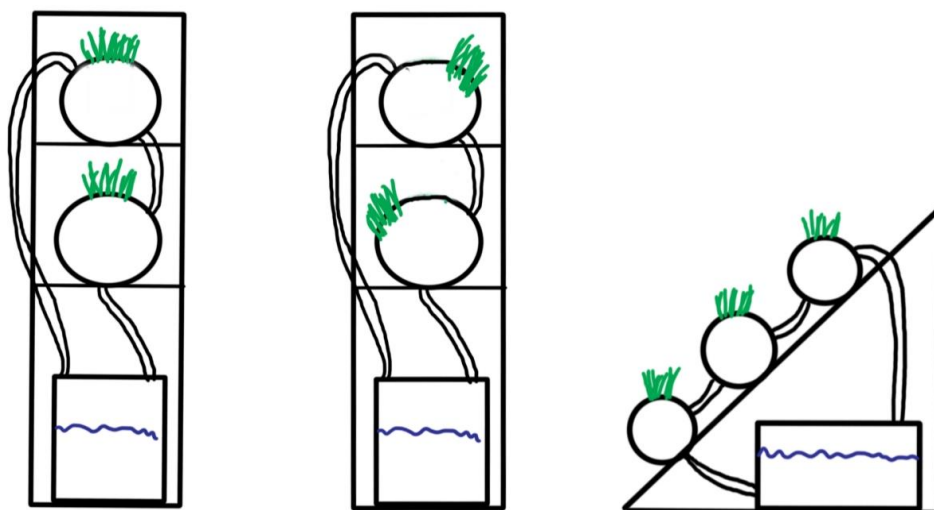
3. Návrh

U svého návrhu hydroponického systému jsem se snažil zvolit odlišnou cestu řešení než byla u dosavadního systému ve škole, který funguje na princip ebb and flow, tedy zaplavování kořenů v pravidelných intervalech a poté samovolné odvodňování. Zároveň jsem chtěl využít některé již použité součástky, jako jsou zejména senzory a dávkovací peristaltické pumpy.

3.1. Design hydroponického systému

Svůj design jsem založil na NFT hydroponickém systému. Zejména kvůli jeho zjevné odlišnosti od dosavadního ebb and flow systému, a také kvůli jeho modulárnosti a možnosti efektivního využití místa.

NFT systém může mít mnoho podob, já jsem se rozhodoval mezi třemi variantami a to: grow bed s vertikální polohou rostlin, grow bed s nakloněnou polohou rostlin a trojúhelníkovou konfigurací. Náčrty uvedených možností jsou zobrazeny na obrázku 11. Po úvaze a promyšlení těchto podob jsem se rozhodl pro třetí možnost, jelikož prostor pod přeponou se dá využít pro umístění rezervoáru a dalšího příslušenství a tudíž velikost systému je o poznání menší než další dvě dříve zmíněné možnosti. Bylo by asi správné zmínit, že v případě rozšiřování systému by ale nejspíš došlo k potřebě umístit další rezervoár vedle konstrukce.



Obrázek 11: Grow bed vertikální r.(vlevo), grow bed nakloněné r. (ve středu), trojúhelníková konfigurace (vpravo)

3.2. Výběr součástek

3.2.1. Konstrukce

Materiál pro stavbu konstrukce (náčrt konstrukce s rozměry v příloze 1) jsem zvolil speciální hliníkové profily s drážkami od firmy ASKMT.cz, kteří mi po emailové komunikaci nabídli slevu na jejich produkty. Jejich profily jsem vybral, protože se dají jednoduše spojovat a není potřeba je nějak více upravovat mimo řezání na potřebnou délku či pro montování dalších součástek na ně. Spojovat jednotlivé profily bych chtěl pomocí L plastových držáků vytištěných na 3D tiskárně.

Pro vedení vody jsem vybral trubky oproti hranatým kanálům. Pro mé použití, tedy uchycení na šikmé stěně, nemusím řešit jejich orientace ale pouze jejich uchycení, které si chci navrhnout a následně vytisknout na 3D tiskárně.

3.2.2. Rezervoár

Jelikož jsem se rozhodl umístit vodní rezervoár dovnitř samotné konstrukce, tak jsem byl v tomto ohledu limitován její možnou velikostí. Nakonec jsem se rozhodl pro rezervoár o objemu 31,5 litrů. Odhaduji, že tato velikost by měla vystačit při maximálním osazení rostlin v systému, tedy 9 malých rostlin a jejich týdenní spotřebě 2l, na necelých 16 týdnů. [30] [31] Tento odhad je ale velmi hrubý, jelikož rostliny nemají stejnou spotřebu vody a zároveň je založen na pěstování rostlin tradiční metodou, tedy zaléváním hlíny. Dalším faktorem majícím vliv na spotřebu vody je především vypařování, které je úzce spjaté s okolní teplotou. Odhaduji tedy, že vodu bude potřeba doplňovat častěji a to spíše v měsíčních intervalech.

3.2.3. Čerpadlo

Pro cirkulaci živného roztoku v systému jsem zvolil levné akvarijní ponorné čerpadlo Sunsun HT-311, které má maximální výtlak do výšky 0,6 m s maximálním průtokem 300 L/h. Jako povrchové čerpadlo a vzduchovací kámen pro okysličení vody jsem použil již zakoupené vybavení, které se již ve školní budově nacházelo.

3.3. Řídící jednotka

3.3.1. Ovládací a měřicí prvky

Jak jsem již zmiňoval výše, chci použít již zakoupené a použité senzory a pumpy z předchozího hydroponického systému, což jsou: senzor na měření pH vody, ultrazvukový senzor na snímání hladiny vody v rezervoáru, DIY peristaltické pumpy na dávkování živin a udržování požadovaného pH vody, vzduchovou pumpu a vzduchovací kámen pro okysličování vody a čtyřkanálové relé pro spínání vodní a vzduchové pumpy. Oproti předchozímu systému chci ještě snímat množství výživných látek ve vodě, tedy bude potřeba zakoupit TDS senzor.

Jako řídicí jednotku systému jsem zvolil mikroprocesor Raspberry Pi 4 model B (RPi), jelikož sám jednu jednotku vlastním a přišlo mi to jako logická volba, když již jsem vcelku seznámen s fungováním a prací s tímto mikroprocesorem.

3.3.2. Řídící software

Jako řídicí software jsem nakonec zvolil open source projekt Mycodo, jelikož je přímo vyvinutý pro RPi a i původně zamýšlen pro ovládání hydroponie. Dále obsahuje všechny funkce, které budu pro výslednou automatizaci potřebovat od sběru a vizualizace dat po ovládání peristaltických pump. Z těchto důvodů mi přišlo zbytečné sám si psát řídicí software.

3.3.2.1. Mycodo

Samotný software se skládá ze dvou částí a to z programu, který je potřeba nainstalovat na RPi a z webové aplikace, přes kterou se poté nastavují vstupy a výstupy systému. Ty lze posléze zakomponovat do buďto vlastních či předpřipravených funkcí, které dokážou plnit námi požadované automatické ovládání systému.

4. Implementace navrženého systému

4.1. Nosná konstrukce

Po konzultaci jsem při samotné implementaci upustil od spojování hliníkové konstrukce pomocí 3D vytištěných L spojníků a využil klasické železné spojovací díly. Použití klasických železných spojovacích dílů se nakonec ukázalo jako jednodušší, pevnější a ve výsledku i levnější varianta.

Pro vedení živného roztoku a zároveň držáky pro sadbové košíčky s rostlinami jsem zvolil trubky o průměru 110 mm. Tento průměr trubky jsem zvolil místo trubky o průměru 75 mm, jelikož při použití košíčků s hloubkou 60 mm, které se již ve škole nacházely, by u rostlin s velkým kořenovým systémem mohlo docházet k ucpání celého kanálu. Trubky jsou použity tři. Každá o přibližné délce 500 mm se třemi otvory pro košíčky.

Jelikož je takovéto použití odpadních trubek nestandardní, navrhl jsem si pro ně speciální koncovky pro 3D tisk, kterými se dají zároveň uchytit k nosné konstrukci. Propojení mezi jednotlivými trubkami a rezervoárem zajišťuje flexibilní hadice zasunutá do vyvrtaného otvoru v trubkách. Pomocí těchto hadic můžeme regulovat výšku hladiny vody v trubce, což využíváme zejména u mladých rostlin, které nemají ještě vyvinutý větší kořenový systém a jejich kořeny by nedosahovaly do hladiny nižší než 5 cm. Musíme tedy systém zprvu naplnit vodou aby jsme dosáhli požadované hladiny v každé trubce.

Pro snížení napouštěcího času systému jsem zkusil trubku částečně naplnit keramzitem. Toto řešení zafungovalo. Bohužel ne všechen keramzit klesl ke dnu, jak jsem očekával, a nakonec ten plavající ucpával odtokovou hadici. Tudíž jsem se vrátil k původnímu návrhu mít trubky prázdné a keramzit mít pouze v košíčcích pro kotvení rostlin.

Z vlastní zvědavosti a nedostatečného počtu již hotových košíčků nacházejících se ve škole také použiji alternativu ke košíčkům, která mě napadla, a to klasické kelímky od jogurtu s vyřezanými otvory jako mají košíčky určené pro hydroponie.

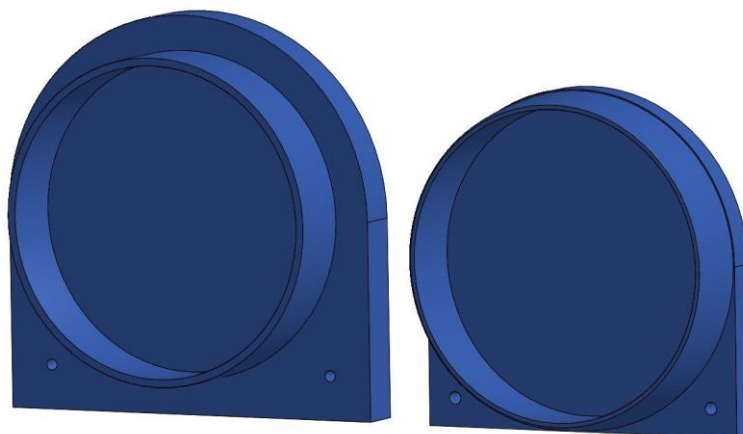
4.2. Koncovky na trubky

Koncovky na trubky jsem se snažil navrhnout tak, aby plnily svůj úkol, a to uzavření trubek a jejich následné přichycení ke konstrukci. Dalším faktorem ovlivňující jejich výslednou podobu bylo množství spotřebovaného filamentu.

4.2.1. Vývoj v CADu

Jako software pro vytvoření návrhu koncovek jsem si vybral webový program *Onshape* díky jeho přehlednosti a jednoduchosti pro začátečníky a zároveň jeho možnosti širšího použití na typově různých zařízeních. Lze v něm příjemně pracovat jak na počítači tak i na větších přenosných chytrých zařízeních jako jsou např. tablety.

Prvotní představa o podobě koncovky byla tloušťka stěny pro uchycení 10 mm, na kterou by přímo kolmo navazovala 2 cm dlouhá trubka o vnitřním průměru 110 mm, do které by se následně vsunula zakoupená trubka. První design měl také kolem trubky asi 10 mm límeč od hrany kotvící stěny. Na základě konzultace a reálného vyzkoušení vytištěné koncovky jsem její design přepracoval tak, že jsem ztenčil stěnu tištěné trubky, zapustil ji o 5 mm do kotvící stěny a postupně ji pozvolna rozšiřoval směrem ke kotvící stěně, aby byla zajištěna dostatečná pevnost. Dále jsem nahradil 10 mm límeč pouhým 2 mm okrajem. Na obrázku 12 vidíme posun mezi prvním a konečným návrhem. Kód, případně 3D model pro výtisk finální podoby držáku na trubky je uveden v příloze 2 a 3.



Obrázek 12: Koncovky trubek, první návrh (vlevo), finální podoba (vpravo)

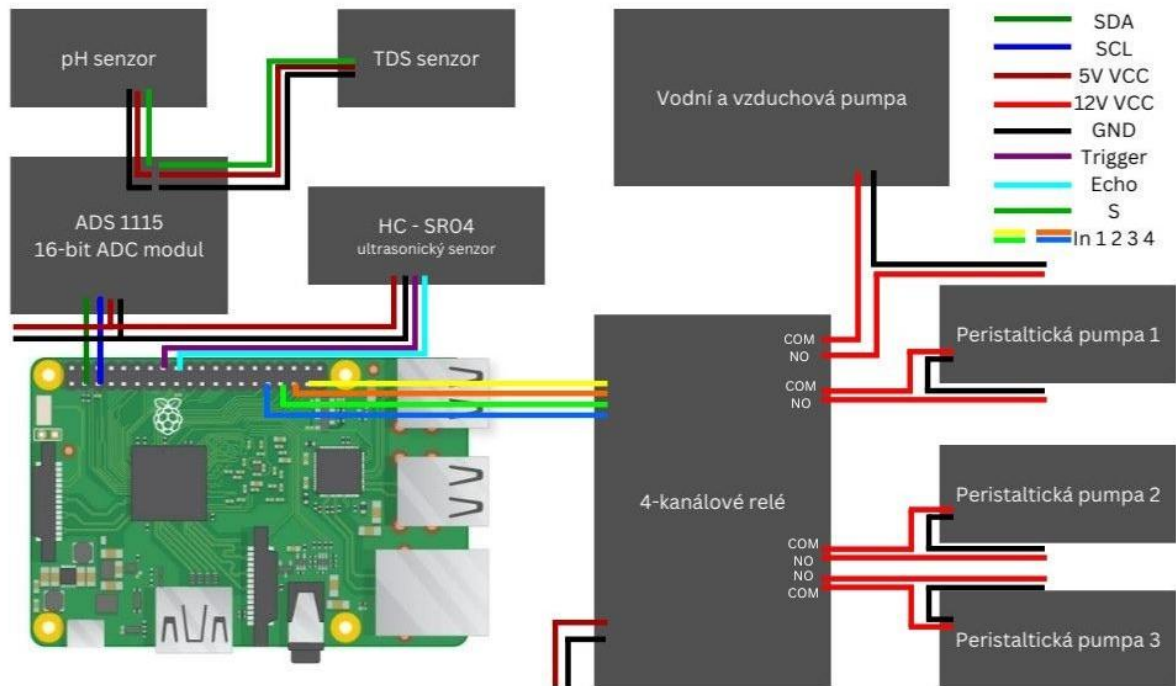
4.3. Automatizace systému

4.3.1. Senzorové zapojení

Ve svém návrhu používám jako řídicí jednotu RPi narozdíl od dříve použitého Arduina UNO Mega. V průběhu zapojování senzorů jsem zjistil, že je zapotřebí doobjednat 16-bitový ADC převodník pro sbírání dat z pH senzoru a TDS senzoru, protože RPi na rozdíl od Arduina nedisponuje analogovým vstupem. ADC převodník je do RPi připojen přes SDA a SDC piny, které tvoří I2C sběrnici. Výšku hladiny vody v hlavním rezervoáru snímám pomocí ultrazvukového senzoru, který je přímo připojený do RPi, kdy snímáme 2 signály tzv. Trigger a Echo. Všechny použité senzory jsou napájeny 5V ze separátního zdroje. V levé části obrázku 13 vidíme zapojení senzorů k RPi.

4.3.2. Zapojení mechanických součástí

Na I2C sběrnici jsem se snažil připojit i ovladač peristaltických pump, který navrhl můj předchůdce, jelikož do jeho tištěné desky také zakomponoval výstupy pro I2C sběrnici. Bohužel, tento záměr se mi nepodařilo uskutečnit, jelikož RPi neregistrovalo ovladač po připojení, nevím zda to bylo způsobeno špatným kontaktem vodičů či nějakou další hardwarovou či softwarovou chybou. Nakonec jsem se tedy rozhodl spínat jednotlivé pumpy přes ovladač pomocí GPIO pinů on/off. Ostatní dvě použité pumpy jsou spínány pomocí čtyřkanálového relé, které je přepínané přes GPIO piny. Peristaltické pumpy jsou napájeny 12V ze separátního zdroje.



Obrázek 13: Finální blokové schéma zapojení

4.4. Implementace a nastavení Mycodo

Instalace programu Mycodo na RPi je jednoduchá, stačí pouze zadat instalační příkaz do terminálu a operační systém si už sám stáhne a nainstaluje potřebné soubory z GitHub repozitáře. Připojování periférií, jejich ovládání a nastavování probíhá ve webové aplikaci, která je rozdělena do tří sekcí: Data, Setup, More. Nás zajímají zejména první dvě sekce.

4.4.1. Vizualizace dat

Vizualizace dat se děje v sekci Data. Tam se nám zobrazují aktuální hodnoty změřené senzory - tzv. *Live Measurement*. Dále si zde můžeme vytvořit vlastní nástěnku v záložce *Dashboard*, na kterou lze připnout specifické *Widgety*. Tyto widgety si můžeme zorganizovat podle sebe pouhým přetažením na jiné místo, či libovolně měnit jejich velikost. U widgetů ve formě grafu si můžeme nastavit jakýkoliv vstup či výstup, který máme zapojený. Grafy se samy automaticky aktualizují, tudíž máme neustále přehled o aktuální hodnotě v porovnání s historickými hodnotami. Také si lze graf barevně upravit podle vlastních představ, nastavit vlastní zobrazované meze atd. Pomocí widgetů si také můžete nastavit ovládací tlačítka pro jednotlivé pumpy či svítící kontrolky pro indikaci chodu součástky.

4.4.2. Automatizace úkonů

Celé nastavení automatického ovládání se provádí v sekci Setup. V sekci Setup přidáváme vstupní a výstupní zařízení, jako jsou senzory, peristaltické pumpy, či displeje a také je spojujeme a nastavujeme do funkcí. Aplikace již obsahuje velké množství předpřipravených nastavení pro jednotlivé senzory, které můžeme vidět na obrázku 14, či jejich požadované ovládání. Mnohdy stačí pouze z menu vybrat název senzoru, zadat jeho I2C adresu, popřípadě BCM (Broadcom SOC channel – vnitřní číslování čipu) číslo GPIO pinu, na který je připojen.

Input Configuration: HC-SR04

Close
Save
Delete
Duplicate

Manufacturer: Multiple Manufacturers
 Interface: GPIO
 Measurements: Ultrasonic Distance
 Library: libgpiod-dev, pyusb, adafruit-circuitpython-hcsr04
 Literature: Manufacturer [Link 1](#); Datasheet [Link 1](#); Product [Link 1](#); Additional [Link 1](#).

Commands
Acquire Measurements Now

Options

Name	Log Level: Debug Interface	Period (Seconds)	Pre Output
<input type="text" value="HC-SR04"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text" value="15,0"/>	<input type="text" value="GPIO"/> <input type="text" value="15,0"/> <input type="text" value="Disabled"/>
Pre Out Duration (Seconds)	Pre During Measure		
<input type="text" value="10,0"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

Custom Options

Trigger Pin	Echo Pin
<input type="text" value="23"/>	<input type="text" value="24"/>

Obrázek 14: Nastavení vstupu

Připojení výstupních periférií je velmi podobné těm vstupním. U některých periférií je ještě zapotřebí do počáteční inicializace zadat parametrizující hodnoty jako např. maximální množství přečerpávané kapaliny peristaltickou pumpou v ml/min, či kalibrace senzorů, kdy zadáme kalibrační hodnotu podle hodnoty na obalu kalibračního roztoku a program se už sám zkalibruje.

4.4.3. Tvorba funkcí

Tvorba a nastavení funkcí v Mycodo jsou obdobné jako u vstupních a výstupních periférií, ale je zde požadována větší míra konfigurace z uživatelské strany. Pro nastavení časovače pro pumpu nebo případně pro osvětlení musíme použít dvě funkce a to *Trigger: Daily Time Span* (viz obrázek 15) a *Trigger: Daily Time Point*. První funkci nastavíme časový úsek, ve kterém se má dít nějaká událost (Action), v mém případě tedy spuštění pumpy. Druhá funkce slouží pro vypnutí pumpy na konci časového intervalu. U funkce pro monitorování kvality vody, resp. jejích hodnot pH a TDS je zapotřebí do funkce dodat dávkovací výstupní zařízení, vstupní měřící senzory a hlavně požadované úrovně měřených hodnot.

Trigger Configuration: Trigger: Daily Time Span

Close
Save
Delete
Execute All Actions

Time Span Trigger Functions will execute Actions every day within the set Start and End times, every Period. The first execution will be the Start Time.

Name	Start Time (HH:MM)	End Time (HH:MM)	Period (Seconds)	Log Level: Debug
<input type="text" value="Pump daily cycle - on"/>	<input type="text" value="10:00"/>	<input type="text" value="22:00"/>	<input type="text" value="5,0"/>	<input type="checkbox"/>

Actions

Action: Select One
Add

Usage: When the controller is triggered, each Action will be executed.

[Action] Output	State	Duration (Seconds)
<input type="text" value="[Output 06 CH0] Out 1 - Pump"/>	<input type="text" value="On"/>	<input type="text" value="0,0"/>

Obrázek 15: Funkce časování pumpy

Při tvorbě dávkovací funkce pro peristaltické pumpy jsem si všiml, že i když se pumpy otáčí, tak nevytvářejí žádný tlak a tím pádem nic nečerpají. Po několika opětných složení a rozebrání pumpy

jsem došel k závěru, že motorky nejsou dostatečně silné na to, aby dokázaly dostatečně stisknout hadičku uvnitř peristaltického mechanismu, která by tak byla schopna čerpat vodu. Myslím si, že důvodem proč k této závadě došlo je stárání, únava a působení velkých koncentrací minerálních látek na materiály, ze kterého jsou součástky pump vyrobeny. Musel jsem tudíž doobjednat 3 peristaltické pumpy, které spínám pomocí čtyřkanálového relé. Finální zapojení pump je vyobrazeno v pravé části na obrázku 13.

V Mycodo existuje i funkce pro odesílání notifikací na email. U té je potřeba napsat jednoduchý kód v programovacím jazyce Python, s požadovanou podmínkou, za které se email s naší zprávou odešle. Pro uživatele nepříliš programátorsky zdatné je u kódování v Pythonu připraven krátký návod jak funkci vytvořit i s hotovými příklady kódu. Já jsem si takovou funkci napsal pro notifikaci o stavu hladiny vody v rezervoáru. Na obrázku 16 vidíme kód, který když zaznamená, že hladina dosáhla méně jak 6 cm, tak odešle notifikaci na email s informací, že je potřeba doplnit vodu v rezervoáru. Do kódu se jen nesmí zapomenout zadat správné identifikační číslo podmínky, ve které máme uvedený senzor na něhož základě poté spouštíme akci, odeslání emailu, která má také vlastní identifikační číslo. Podobu podmínek, akcí a jejich identifikačního čísla vidíme na obrázku 17.

```
Run Python Code

water_lvl = self.condition("c4a7cd4b")
self.logger.info(f"Measurement value is {water_lvl}")

if water_lvl < 6:
    self.message = "Water level is too low. Refill the reservoir soon!"
    self.run_action("4db75ea3", message=self.message)
```

Obrázek 16: Kód pro notifikaci

Conditions

Condition: Select One

[Condition] Measurement (Single, Last): self.condition("c4a7cd4b") returns the last value found within the Max Age, otherwise returns None.

Measurement	Max Age (Seconds)
[Input 04 CH0] HC-SR04 Length (cm)	360

Actions

Action: Select One

Usage: self.run_all_actions() will sequentially execute all the actions below.

[Action] Send Email: Send an email.

Usage: Executing self.run_action("4db75ea3") will email the specified recipient(s) using the SMTP credentials in the system configuration. Separate multiple recipients with commas. The body of the email will be the self-generated message. Executing self.run_action("4db75ea3", value={"email_address": ["email1@email.com", "email2@email.com"], "message": "My message"}) will send an email to the specified recipient(s) with the specified message.

E-Mail Address

Obrázek 17: Podmínka a akce u notifikace

4.5. Možné budoucí úpravy

4.5.1. Výpustní kohouty

Při návrhu mého hydroponického systému jsem se inspiroval návodem pro stavbu hydroponického systému Semiramis od Paralell Gardens. V jejich návodu instalují do trubek, kde pěstují rostliny, výpustní kohouty. Tyto kohouty mi při navrhování přišly zbytečné, z důvodu že tato funkce nebude

v mém návrhu potřeba. Při testování jsem ale zjistil, že by se mi tyto kohouty hodily, jelikož vytahování hadice z trubky po každém dalším testu se stávalo nepříjemnější. Také jsem zjistil, že by se výpustní funkce hodila i při případné údržbě systému a dále i pro vodotěsnost systému, jelikož aktuálně nemohu zcela utěsnit přípojovací hadice.

4.5.2. Dodatečné senzory

Mezi další senzory, které by se daly použít a jednoduše přidat do mého systému je senzor teploty vody v rezervoáru, která by se ideálně měla pohybovat mezi 15–20°C. Doplnitelné jsou i senzory pro hladinu vody. Tyto senzory bych umístil do každé trubky a plnily by varovnou funkci proti přetečení v případě, že by se daná trubka ucpala. Má představa by byla asi taková, že při zaznamenání nebezpečně vysoké hladiny by systém vypnul vodní čerpadlo a odeslal notifikaci uživateli o nastalém problému.

4.5.3. Izolování systému

Pro lepší kontrolu nad působícími vlivy lze celý systém uzavřít do tzv. *growboxu*. Jde o neprodyšný stan ze silné a odolné tkaniny s vnitřní odrazivou fólií a jako celek izoluje hydroponický systém. Tím pádem můžeme lépe kontrolovat teplotu, vlhkost a osvětlení. Samozřejmě za pomoci příslušných senzorů a ventilačních systémů.

4.5.4. Analýza zdraví rostlin

Pro analýzu zdraví rostlin bychom mohli do systému zakomponovat i umělou inteligenci (AI), které se v posledních letech dopřává velké pozornosti. V dnešní době je AI schopna vyhodnocovat mnoho dat a na jejich základě plnit celou řadu úkolů jako je např. rozpoznání obličeje či analýza obrazu. Pro analýzu obrazu a jeho zdokonalování se dnes používá především algoritmus konvolučních neuronových sítí (CNN). Pro správné fungování analýzy CNN je nejprve potřeba ji naučit rozpoznávat požadované vzory. U hydroponií by to mohly být obrázky možných nemocí či změna barvy listů jako znak nedostatku či přebytku vody nebo živin. [32]

5. Závěr

V rámci této práce se mi podařilo zrealizovat hydroponický systém navržený na základě předcházející analýzy materiálů, komponent a typů hydroponických farem. Dále jsem úspěšně do zkonstruovaného systému implementoval navržený řídicí software Mycodo, který sbírá potřebná data ze senzorů pro automatické ovládání systému, které rovněž zajišťuje.



Obrázek 18: Výsledná podoba hydroponie

Výsledná podoba mého NFT systému, která je vidět na obrázku 18, je v porovnání s jinými NFT systémy odlišná. Hlavní rozdíl mezi mým a běžným NFT systémem vidím v tom, že u mého systému musí dojít nejprve k napuštění trubek což se u běžných NFT konfigurací neděje. V předběžném napouštění systému ale vidím i výhodu – i při ztrátě energie rostliny v mém systému stále dostávají nějakou úroveň zavlažení, jelikož se nahromaděná voda v trubkách začne odpařovat, a tím pádem kořeny úplně nevysychají jako tomu je u klasického NFT systému. Z tohoto rozdílu plyne ještě další výhoda, a to variabilitnost použití jednotlivých vrstev systému. Jelikož má systém nastavitelnou hladinu vody v jednotlivých trubkách, můžeme si určit, že v horním patře budeme rostliny zakořeňovat (potřebná vyšší hladina vody) a v nižších patrech pěstovat pro sklizeň. Klasický NFT systém není ideální pro zakořeňování nových rostlin.

Seznam zdrojů

- [1] TICHÝ, Radek. Specifika hydroponického pěstování zeleniny – znáte je?. *Magazín speciálního zahradnictví* [online]. 2015, 24.3.2015 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://magazin.specialnizahradnictvi.cz/specifika-hydroponickeho-pestovani-zeleniny-znate-je/>
- [2] Hydroponie: technologie, která do zemědělství přináší naději. *Společně udržitelně* [online]. 1.9.2021 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://spolecne-udrzitelne.cz/aktuality/inspirace/hydroponie-technologie-ktera-do-zemedelstvi-prinasi-nadeji>
- [3] ČTK. Vědec: Stav půdy je špatný hlavně kvůli intenzivnímu zemědělství. *Ekolist.cz: zprávy o přírodě, životním prostředí a ekologii* [online]. 19.5.2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/vedec-stav-pudy-je-spatny-hlavne-kvuli-intenzivnimu-zemedelstvi>
- [4] STŘÍTECKÝ, Josef. Josef Strítecký: Dezertifikace – velký, ale opomíjený problém ochrany klimatu. *Ekolist.cz: zprávy o přírodě, životním prostředí a ekologii* [online]. 16.1.2020 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/josefn-stritecky-dezertifikace-velky-ale-opomijeny-problem-ochrany-klimatu>
- [5] REPORT ID: ER_00157. World's Top 8 Companies Leading in Vertical Farming. *Emergen research* [online]. 20 April 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.emergenresearch.com/blog/worlds-top-8-companies-leading-in-vertical-farming>
- [6] VOHRADNÍKOVÁ, Karolína. Video návod - postavte hydroponický systém Semiramis!. *Parallel Garden* [online]. 20. 6. 2021 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.parallelgarden.com/post/video-n%C3%A1vod-postavte-hydroponick%C3%BD-syst%C3%A9m-semiramis>
- [7] URBAN, Pavel. Lokální farmy budou za pár let velký trend, říká ředitel firmy GreenTech. *Metro.cz* [online]. 9. srpna 2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.metro.cz/lokalni-farmy-budou-za-par-let-velky-trend-rika-reditel-firmy-greentech-13q-/spolecnost.aspx?c=A220809_164338_metro-spolecnost_hala#new_tab
- [8] Hydroponie - co obnáší a jak začít?. *Hi garden* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.higarden.cz/blog/hydroponie-co-obnasi-a-jak-zacit/>
- [9] ROBINSON, Brock. What Are Hydroponic Systems and How Do They Work?. *Fresh Water Systems* [online]. 6 September 2019 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.freshwatersystems.com/blogs/blog/what-are-hydroponic-systems>
- [10] How to Choose the Right Hydroponic System for Your Needs?. *Hydroponic Way* [online]. 13 July 2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://hydroponicway.com/how-to-choose-right-hydroponic-system>
- [11] The Difference Between Kratky and DWC Hydroponic Systems. *Hydroponic Way* [online]. 13 July 2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://hydroponicway.com/the-difference-kratky-and-dwc-hydroponics>
- [12] The Pros and Cons of Wick Hydroponic Systems. *Hydroponic Way* [online]. 31 January 2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://hydroponicway.com/the-pros-and-cons-of-wick-hydroponic-systems-bf00b8d03b67>
- [13] Trees.com Staff. What is the Nutrient Film Technique – NFT? How does it work?. *Trees.com* [online]. February 23, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.trees.com/gardening-and-landscaping/nutrient-film-technique>

- [14] ALTINÉ. Here are Ebb and Flow System Pros and Cons (And why you should consider this system). *Plants Heaven* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://plantsheaven.com/ebb-and-flow-system-pros-and-cons/>
- [15] Pros and Cons of Drip Hydroponic System. *Hydroponic Way* [online]. 21 June 2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://hydroponicway.com/pros-and-cons-of-drip-hydroponic-system>
- [16] Trees.com Staff, Brock. A Deep Look At Aeroponics. *Trees.com* [online]. 20 December 2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.trees.com/gardening-and-landscaping/aeroponic>
- [17] Tým rehabilitace.info. Co je to akvaponie (aquaponie)? A jaké má výhody?. *Rehabilitace.info: Magazín o zdraví* [online]. 21 ledna, 2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.rehabilitace.info/zdravotni/co-je-to-akvaponie-aquaponie-a-jake-ma-vyhody/>
- [18] CO JE TO AKVAPONIE?. *Fishplant.cz* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.fishplant.cz/r-aquaponicke-systemy/>
- [19] Keramzit a hydroponie. *Keramzit.cz* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.keramzit.cz/keramzit-a-hydroponie/>
- [20] ESPIRITU, Kevin. Hydroponic Growing Media. *Epic Gardening* [online]. 18 May 2021 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.epicgardening.com/hydroponic-growing-media/>
- [21] *Gardners: pěstujte rostliny jinak* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.gardners-eshop.cz/specialni/managreen--21/>
- [22] STOREY, Amy. Sizing a Pump for Hydroponics or Aquaponics. *Powered by Plenty* [online]. 9 Sep 2016 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://university.upstartfarmers.com/blog/sizing-a-pump-hydroponics-aquaponics>
- [23] SIMPLE GREEN HYDROPONICS. Hydroponic PVC Rails: Round vs Square?. *YouTube* [online]. 24. 6. 2020 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://youtu.be/slgZ88sKfXM?t=40>
- [24] What is the Ideal Water Temperature for Hydroponics?. *Growee* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://getgrowee.com/ideal-water-temperature-for-hydroponics/>
- [25] JOHNSON, Larry. EC vs TDS. *EZ GRO Garden* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://ezgrogarden.com/hydroponics/ec-vs-tds/>
- [26] EC to TDS Conversion. *Hydro-Gardens* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://hydro-gardens.com/ec-to-tds-conversion/>
- [27] DUBANIEWICZ, Kasha. PH, EC and temperature – Measuring and adjusting your fundamental parameters. *The art of growing blog* [online]. 19 February 2021 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://blog.bluelab.com/ph-ec-and-temperature>
- [28] D'ANNA, Christina. The Basics of Hydroponic Lighting. *The spruce: make your best home* [online]. 31/08/22 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.thespruce.com/hydroponic-lighting-basics-1939224>
- [29] WU, Garling. 5 Hydroponic Systems With Raspberry Pi and Arduino. *Make us of* [online]. 13 March 2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.makeuseof.com/hydroponic-systems-with-raspberry-pi-and-arduino/>
- [30] HOW MUCH WATER FOR MY PLANTS?. *Micodrips* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.micodrips.com/en/blog/drip-irrigation/how-much-water-plants/>

[31] Determining The Right Reservoir Size For Your Hydroponics System *Hyalite* [online]. 10 DECEMBER 2018 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://hyalite.com.au/blog/determining-the-right-reservoir-size-for-your-hydroponics-system>

[32] ICT NETWORK NEWS. Konvoluční neuronové sítě pomáhají detekovat a blokovat nevhodný obsah sociálních sítí. *ICT NETWORK NEWS* [online]. 28 dubna 2021 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://cz.ict-nn.com/konvolucni-neuronove-site-pomahaji-detekovat-a-blokovat-nevhodny-obsah-socialnich-siti/>

Zdroje obrázků:

[33] The 6 Basic Hydroponic Systems – Which One To Use?. In: *Atlas Scientific: environmental robotics* [online]. 15 January 2021 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://atlas-scientific.com/blog/hydroponic-systems/>

[34] Tým rehabilitace.info. Co je to akvaponie (aquaponie)? A jaké má výhody?. *Rehabilitace.info: Magazín o zdraví* [online]. 21 ledna, 2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.rehabilitace.info/zdravotni/co-je-to-akvaponie-aquaponie-a-jake-ma-vyhody/>

Seznam příloh

Příloha 1: Náčrt konstrukce – Náčrt konstrukce.jpg

Příloha 2: 3D model držáku - 3D model držáku.stl

Příloha 3: Gkód pro tisk držáku - Gkód pro tisk držáku.gcode