



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

NÁVRH A REALIZACE ONLINE MONITORINGU AQUAPONICKÉ FARMY

MONITORING SYSTEM DESIGN FOR AQUAPONICS FARM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Mikuš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Stanislav Věchet, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student: **Tomáš Mikuš**
Studijní program: Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor: Mechatronika
Vedoucí práce: **doc. Ing. Stanislav Věchet, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh a realizace online monitoringu aquaponické farmy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Aquaponie je inovativní způsob pěstování listové zeleniny spojený s chovem ryb. Při produkci zeleniny nejsou využívána umělá hnojiva, nýbrž organické hnojivo produkované rybami. Kromě rostlin a ryb jsou v systému využity i bakterie, které rozkládají organický materiál na živný roztok. Tento způsob pěstování zeleniny spotřebovává výrazně menší množství vody než konvenční způsoby zemědělství. Pro tuto farmu bude navržen systém IoT sběru dat (teplota, vlhkost, pH) a ovládání čerpadel i ventilace.

Cíle bakalářské práce:

1. Seznamte se s problematikou provozu a automatizace aquaponických farem.
2. Navrhněte architekturu škálovatelného řídicího systému pro sběr dat.
3. Vybranou architekturu zrealizujte na vhodném technologickém demonstrátoru.
4. Prakticky ověřte vlastnosti navrženého systému.

Seznam doporučené literatury:

LIGHT, R. A., Mosquitto: server and client implementation of the MQTT protocol, The Journal of Open Source Software, vol. 2, no. 13, May 2017, DOI: 10.21105/joss.00265.

BALÁTĚ, J.: Technické prostředky automatického řízení. Praha, SNTL 1986.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je návrh a realizace online monitorovacího systému aquaponické farmy. Systém bude schopen měřit teplotu vody v nádržích, teplotu a vlhkost vzduchu, pH vody v nádržích a úroveň vodní hladiny v nádržích. Všechna naměřená data budou přístupná online odkudkoli. Systém bude také schopen ovládat ventilátor a vodní čerpadla.

Klíčová slova

Aquaponie, Nitrifikační proces, ESP-32S, Měření teploty, DS18B20, Měření vlhkosti, AM2320, Měření pH, Webová aplikace, Skleník

Abstract

The aim of this bachelor thesis is the design and implementation of an online monitoring system for an aquaponic farm. The system will be able to measure water temperature in tanks, air temperature and humidity, pH of water and water level in tanks. All measured data will be accessible online. The system will also be able to control a fan and water pumps.

Keywords

Aquaponics, Nitrification process, ESP-32S, Temperature measurement, DS18B20, Humidity measurement, AM2320, pH measurement, Web application, Greenhouse

Bibliografická citace

MIKUŠ, Tomáš. Návrh a realizace online monitoringu aquaponické farmy. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140225>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Stanislav Věchet.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Návrh a realizace online monitoringu aquaponické farmy* zpracoval sám pod vedením doc. Ing. Stanislava Věcheta, Ph.D., a že veškeré zdroje informací jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Brno

.....

Tomáš Mikuš

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Stanislavu Věchetovi, Ph.D. za odborné vedení a trpělivost. Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu během studia.

Obsah

1	Úvod	10
2	Aquaponie	11
2.1	Definice	11
2.2	Historie	11
2.3	Nitrifikační proces	14
2.4	Části systému	15
2.4.1	Nádrž na ryby	15
2.4.2	Filtr	15
2.4.3	Biofiltr	15
2.4.4	Hydroponická část	15
3	Monitorovací systém	16
3.1	ESP-32S	16
3.2	Měření teploty	17
3.2.1	Termočlánek	18
3.2.2	Termistor	18
3.2.3	Dallas DS18B20	19
3.3	Měření vlhkosti	20
3.3.1	Senzor vlhkosti AM2320	21
3.4	Měření pH	21
3.4.1	Modul PH-4502C	22
3.5	Měření vodní hladiny	23
3.6	Ovládání externích zařízení	23
3.7	Modul pro SD kartu	24
3.8	Webová aplikace	24
3.8.1	Google Apps Script	25
3.8.2	Vlastní webová aplikace	25
4	Zapojení a software monitorovacího systému	28
4.1	Časování funkcí	28
4.2	Zapojení jednotlivých senzorů	28
4.2.1	Teplotní čidla Dallas DS18B20	28
4.2.2	Senzor vlhkosti AM2320	29
4.2.3	Senzor pH	29
4.2.4	Senzor vodní hladiny	29
4.2.5	Relé modul	29
4.2.6	Modul pro připojení SD karty.	30
4.3	Komunikace s webovou aplikací	30

4.4	Návrh DPS	30
5	Konstrukce farmy	32
5.1	Předchozí iterace farmy	32
5.2	Současná iterace farmy	32
5.2.1	Skleník	33
6	Výsledky	37
7	Závěr	39
	Literatura	40
	Seznam příloh	43

1 Úvod

Z důvodu neustálého růstu populace na Zemi je důležité hledat nové a dlouhodobě udržitelné zdroje potravy. Tyto nové technologie by měly mít nízkou energetickou náročnost a hlavně nízkou spotřebu pitné vody. V tradičním zemědělství dochází k velkým ztrátám vody, z důvodu vypařování.

Hydroponie je způsob pěstování rostlin, který spotřebovává až o 90 % méně vody než konvenční zemědělství. Do takového systému je, ale nutné uměle dodávat hnojivo. Tím je zajištěna efektivnost celé produkce. Použití umělých hnojiv však není dlouhodobě udržitelné. Jejich výroba je energeticky velmi náročná a také znečišťuje životní prostředí. Nehledě na to, že se vyrábí z nerostných surovin.

Myšlenku hydroponie dále rozvíjí aquaponie. S hydroponií sdílí všechny její kladné vlastnosti a přidává řadu dalších. Do aquaponického systému není potřeba dodávat umělá hnojiva. Další výhodou je spojení s živočišnou výrobou. Trus těchto chovaných živočichů slouží jako hnojivo pro rostliny.

Cílem práce je sestavit monitorovací systém, který bude nepřetržitě sledovat klimatické podmínky v aquaponické farmě. Naměřená data bude také bezdrátově přenášet do cloudu, aby byla přístupná odkudkoli. Systém bude schopen také ovládat čerpadla respektive ventilátor.

2 Aquaponie

2.1 Definice

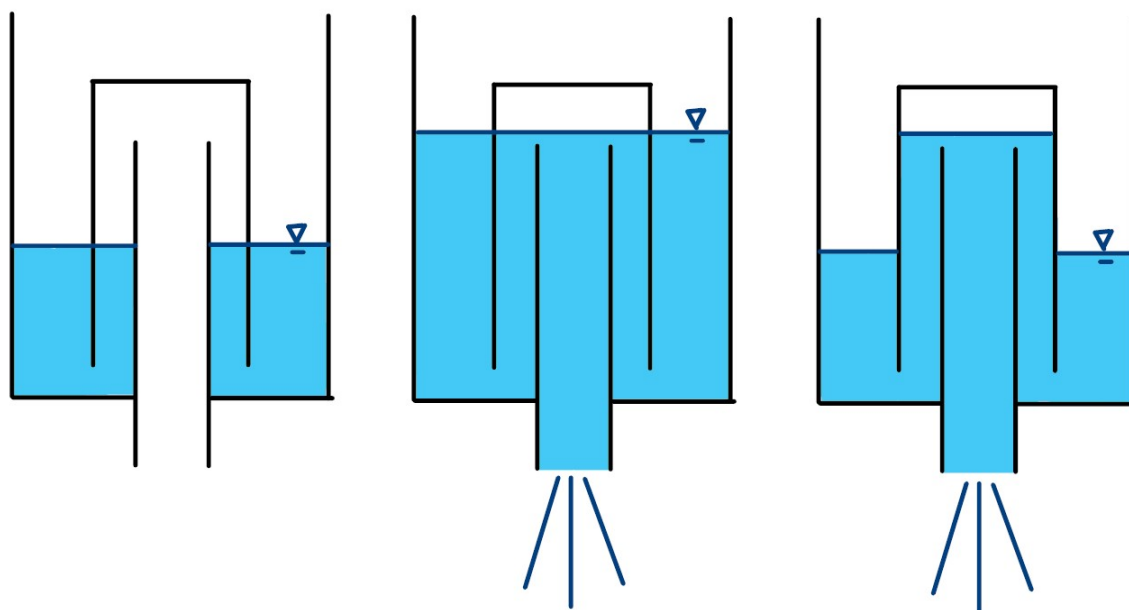
Aquaponie je způsob pěstování potravin, který spojuje hydroponii s chovem ryb nebo jiných vodních živočichů. Hydroponie je způsob pěstování rostlin bez půdy. Kořeny rostlin jsou ponořeny do živného roztoku, někdy se využívá stabilizační medium pro mechanickou stabilizaci rostliny např. lávové kameny, keramzit atd. U aquaponie, na rozdíl od hydroponie, se živiny do vody nepřidávají uměle, ale využívá se trus chovaných živočichů. V obou případech jsou ale zapotřebí nitrifikační bakterie, které přeměňují amoniak na dusičnany a tím vytváří živný roztok pro rostliny. Z tohoto důvodu nemusejí být používána umělá hnojiva. Rostliny napomáhají filtraci vody, protože absorbují již zmíněné dusičnany, které jsou ve velkých koncentracích pro ryby toxické. Jedná se o uzavřený cyklus, díky kterému je využíváno výrazně menší množství vody než při konvenčním zemědělství. [5, 7]

2.2 Historie

O prvním využití aquaponie vedou vědci dlouhé debaty. Někteří říkají, že aquaponie využívali již Azékové, kteří vytvářeli umělé ostrovy zvané chinampa. Tyto ostrovy byly budovány v mělkých jezerech Mexického údolí. Do dna byly nejdříve zapuštěny sloupky a mezi ně byly vpleteny větve a vznikl tedy takový plot. Vnitřní prostor následně vyplnili úrodným bahnem ze dna jezera a organickou hmotou. Ostrovy nebyly tvořeny příliš vysoké, aby rostliny stále dokázaly čerpat vodu přímo z jezera.

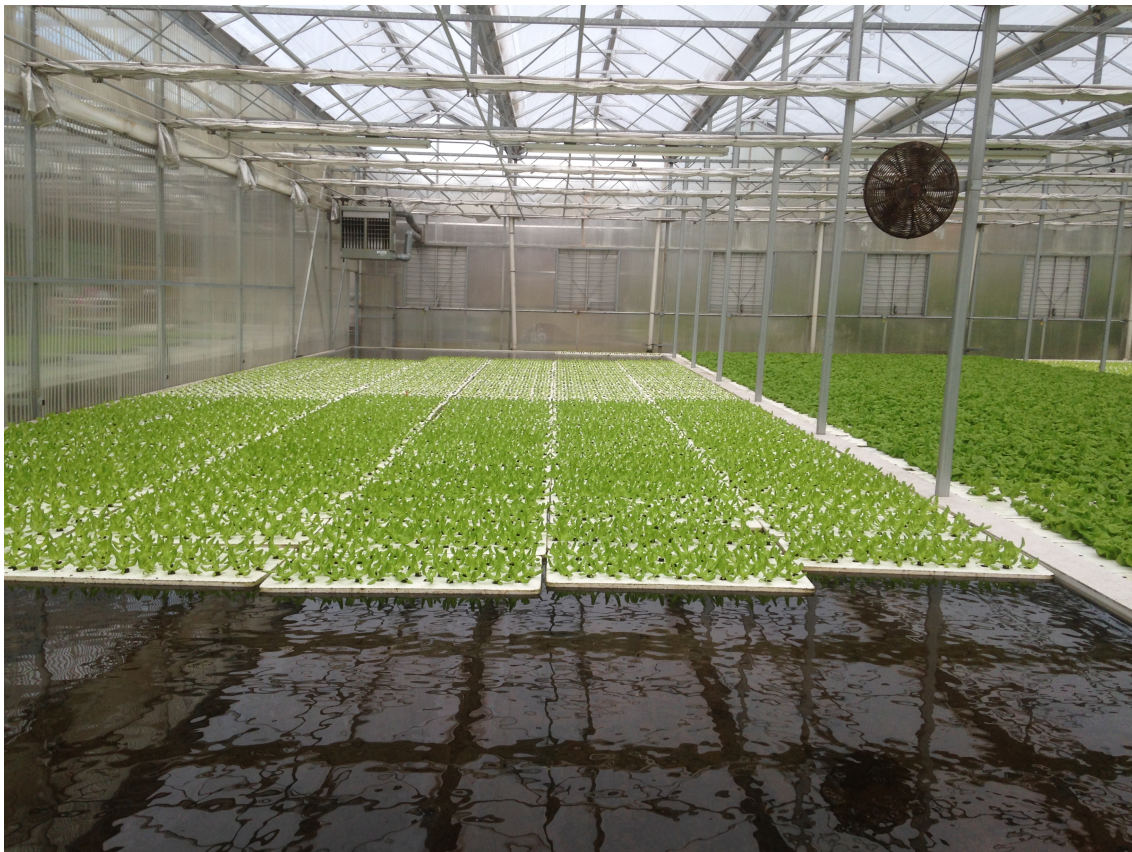
Aquaponie byla také využívána v jihovýchodní Asii na rýžových polích. Do zaplavovaných rýžových polí byly nasazeny ryby, jako kapr obecný nebo karas obecný, aby zvyšovaly produkci rýže. Z Asie se poté tato technologie dál rozšířila.

Zmínky o moderní aquaponii se objevují v sedmdesátých letech, kdy se vývoji věnoval New Alchemy Institute na North Carolina State University. V tomto období institut publikoval mnoho prací na téma aquaponie. V roce 1977 New Alchemy Institute ověřil proveditelnost a efektivitu aquaponické farmy. V truhlících naplněných pískem pěstovali ledový salát a rajčata. K regulaci vodní hladiny v truhlících využili podtlakový přepad. Jedná se o automatický způsob, jak z truhlíku vypustit většinu vody, pokud hladina překročí určitou úroveň. Do truhlíku je přívod vody konstantní, vypouští se jen, pokud hladina dosáhne předem stanovené úrovně. Vzniká tím tedy časové okno, kdy kořeny rostlin nejsou pod vodou a mohou volně dýchat. [3, 5, 8]



Obrázek 2.1: Obrázek znázorňující fungování podtlakového přepadu

V roce 1979 se Dr. James Rakocy z University of the Virgin Islands začal věnovat vývoji technologie, která by umožňovala pěstování rostlin bez stabilizačního média. Tento způsob pěstování, ale není vhodný pro plodící rostliny, jako například rajčata. V těchto podmínkách se nejčastěji pěstuje listová zelenina a bylinky. Pro pěstování využili mělké nádrže a polystyrenové desky. Do těchto desek zasadili saláty a jejich kořeny nechali volně plavat v živném roztoku. Díky snadnému pohybu desek na vodní hladině může vzniknout „výrobní linka“, kde se na jednom konci vkládají nové desky s čerstvě zasazenými saláty a na konci druhém se rostliny sklízí. Tento způsob pěstování je ale náročnější na kvalitu vody, a to zejména na obsah kyslíku ve vodě. Ke správnému příjmu živin potřebují kořeny rostlin dýchat, proto se využívají různé metody pro provzdušnění živného roztoku. Nejčastěji jsou využívány vzduchovací kameny. Jedná se o porézní kámen, do kterého je pomocí čerpadla vháněn vzduch. Na povrchu kamene se tvoří bublinky, z nichž se poté kyslík může dostávat do vody. Čím menší bublinky tím větší je jejich plocha a tím lépe se kyslík vstřebává do vody. U větších farem může být k provzdušnění použit přímo stlačený kyslík.



Obrázek 2.2: Obrázek znázorňující pěstování salátů plovoucích na polystyrenu [24]

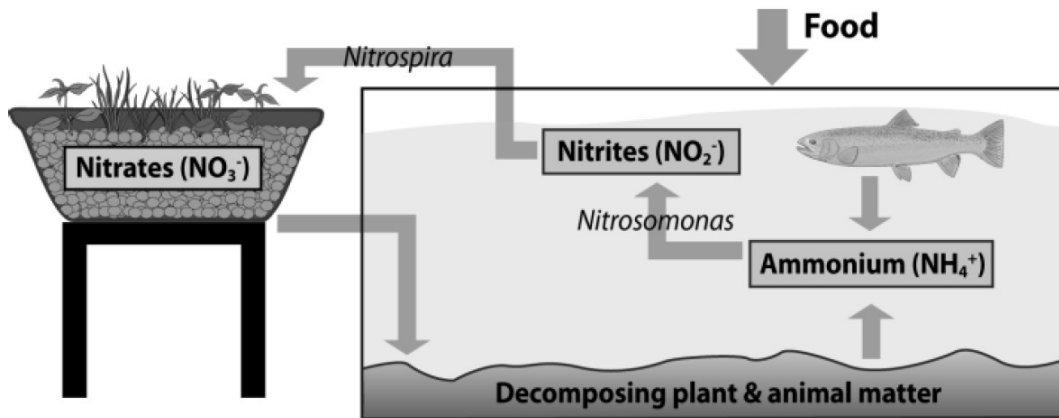
Na výzkum Dr. Rakocy navázal Kanaďan Dr. Nick Savidov. Věnoval se aquaponii zejména z pohledu rostlin a zjistil, že při nižších hodnotách pH rostliny rostou rychleji. Toto kyselé prostředí však příliš nevyhovuje rybám.

V devadesátých letech manželé Speraneo aplikovali poznatky New Alchemy Institute a postavili plnohodnotný skleníček v komerčním měřítku.

V posledních letech se aquaponie začíná čím dál více rozvíjet. Zejména díky výrazně menší náročnosti na vodu a půdu. Pokud se hovoří o aquaponii, většinou je tím myšleno pěstování rostlin ve sladkovodním roztoku. V Izraeli a Austrálii ovšem probíhá vývoj aquaponie s využitím slané vody a plánují pěstovat mořské řasy a chovat ploutvonožce nebo krevety. [3, 5, 8]

2.3 Nitrifikační proces

Nitrifikační proces je přeměna amoniaku na dusičnany. Nitrifikační cyklus se skládá ze tří částí.



Obrázek 2.3: Nitrifikační cyklus v aquaponickém systému [3]

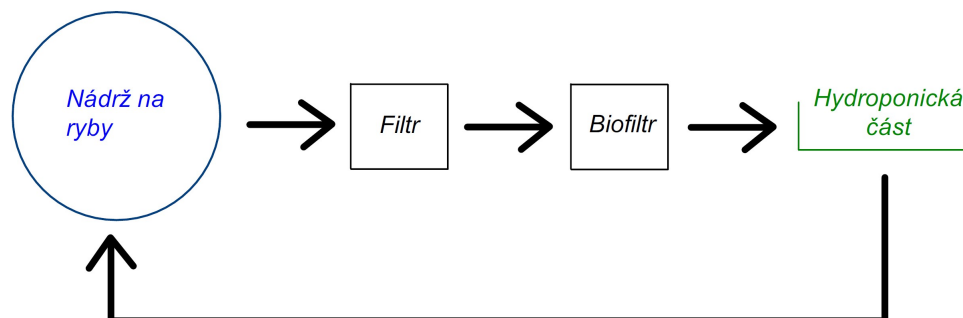
Cyklus začíná u ryb chovaných v nádržích. Jejich trus, moč ale i zbytky potravy se ve vodě rozkládají na amoniak (NH_3) nebo na jeho kladný iont amonium (NH_4^+). Ke vzniku kationtu dochází, pokud je pH vody pod hodnotou 7. Amonium není rybám toxické, zatím co amoniak je. Ke vzniku amoniaku dochází, pokud je pH nad hodnotou 7. Pokud koncentrace amoniaku přesáhne 2 ppm (parts per milion), prostředí se stává pro ryby fatální.

Ve druhé části cyklu je amoniak, popř. amonium přeměněn díky bakteriím *Nitrosomonas* na dusitany (NO_2^-). Dusitany jsou pro ryby také toxické. Pro některé druhy ryb může být smrtelná koncentrace už i 1mg/l.

V poslední části cyklu jsou dusitany pomocí bakterií *Nitrobacter* přeměněny na dusičnany (NO_3^-). Dusičnany v nízkých a středních koncentracích nejsou pro ryby toxické. Dusičnany jsou následně absorbovány rostlinami a využity k jejich růstu. [3]

2.4 Části systému

Voda v aquaponickém systému prochází několika různými částmi. Jedná se o uzavřený cyklus, kde každá část plní jinou úlohu.



Obrázek 2.4: Cyklus vody v aquaponickém systému

2.4.1 Nádrž na ryby

V nádrži na ryby jsou zpravidla chovány teplomilné druhy ryb, které nejsou příliš náročné na kvalitu vody. Jednou z nejvhodnějších ryb pro chov v aquaponickém systému je tlamoun nilský, také známý pod jménem tilapie nilská. Tento druh se přirozeně vyskytuje v Afrických jezerech. Tato ryba dokáže přežít i ve vodách o vysoké teplotě, až 42°C. Dalším vhodným druhem je sumeček africký.

2.4.2 Filtr

Ve filtru dochází k zachytávání pevných částic. Nedochozí tedy k znečištění dalších částí systému. Je tedy potřeba čistit pouze tento filtr. Ve filtru také dochází k rozkladu pevných částic na amoniak a amonium.

2.4.3 Biofiltr

V této části bakterie přeměňují amoniak na dusičnany. Pro správnou funkci biofiltru je nutné provádět provzdušňování.

2.4.4 Hydroponická část

Zde probíhá samotné pěstování rostlin. Tyto rostliny z vody absorbují dusičnany a tím ji čistí. Pro správný růst rostlin je důležité, aby měly kořeny přístup ke kyslíku. To může být zajištěno buď vzduchováním a nebo pravidelným napouštěním a vypouštěním nádrže.

U některých farem je filtr, biofiltr a hydroponická část spojena do jedné. Většinou jsou to farmy, které využívají stabilizační médium pro pěstování rostlin, jako například písek nebo kamennou drť. Médium slouží jako fyzický filtr i jako místo pro bakteriální přeměnu živin ve vodě. [1]

3 Monitorovací systém

Monitorovací systém je postaven na vývojové platformě ESP-32S od firmy Espressif. Tato platforma je velmi podobná platformám Arduino. Vývojová deska je vybavena mikroprocesorem ESP32-WROOM-32 rovněž od firmy Espressif. Vývojové desky od firmy Espressif jsou cenově velmi dostupné a podobně jako Arduino je jejich programování poměrně snadné. Tato nízká náročnost návrhu softwarového řešení je především způsobena rozsáhlou komunitou, která se okolo těchto vývojových desek vytvořila. Členové této komunity vytvářejí různé knihovny, které pak usnadňují práci, jak s funkcemi mikroprocesoru samotného, tak i s mnoha dalšími perifériemi a moduly. Uživatel pak nemusí vyčítat hodnoty přímo z registrů, ale je pro něj vytvořena funkce, která mu vrátí danou hodnotu už i ve správných jednotkách.

Úkolem monitorovacího systému v aquaponické farmě je změřit potřebné hodnoty a poté tato naměřená data odeslat webové aplikaci. Dalším úkolem je zajistit bezpečnost pro chované ryby. V případě úniku vody ze systému je potřeba vypnout čerpadla, aby bylo zajištěno, že v kádích zůstane dostatečné množství vody. Monitorovací systém může být dále využit například k regulaci teploty ve skleníku, pomocí ventilátorů.

Monitorovací systém bude měřit teplotu vody v nádržích. Dále bude určovat teplotu a vlhkost vzduchu ve skleníku. Pokud tato teplota přesáhne nastavenou rozhodovací hodnotu, systém pomocí relé spustí ventilátor. S využitím pH sond bude také monitorovací systém měřit pH vody v nádržích. V neposlední řadě bude systém měřit úroveň vodní hladiny v kádi s rybami. Pokud hladina klesne pod nastavenou úroveň, systém pomocí relé vypne čerpadlo v kádi. K monitorovacímu systému bude také připojena SD karta, ze které bude vyčítáno nastavení, popřípadě na ni budou ukládána data, když nebude mít systém přístup k internetu.

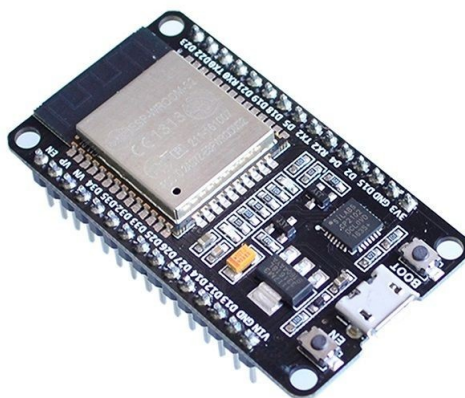
3.1 ESP-32S

Tato vývojová deska přebírá všechny vlastnosti čipu ESP32-WROOM-32. Důvodem výběru právě této vývojové platformy byla mimo jiné hlavně přítomnost již integrované 2,4GHz Wi-Fi. Tato periférie bude využita ke komunikaci s webovou aplikací, ať už se bude jednat o odesílání naměřených dat nebo získání nastavení. Samozřejmě možností výběru je nespočet. Pokud bychom chtěli například využít displej pro zobrazení dat, lze koupit i vývojové desky s již předinstalovaným OLED displejem.

Vývojová deska má 25 vstupně-výstupních (GPIO) pinů, na které jsou připojeny různé periférie. Čtyři z těchto pinů jsou určeny pouze pro vstup. Na desce je vyvedeno 15 12-bitových kanálů ADC převodníku (Analog to Digital Converter), pokud

je ale používána Wi-Fi, funguje pouze šest kanálů. Devět GPIO pinů lze využít jako dotyková tlačítka, protože jsou připojena k integrovaným kapacitním sensorům. Na vývojové desce jsou dále dva kanály 8-bitového DAC převodníku (Digital to Analog Converter). Na všechny piny, které dokáží fungovat jako výstup lze připojit generátor PWM (Pulse Width Modulation). Na desce je vyveden jeden základní kanál sběrnice I²C (Inter-Integrated Circuit). S použitím knihoven lze pro sběrnici I²C využít prakticky jakékoli dva piny. V neposlední řadě jsou na desce vyvedeny dvě UART sběrnice (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) a dvě SPI sběrnice (Serial Peripheral Interface).

Vývojovou desku lze napájet třemi způsoby. Přes mikroUSB pomocí 5 V. Přes vstupní pin VIN, na který lze připojit napětí od 4,5 V do 12 V. A přes pin označený 3V3, pokud bude deska napájena tímto pinem, musí být zdroj velmi stabilní, protože obcházíme vestavěný stabilizátor i ochrany. [16]



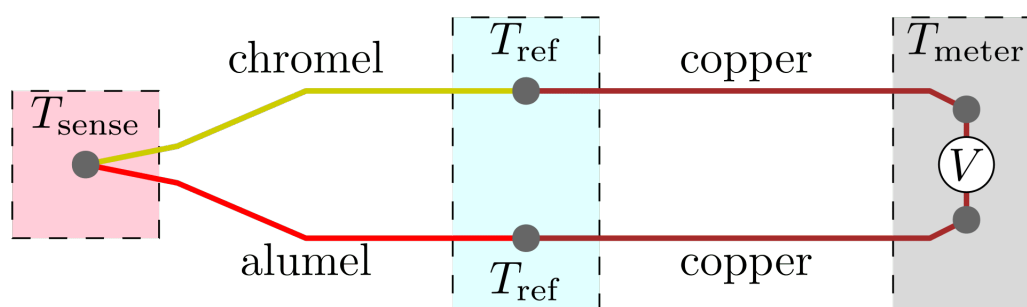
Obrázek 3.1: Fotka vývojové desky ESP-32S [30]

3.2 Měření teploty

Měřit teplotu můžeme mnoha různými způsoby. Mnoho teploměrů získává teplotu nepřímou. Měří totiž nějakou fyzickou vlastnost předmětu/látky, která se s měnící se teplotou mění. Tento způsob využívá i běžný rtuťový teploměr, kdy se s rostoucí teplotou zvětšuje objem a s tím i výška sloupce rtuti ve skleněné trubičce. Teploměry můžeme rozdělit na bezkontaktní a kontaktní. Kontaktní sensor se musí dotýkat měřeného předmětu nebo látky. Využívá se přestupu tepla mezi objektem a senzorem. Bezkontaktní teploměry využívají například vyzařování infračerveného záření k určení teploty předmětu. [19]

3.2.1 Termočlánek

Termočláanky jsou tvořeny dvěma různými vodivými kovy spojenými na jednom konci. Využívají termoelektrického jevu, kdy dochází ke vzniku napětí mezi těmito dvěma různými vodiči. Právě toto napětí je poté měřeno a z něj se určuje teplota. Tento typ teplotního snímače je v dnešní době velmi rozšířený. Je to zejména díky nízké ceně a rozsáhlému intervalu teplot, které dokáže termočlánek změřit. Interval teplot závisí na druhu termočláanky, tedy na materiálu jednotlivých vodičů a také na jejich poměru. Velmi rozšířený je termočlánek typu K (chromel-alumel). Tento typ termočláanky dokáže změřit teploty od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $1\ 350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jelikož je napětí, které vzniká díky termoelektrickému jevu, velmi malé, v řádu desítek μV na stupeň celsia, je přesnost těchto teplotních snímačů poměrně malá. Termočláanky dokáží měřit teplotu s přesností na jednotky stupně celsia. [25]



Obrázek 3.2: Obrázek znázorňující schématické zapojení termočláanky [25]

3.2.2 Termistor

Termistor je elektrická součástka, jejíž odpor se výrazně mění spolu s teplotou. Závislost změny odporu na teplotě není lineární a k převodu je zapotřebí znát Volt-Ampérovou charakteristiku termistoru. Termistory se vyrábí z oxidů různých kovů. Technologie výroby se nazývá prášková metalurgie. Oxid daného kovu je namletý na jemný prášek, k němu se přidají další příměsi. Vzniklá směs se poté za vysokého tlaku slisuje a vypeče při vysoké teplotě. Celkový odpor termistoru je poměrně velký, a proto lze zanedbat odpor přívodních vodičů. Z důvodu velkého odporu může termistorem procházet jen malý proud a je tedy zapotřebí využít citlivých měřících přístrojů. Jednou z nevýhod termistorů je změna vlastností se stářím součástky. Naopak výhodou je přesnost měření, v řádu desetin $^{\circ}\text{C}$. Termistory dělíme na dva typy. Termistory s pozitivní teplotní závislostí (PTC) a termistory s negativní teplotní závislostí (NTC). Termistorů typu PTC s rostoucí teplotou výrazně roste i odpor. U termistorům typu NTC s rostoucí teplotou odpor klesá. [26]



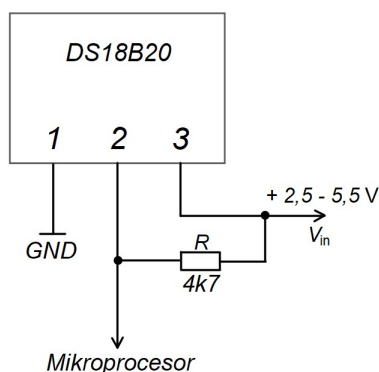
Obrázek 3.3: Obrázek znázorňující různé typy termistorů [26]

3.2.3 Dallas DS18B20

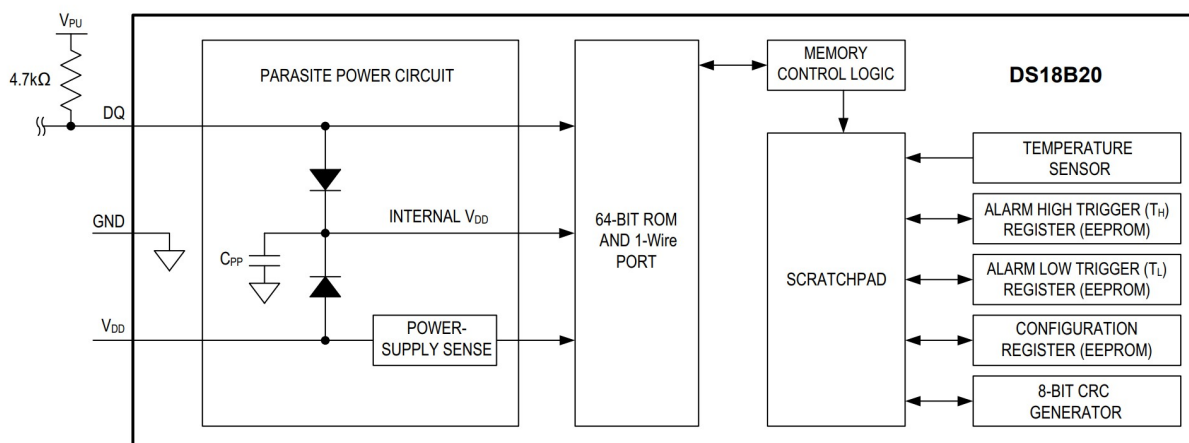
Dallas DS18B20 je digitální teplotní senzor od firmy Dallas Semiconductor (dnes Maxim). Toto teplotní čidlo využívá polovodičový termistor. Rozlišení měření je uživatelsky nastavitelné od 9 do 12 bitů. Senzor komunikuje přes sběrnici 1-Wire, která umožňuje přenos dat pouze pomocí jednoho vodiče. DS18B20 lze k mikroprocesoru připojit pouze pomocí dvou drátů, datového a zemnicího. Čidlo tedy jde napájet z datového připojení. Velkou výhodou tohoto senzoru je právě sběrnice 1-Wire, která umožňuje připojit více čidel na stejný datový vodič. Rychlost datové linky je 16 kbit/s.

Teplotní senzor dokáže měřit teplotu od $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, lze také nastavit spodní i horní hranici teplotního alarmu. Každé čidlo má svou jedinečnou 64-bitovou adresu, prostřednictvím které je možné komunikovat s více senzory na jedné datové lince. Datovou linku 1-Wire je zapotřebí připojit $4k7$ pull-up rezistorem k napájení. Díky tomu lze DS18B20 napájet přímo z této datové linky. Pokud je linka stažena na logickou 0, tak se o napájení stará integrovaný kondenzátor. Tomuto druhu napájení se říká parazitní. [9, 10]

V práci je využit právě tento senzor v nerezovém, vodotěsném pouzdře.



Obrázek 3.4: Obrázek znázorňující zapojení teplotního senzoru DS18B20



Obrázek 3.5: Blokové schéma teplotního senzoru DS18B20 [10]

Na obrázku můžeme vidět blokové schéma teplotního senzoru DS18B20. Na levé straně jsou výstupní piny. V 64-bitové ROM paměti je uložena unikátní adresa senzoru. Tato adresa slouží k identifikaci senzoru na datové lince. Paměť ze které mikroprocesor může data vyčítat, ale i ukládat se nazývá SCRATCHPAD. Do této paměti se ukládají naměřená data ze snímače teploty (TEMPERATURE SENSOR). SCRATCHPAD také umožňuje přístup ke konfiguračním registrům. V registru ALARM HIGH TRIGGER lze nastavit horní hranici teplotního alarmu. V registru ALARM LOW TRIGGER lze nastavit spodní hranici teplotního alarmu. V CONFIGURATION REGISTER lze nastavit přesnost převodu teploty na digitální hodnotu od 9 - 12 bitů. Všechny konfigurační registry jsou permanentní paměť (EEPROM), čili nastavenou hodnotu si udrží, i když je senzor bez napájení. [9, 10]

3.3 Měření vlhkosti

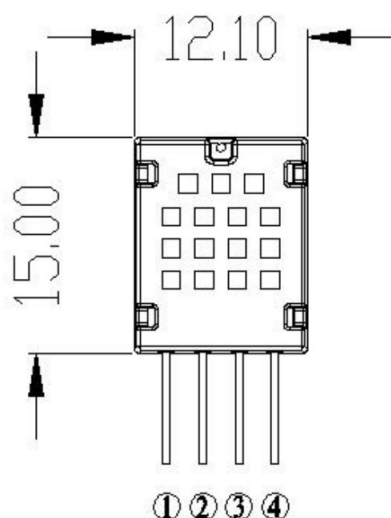
Dříve se k měření vlhkosti používal například lidský nebo zvířecí vlas pod napětím. S měnící se vlhkostí se měnila i délka daného vlasu. Tato změna délky poté byla mechanicky zesílena a vynesena na stupnici.

V dnešní době se využívají například kapacitní vlhkoměry. V těchto zařízeních se měří vliv vlhkosti na relativní permitivitu polymeru nebo oxid kovu. Kalibrované senzory tohoto typu mají přesnost v jednotkách procent relativní vlhkosti. Kapacitní vlhkoměry jsou odolné vůči kondenzaci a vysoké teplotě, ale může dojít k jejich kontaminaci nebo změně vlastností vlivem stáří.

Další způsob měření vlhkosti je založen na změně odporu materiálu se změnou vlhkosti. Tyto materiály mohou být například soli nebo vodivé polymery. Odporové vlhkoměry jsou méně citlivé, než ty kapacitní a odpor použitého materiálu často závisí i na teplotě. Proto jsou tyto typu vlhkoměrů často párovány s teploměry, aby mohlo dojít ke zpětné korekci měření vlhkosti. Přesnost těchto senzorů je $\pm 3\%$ relativní vlhkosti. [11]

3.3.1 Senzor vlhkosti AM2320

Senzor AM2320 od firmy Adafruit je digitální, kalibrovaný senzor vlhkosti a teploty vzduchu. Senzor využívá k měření vlhkosti kapacitní technologii. Čidlo dokáže komunikovat jak po lince I²C, tak i po jednom datovém kabelu. Senzor dokáže měřit relativní vlhkost od 0 % do 99,9 % s přesností ± 3 % a teplotu od -40 °C do 80 °C s přesností $\pm 0,5$ °C. AM2320 lze napájet napětím od 3,1 V do 5,5 V, při měření odbírá maximální proud 950 μ A. V případě využití komunikace po jednom datovém kabelu je zapotřebí uzemnit pin vstupu hodinového signálu (SCL).



Obrázek 3.6: Obrázek znázorňující senzor vlhkosti a teploty vzduchu AM2320 [12]

Na obrázku jsou zobrazeny rozměry senzoru AM2320 a také vývodní piny. K pinu číslo 1 se připojuje napájecí napětí od 3,1 - 5,5 V. Pin 2 je datový kanál SDA. K pinu 3 se připojuje zem. Pokud je použit ke komunikaci pouze jeden kabel, může pin číslo 4 zůstat nepřipojen. Jestliže je pro komunikaci se senzorem použita sběrnice I²C, bude k tomuto pinu připojen hodinový signál. [12]

3.4 Měření pH

Při měření pH měříme obsah kationtů vodíku v kapalině. Velmi snadnou metodou měření pH je použití pH pásků. Na tyto pásky je nanesen přírodní pigment, který změní barvu při kontaktu s kladně nabitými ionty vodíku. Tato metoda ovšem není vhodná pro automatický monitorovací systém.

K elektronickému měření pH se využívají elektrody citlivé na pH. Měří se elektrické napětí mezi dvěma elektrodami. Jedna elektroda je citlivá na pH a druhá je referenční. Elektroda citlivá na pH je většinou skleněná, zatím co referenční elektroda bývá kovová. Referenční elektroda není citlivá na pH a je ponořena v chloridu draselném, který přichází do styku s měřenou kapalinou přes keramickou membránu. Tyto dvě elektrody mohou být separátní nebo mohou být spojeny do jedné. [13]

3.4.1 Modul PH-4502C

Tento modul slouží k připojení elektrody pomocí konektoru BNC. Výstup toho modulu je analogový. Modul je napájený napětím 5 V a toto napětí se může objevit i na analogovém výstupu. Z tohoto důvodu je zapotřebí tento výstup připojit k napěťovému děliči a až poté k ADC převodníku ESP32. Hodnoty napětí na analogovém výstupu se pohybují od 0 V do 5 V v závislosti na pH od pH 0 do pH 14.



Obrázek 3.7: Fotka modulu PH-4502C [27]

V levé části modulu jsou připojovací piny. K pinu V+ se připojuje napájecí napětí 5 V. K pinu G se připojuje zem a pin Po je analogový výstup senzoru.

V pravé části modulu můžeme vidět konektor BNC k připojení pH sondy. Ve spodní části modulu se nachází dva potenciometry. Potenciometr blíže ke konektoru BNC slouží k nastavení offsetu. Pokud je totiž měřené prostředí kyselé, napětí na pH sondě je záporné. ADC převodník však nedokáže pracovat se zápornými hodnotami napětí. Proto se pomocí tohoto potenciometru nastaví analogový výstup na 2,5 V při pH 7. Levý potenciometr slouží k nastavení horní hranice pH alarmu. Spodní hranici nastavit nelze. [18]



Obrázek 3.8: Fotka pH sondy [28]

3.5 Měření vodní hladiny

K měření vodní hladiny může být využito mnoho různých senzorů. Záleží, jestli potřeba zjistit, jak vysoko hladina je nebo stačí znát pouze digitální hodnotu, čili hladina je pod nebo nad určitou úrovní.

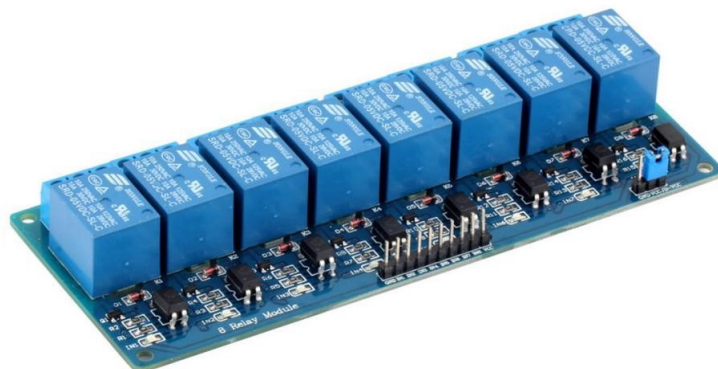
Pokud potřebujeme vědět přesnou výšku hladiny může být použit ultrazvukový senzor vzdálenosti nebo například vodotěsný senzor tlaku, který bude umístěn na dnu nádoby. Z hodnoty hydrostatického tlaku je poté zpětně určena výška sloupce vody nad senzorem.

Pokud nám stačí pouze digitální informace, můžeme použít například plovák. V monitorovacím systému byla k získání této digitální informace použita kapacitní funkčnost ESP32. Tato funkcionalita je především určena ke snadnému připojení dotykových tlačítek. Ale může být využita i jako digitální senzor vodní hladiny. Pokud se vodič nedotýká vody nebo například lidského těla, měří mikroprocesor pouze parazitní kapacitu vodiče. Z toho důvodu je důležité použít jedno žilový vodič, protože splétané vodiče mají příliš vysokou parazitní kapacitu. Ze stejného důvodu je nutné držet délku vodiče na minimu. [15]

3.6 Ovládání externích zařízení

K ovládání zařízení farmy, která pracují na jiných napětích než 3,3 V je nutné využít relé. V monitorovacím systému byl využit modul s osmi relé. Jelikož pomocí těchto relé budou ovládána zařízení napájena ze sítě. Je nutné zajistit galvanické oddělení výkonové části od části ovládací. Relé samotné již tuto funkci zajistí, ale

aby při přepínání zátěže nedocházelo k rušení monitorovacího systému, byl využit modul s nainstalovaným optočlenem. Modul je napájen napětím 5 V a každé relé je ovládáno jedním pinem. Pro sepnutí relé je potřeba tento pin připojit na zem.



Obrázek 3.9: Fotka modulu s osmi relé [29]

3.7 Modul pro SD kartu

Pro uložení a snadnou změnu základních nastavení jako například údaje k WiFi připojení, byl využit modul umožňující připojení SD karty. Na SD kartu jsou také ukládána všechna informativní, varovná a errorová hlášení. Pokud se monitorovacímu systému nepodaří připojit k WiFi, nastavení pro základní funkce lze také načíst z SD karty. Při načtení nových nastavení z webové aplikace, budou hodnoty uložené na SD kartě přepsány, aby nastavení zapsané na úložišti bylo co nejaktuálnější.



Obrázek 3.10: Fotka modulu pro připojení SD karty [31]

3.8 Webová aplikace

Webová aplikace je software, který běží ve webovém prohlížeči, a proto aplikaci není potřeba instalovat. K webovým aplikacím se přistupuje pomocí běžné webové adresy URL. Tyto aplikace fungují prakticky na všech zařízeních bez ohledu na

operační systém, jedinou podmínkou je moderní webový prohlížeč. Vývojáři tedy nemusejí pracovat na více programových řešeních specifických pro daný operační systém. K fungování těchto aplikací je zapotřebí aktivní internetové připojení, ale existují i aplikace které v určité míře fungují i offline.

Webové aplikace mohou nabízet velmi podobné funkce, jako jejich instalované protějšky. Uživatel tedy nemusí vůbec poznat, že pracuje s webovou aplikací. Příkladem takové webové aplikace může být sbírka programů pro kancelářskou práci Office od společnosti Microsoft. Velkou výhodou webových aplikací je možnost jejich aktualizace přímo na serveru, který je hostuje. Uživatel nemusí kontrolovat, zda je aplikace aktuální nebo popřípadě čekat na její aktualizaci.

Webové aplikace mohou být také velmi podobné klasickým webovým stránkám. Díky využití webových aplikací je načítání těchto stránek mnohdy rychlejší. Script těchto webových stránek umožní dynamické načítání obsahu. Uživatel tedy u rozsáhlých webových stránek nemusí čekat, než se načte celá stránka. Při interakci s webovými stránkami také nemusí docházet k přenačtení celé webové stránky, ale pouze určité části.

V mobilních zařízeních se často objevují takzvané hybridní aplikace. Jedná se o aplikace, které se normálně instalují, ale po spuštění přistupují k webové aplikaci podobně jako webový prohlížeč. Vývojářům to umožní přístup k hardwaru zařízení s tím, že můžou využít prakticky stejné programové řešení jako pro webovou aplikaci. Díky přístupu k hardwaru lze například rozšířit offline funkce aplikace.

K rozšíření webových aplikací došlo po roce 2007, kdy Steve Jobs oznámil, že webové aplikace budou základní strukturou pro veškeré aplikace na mobilních zařízeních iPhone. Pro vývoj webových aplikací se ve velké míře využívá jazyk HTML5 nebo JavaScript. [21, 22]

3.8.1 Google Apps Script

Google Apps Script je cloudová vývojová platforma pro webové aplikace. Tato vývojová platforma využívá programovací jazyk JavaScript. Vývojové prostředí je samoosobě webová aplikace, takže pro vývoj vlastní aplikace uživateli stačí pouze webový prohlížeč. Velkou výhodou vývojové platformy od společnosti Google je snadná integrace s ostatními produkty od Googlu, jako například tabulkový editor Google Sheets a mnoho dalších. [23]

3.8.2 Vlastní webová aplikace

Ke komunikaci monitorovacího systému s webovou aplikací jsou využity čtyři skripty:

1. zaznamenání naměřených dat
2. zaznamenání informativních, varovných a errorových zpráv
3. odeslání nastavení monitorovacímu systému

4. skript zaznamenávající čas, kdy byl systém naposledy online

Všechny skripty se skládají pouze z jedné funkce. Touto funkcí je `doGet()`. Ke spuštění této funkce dojde při načtení webové adresy URL odkazující se přímo na webovou aplikaci. V samotné URL adrese jsou již obsažena data a rozlišující parametry. Příklad webové adresy: `https://script.google.com/macros/s/unikátní_klíč_aplikace/exec?parametr1=hodnota1¶metr2=hodnota2`

```
2  function doGet(e) {
3      var sheet_id = 'unikátní_klíč_tabulky';
4      var sheet = SpreadsheetApp.openById(sheet_id).getSheetByName('Log');
5      var newRow = sheet.getLastRow() + 1;
6      var rowData = [];
7      rowData[0] = new Date();
8      loggedType = 0;
9      loggedMess = 0;
10     for (var param in e.parameter) {
11         var value = e.parameter[param];
12         switch (param) {
13             case 'Type':
14                 rowData[1] = value;
15                 loggedType = 1;
16                 break;
17             case 'Message':
18                 rowData[2] = value;
19                 loggedMess = 1;
20                 break;
21             default:
22                 console.error('Unsupported parameter. ');
23         }
24     }
25
26     if (loggedType == 1 && loggedMess == 1) {
27         result = 'Sucessfully loggeed.';
28     }
29     else {
30         rowData[1] = 'Error';
31         rowData[2] = 'Log_unsucessful.';
32         result = 'Log unsuccessful.';
33     }
34
35     var newRange = sheet.getRange(newRow, 1, 1, rowData.length);
36     newRange.setValues([rowData]);
37
38     return ContentService.createTextOutput(result);
39 }
```

Obrázek 3.11: Ukázka skriptu webové aplikace zaznamenávající informativní, varovné i errorové zprávy z monitorovacího systému

Na prvních dvou řádcích funkce je definována tabulka a list v dané tabulce kam budou data zaznamenávána. Tabulka je opět rozlišena unikátním klíčem. Dále je zjištěno číslo posledního vyplněného řádku. Tato hodnota je využita k určení dalšího následujícího řádku, kam budou nově přichozí data zaznamenána. Tato data jsou následně pomocí parametrů rozčleněna do pole proměnných `rowData`. K samotnému zaznamenání dat do tabulky dochází na řádku 36. Poslední řádek funkce pouze

odesílá monitorovacímu systému zprávu, zda byla data úspěšně zaznamenána či nikoli. Script pro zaznamenání naměřených dat je velmi podobný představenému skriptu.

Skript odesílající nastavení po spuštění pouze vyčte aktuální hodnoty z dané tabulky a tyto hodnoty následně odešle zpět monitorovacímu systému.

Skript pro příjem zpráv, zda je systém stále online je monitorovacím systémem pravidelně spouštěn ("volán"). Tento skript následně uloží čas příjmu této zprávy do buňky v tabulce. Uživatel tedy může jednoduše zjistit, kdy byl monitorovací systém naposledy online. Po předchozích zkušenostech bylo rozhodnuto aplikovat tento skript, protože pokud zařízení není online může to značit, že ve skleníku pouze vypadlo připojení k internetu nebo v horším případě došlo k výpadku elektrické energie.

4 Zapojení a software monitorovacího systému

K programování monitorovacího systému byla využita vývojová platforma PlatformIO. Tato platforma lze nainstalovat jako rozšíření do populárního textového editoru Visual Studio Code od společnosti Microsoft. Monitorovací systém je naprogramován v jazyce C++. Přímo ve vývojové platformě PlatformIO je vyhledávač knihoven a lze je tedy snadno implementovat. Knihovny jsou vytvářeny buď přímo firmami vyrábějící senzory k Arduinu nebo členy komunity.

4.1 Časování funkcí

Veškeré časování je řešeno pomocí TimeStamp (časových známek). V monitorovacím systému TimeStamp reprezentuje čas v sekundách, který uplynul od 00:00:00 UTC dne 1.1.1970. Z takové hodnoty lze zpětně určit datum i čas. ESP-32S podporuje i různé časové zóny. Při zapnutí zařízení začíná počítadlo od začátku, je tedy nutné TimeStamp synchronizovat. K tomu je využito internetové připojení. Po prvotní synchronizaci je již TimeStamp udržován pomocí interních hodin. Po uplynutí určité doby však může dojít k desynchronizaci času, je tedy vhodné čas periodicky synchronizovat. K implementaci TimeStamp byla využita knihovna *ESPDateTime*.

Funkcí `DateTime.setTimeZone("časová zóna")` lze nastavit časovou zónu. Funkcí `DateTime.begin()` se spouští samotné počítadlo. Při volání této funkce také proběhne synchronizace času přes internet. Pokud se synchronizace nepovede, počítadlo začíná od nuly tedy od 1.1.1970 00:00:00 UTC. Funkce `DateTime.now()` vrací čas jako číslo v sekundách. Tato hodnota je tedy ideální k dalšímu využití při časování funkcí a měření. Funkce `DateTime.toString()` vrací čas naformátovaný podle ISO 8601 pro snadné čtení uživatelem.

4.2 Zapojení jednotlivých senzorů

4.2.1 Teplotní čidla Dallas DS18B20

K připojení každého teplotního čidla jsou potřeba tři drátky. Drát pro napájení je připojen k pinu 3V3 na ESP-32S. Z důvodu stability měření není využito parazitní napájení. Uzemňovací drát je připojen k pinu GND. Datový drát je připojen k pinu GPIO 22. Mezi napájecí pin a datový pin je zapojen 4k7 pull-up rezistor. V monitorovacím systému jsou využity čtyři teplotní čidla DS18B20. Všechna jsou připojena ke stejnému datovému pinu.

K obsluze těchto teplotních senzorů byly využity dvě knihovny *OneWire* a *DallasTemperature*. Nejprve je třeba vytvořit objekt *Bus* podle třídy *OneWire* (`OneWire`

Bus(22)), pro komunikaci na daném GPIO pinu zařízení. Dále je vytvořen objekt *sensors* podle třídy *DallasTemperature* (`DallasTemperature sensors(&Bus)`). Ke čtení teplot je nejprve potřeba provést konverzi. Příkaz všem připojeným sensorům provést konverzi teplot je `sensors.requestTemperatures()`. Samotnou teplotu ve stupních celsia lze vyčíst funkcí `sensors.getTempCByIndex("číslo senzoru")`.

4.2.2 Senzor vlhkosti AM2320

K připojení senzoru pro měření teploty a vlhkosti vzduchu jsou potřeba tři drátky. Drát pro napájení je připojen k pinu 3V3 na ESP-32S. Uzemňovací pin je připojen k pinu GND na ESP-32S. Datový pin je připojen k pinu GPIO 21.

K obsluze byla využita knihovna *DHT sensor library*. Opět je nejprve potřeba vytvořit objekt *dht* podle třídy *DHT* (`DHT dht(21, DHT22)`). DHT22 je sice jiný senzor pro měření teploty a vlhkosti vzduchu, ale senzor AM2320 je mu ekvivalentní. Ke čtení teploty vzduchu je použita funkce `dht.readTemperature()` a ke čtení vlhkosti vzduchu je použita funkce `dht.readHumidity()`.

4.2.3 Senzor pH

Pro připojení senzoru pH byly využity opět tři drátky. Napájecí pin je připojen k pinu VIN na ESP-32S. Zemnicí pin je připojen k pinu GND. Analogový výstup je přes napěťový dělič připojen k pinu GPIO 36. Napěťový dělič je tvořen dvěma odpory 10K a 6K8. Napětí je ESP-32S měřeno na odporu 10K. Ke stabilizaci toho napětí byl ještě využit 100 nF kondenzátor. V monitorovacím systému jsou dva tyto senzory pH. Analogový výstup druhého senzoru je opět přes napěťový dělič připojen k pinu GPIO 39.

Ke čtení napětí je využita funkce `analogRead("číslo GPIO pinu")`.

4.2.4 Senzor vodní hladiny

Každý senzor vodní hladiny je připojen pouze jedním drátkem. Tento drátek je vlastně senzor samotný. Kapacita senzoru se mění podle toho, jestli je jeho druhý konec ponořen do vody. První senzor je připojen k pinu GPIO 32 a druhý je připojen k pinu GPIO 33. Jejich kapacita je poté určována funkcí `touchRead("číslo GPIO pinu")`.

4.2.5 Relé modul

Relé modul je připojen pomocí deseti drátů. Napájecí drát vede z pinu VCC na modulu na pin VIN na ESP-32S. Zemnicí drát propojuje pin GND na modulu s pinem GND na ESP. Zbýlých osm drátků je připojeno mezi piny IN na relé modulu a GPIO piny. Jednotlivá relé jsou připojena k pinům GPIO 13, 14, 15, 16, 17, 25, 26, 27.

K sepnutí relé je nutné ovládací pin přivést na zem. K tomu je využita funkce `digitalWrite("číslo GPIO pinu",LOW)`. K opětovnému vypnutí relé je využita funkce `digitalWrite("číslo GPIO pinu",HIGH)`.

4.2.6 Modul pro připojení SD karty.

Modul pro připojení SD karty je připojen pomocí šesti drátků. Napájecí drát propojuje pin na modulu na označený +3.3 s pinem 3V3 na ESP-32S. Zemnicí drát opět propojuje pin GND na modulu s pinem GND na ESP. Komunikace probíhá po SPI sběrnici. Jsou tedy potřeba čtyři drátky. Pin označený CS je připojen k GPIO 5. Pin MOSI je připojen k GPIO 23. Pin MISO je připojen k GPIO 19. Pin SCK je připojen k GPIO 18.

Ke komunikaci s SD kartou byly využity dvě knihovny *SPI.h* a *SD.h*. Nejprve je zapotřebí inicializovat SD kartu, k tomu slouží funkce `SD.begin(5)`. K otevření textového souboru na SD kartě slouží funkce `SD.open("Název souboru.txt")`. K vytvoření souboru slouží funkce `SD.open("Název souboru.txt", FILE_WRITE)`. Pokud soubor již existuje bude přepsán. A k přidání dat k již existujícímu souboru slouží funkce `SD.open("Název souboru.txt", FILE_APPEND)`.

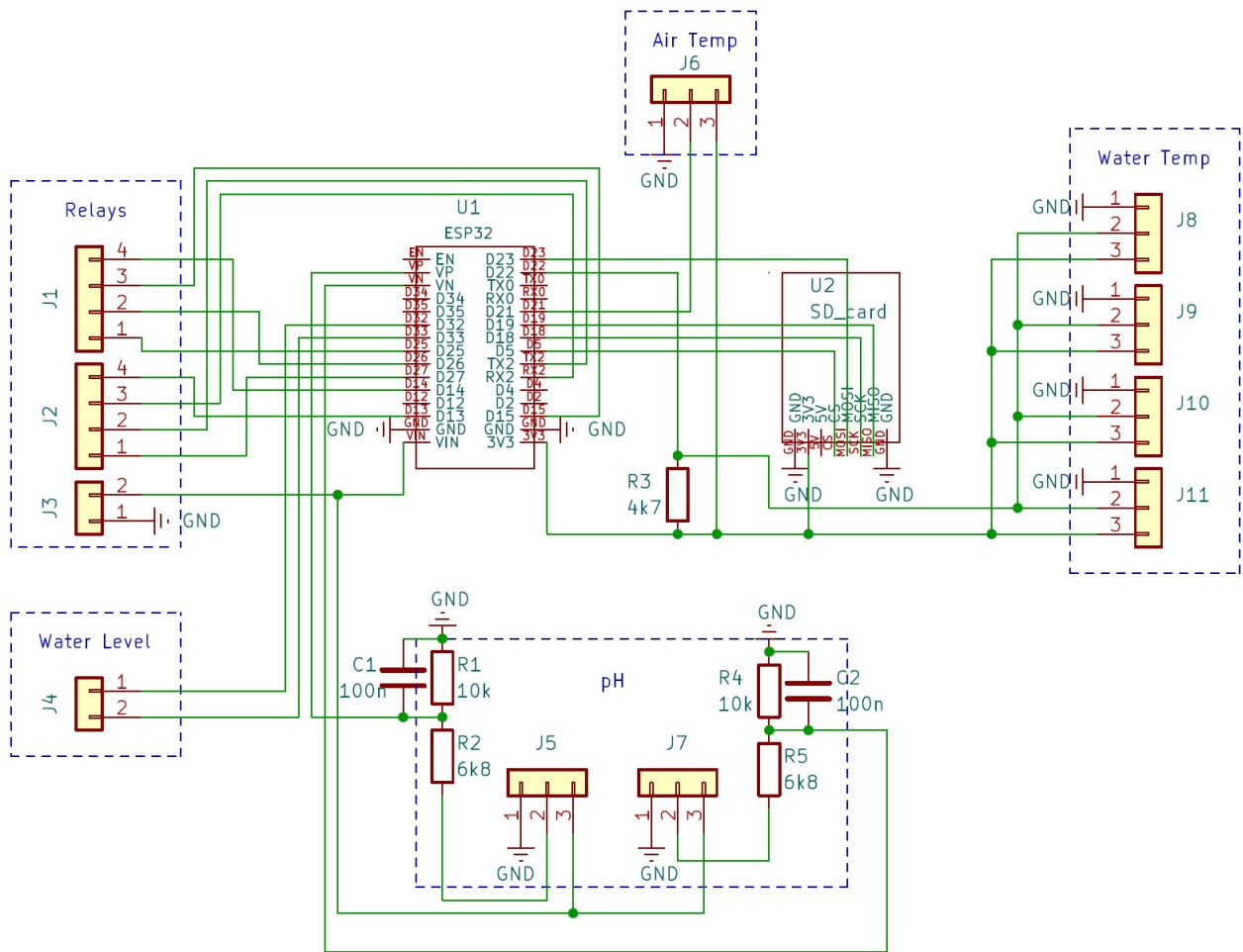
4.3 Komunikace s webovou aplikací

Ke komunikaci je využito připojení k internetu pomocí WiFi. K využití WiFi funkcí ESP-32S byla použita knihovna *WiFi.h*. K připojení k WiFi slouží funkce `WiFi.begin(SSID, PASS)`.

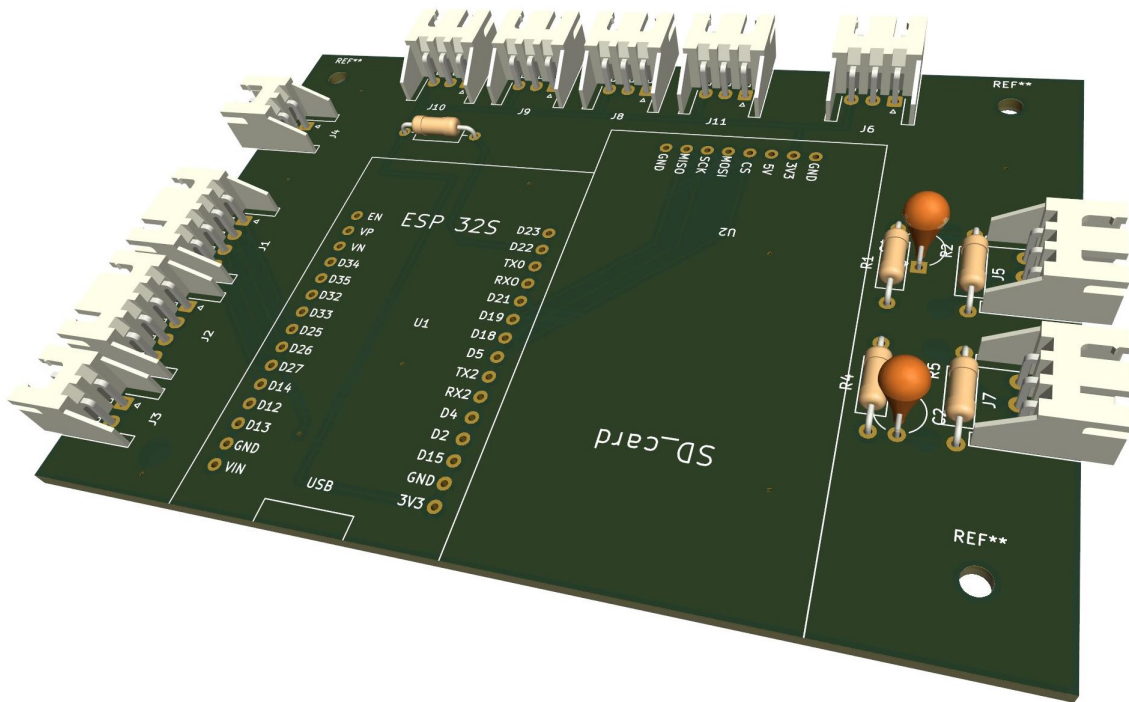
Přímo k volání samotné webové aplikace, tedy volání dané webové adresy URL, byla využita knihovna *HTTPClient.h*. Nejprve je potřeba vytvořit objekt *http* podle třídy *HTTPClient* (`HTTPClient http`). Dále pomocí `http.setFollowRedirects(HTTPC_STRICT_FOLLOW_REDIRECTS)` je ESP32 nastaveno, aby následovalo případná přeměrování. Díky tomu bude moct monitorovací systém dostat odpověď od webové aplikace. K zavolání URL adresy je využita funkce `http.begin(URL)` a k vyčtení případné odpovědi slouží funkce `http.getString()`.

4.4 Návrh DPS

K návrhu desky plošných spojů byl použit program KiCad. Sensory nejsou na desku pájeny přímo, ale k jejich připojení jsou využity konektory JST-XH. Řídící deska ESP-32S také není na desku napájena, je připojena pomocí dvou patnácti pinových dutinkových lišt. To stejné platí o modulu pro připojení SD karty, ten je připojen pomocí osmi pinové dutinkové lišty. Modul s relé pro ovládání externích zařízení je z důvodu bezpečnosti oddělen od nevýkonové části. Modul je umístěn ve zcela jiné rozvodné krabici. Kabely vedou přímo z pinů na modulu do JST-XH konektorů na desce plošných spojů. V jiných krabičkách jsou i moduly PH-4502C, je to z důvodu krátkých kabelů na měřících sondách. Spojující kabely opět vedou přímo z pinů na modulu do konektorů na desce. Na desku jsou mimo konektorů přímo připájeny ještě potřebné odpory a kondenzátory. Jsou využity komponenty THT(Through-Hole Technology).



Obrázek 4.1: Zapojení DPS



Obrázek 4.2: 3D obrázek DPS z programu KiCad

5 Konstrukce farmy

5.1 Předchozí iterace farmy

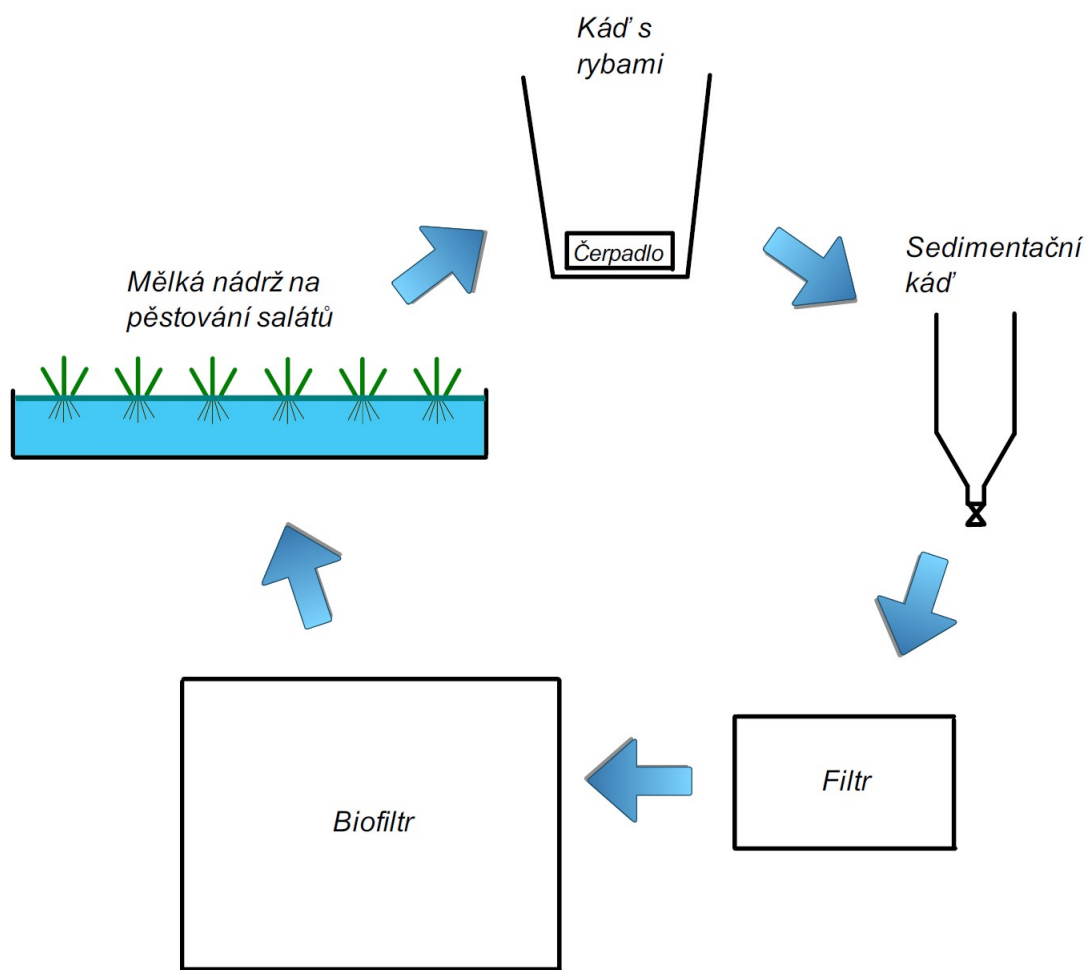
Než byla postavena současná produkční farma, byly otestovány různé způsoby pěstování rostlin v aquaponickém systému na dvou menších testovacích systémech.

V první testovací farmě byla použita technologie pěstování rostlin podle New Alchemy Institute. V rámci předcházení případné erozi bylo rozhodnuto, že nebude použit písek. Dalším vhodným pěstovacím médiem je například kamenná drť. Nakonec byl z důvodu nízké hmotnosti a snadné manipulace zvolen keramzit (umělé kamenivo). Už při prvním sázení bylo zjištěno, že sázení je velmi časově i fyzicky náročné. Dalším problémem bylo samotné napouštění a vypouštění truhlíku. Tento způsob pěstování je vhodný pro farmy s velkým obsahem vody nebo více truhlíky, kde může být voda postupně přečerpávána mezi nimi.

V druhé testovací farmě byly saláty pěstovány na plovoucích polystyrenových deskách. Keramzit byl využit v biofiltru. Sázení i sklizení bylo tedy jednodušší. Salát je možno sklídit tak, že je prostě vytažen z polystyrenové desky. Je tedy klizen i s kořeny. Takto sklizený salát má podstatně delší trvanlivost než salát zbavený kořenů. V lednici vydrží čerstvý i týden. V keramzitu v biofiltru bylo otestováno pěstování rajčat a jahod. Rostlinám se v těchto podmínkách dařilo, ale na konci plodného období rajčat bylo velmi náročné dostat celý kořenový systém ven z biofiltru. Dále bylo zjištěno, že není vhodné používat běžný kuličkový polystyren. Kořeny totiž mohou prorůst mezi jeho kuličkami. Použití pouze biofiltru s keramzitem pro veškerou filtraci také není vhodné kvůli obtížnosti čištění.

5.2 Současná iterace farmy

Po zkušenostech z předchozích farem byl navržen nový systém se zaměřením na snadnou obsluhu a s vylepšeným způsobem filtrování vody. K filtraci je nyní použit tří stupňový systém. Prvním stupněm je sedimentační kád, kde dochází k usazování pevných částic. Díky ventilu ve spodní části je možné usazené zbytky jednoduše vypustit. Dalším stupněm je malá nádoba s filtračním molitanem. V tomto filtru dochází k zachycení pevných částic, které se neusadili v sedimentační kádi. Aby bylo možné tento filtr snadno čistit je oddělen od hlavního biofiltru. Posledním stupněm filtrace je biofiltr, do kterého vtéká už prakticky čistá voda.



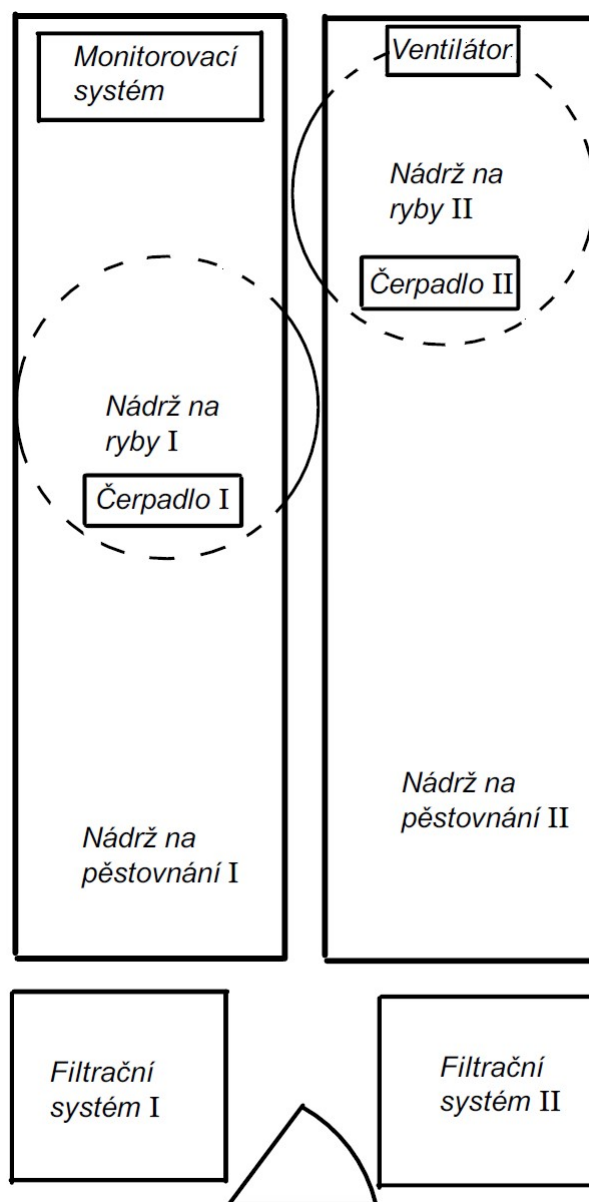
Obrázek 5.1: Uzavřený cyklus vody v aquaponické farmě

K pohybu vody v systému je využito pouze jedno čerpadlo. To čerpá vodu z kádě s rybami do sedimentační nádoby. K dalšímu pohybu vody je využita gravitace a mnoho přepadů.

K pěstování salátů jsou použity desky extrudovaného polystyrenu, aby nedocházelo k prorůstání kořeny. Další výhodou těchto desek je jejich pevnost. Je možné vzít celou desku s již vzrostlými saláty a vynést ji ven ze skleníku. Sklizení a sázení nových sazenic tedy nemusí probíhat přímo ve skleníku.

5.2.1 Skleník

Jako základ farmy byl použit skleník o rozměrech 12 m na 3 m. Farma se skládá ze dvou identických aquaponických systémů. Aby byl prostor využit na maximum, jsou kádě s rybami zapuštěny do země. Každý systém se skládá z nádrže na ryby o objemu 1 000 l, sedimentační kádě 80 l, filtru 50 l, 500 l biofiltru a mělké nádrže k pěstování. Rozměry nádrží k pěstování jsou 11 m na 1,2 m o hloubce 15 cm. Z důvodu nízké hloubky vody v nádrži a velké délky, je nutné zajistit, aby byla nádrž co nejvíce vodorovně. Jeden metr délky skleníku zabírá filtrační systém.



Obrázek 5.2: Schéma rozložení aquaponické farmy

Čtyři použité vodotěsné teplotní senzory jsou rozmístěny do *Nádrže na ryby I*, *Nádrže na ryby II*, *Nádrže na pěstování I* a *Nádrže na pěstování II*. Kvůli cirkulaci vody jsou teploty v *Nádrži na ryby* a *Nádrži na pěstování* prakticky stejné. Lze tedy využít pouze dva teplotní senzory nebo zbylé dva přemístit na jiné místo měření ve skleníku. Senzory hladiny snímají hladinu v *Nádržích na ryby*. Senzor AM2320 snímá teplotu a vlhkost vzduchu ve skleníku. Čidlo je umístěno v blízkosti monitorovacího systému. PH sondy jsou ponořeny do obou *Nádrží na pěstování*, kde snímají pH. Modul s relé se nachází na stejném místě jako monitorovací systém, jen v jiném boxu. Tento modul spíná *Čerpadlo I*, *Čerpadlo II* a *Ventilátor*. K další ventilaci skleníku slouží okna vybavena neřízenými, automatickými teplotními vzpěrami.



Obrázek 5.3: Fotka aquaponické farmy směrem k nádržím na ryby

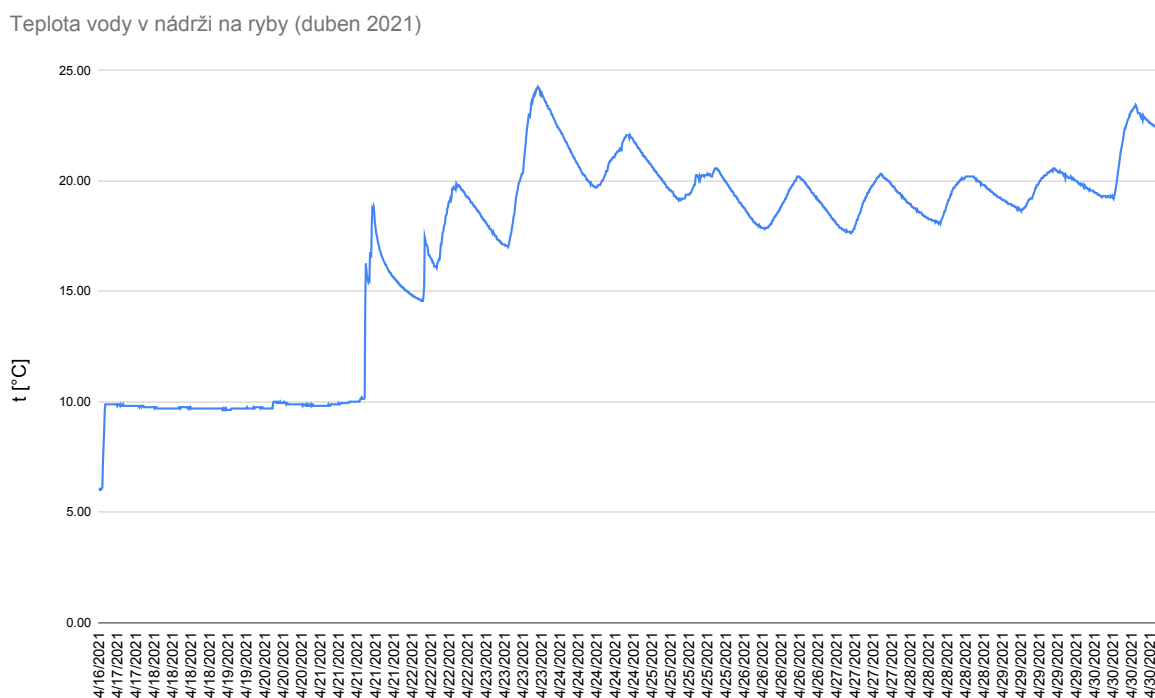
Pod deskami v zadní části farmy jsou schovány nádrže na ryby. Vlevo na zadní stěně skleníku je umístěn monitorovací systém.



Obrázek 5.4: Fotka filtračního systému aquaponické farmy

6 Výsledky

Funkčnost monitorovacího systému byla testována celé produkční období v roce 2021. V této době byla vylepšována hlavně stabilita systému.

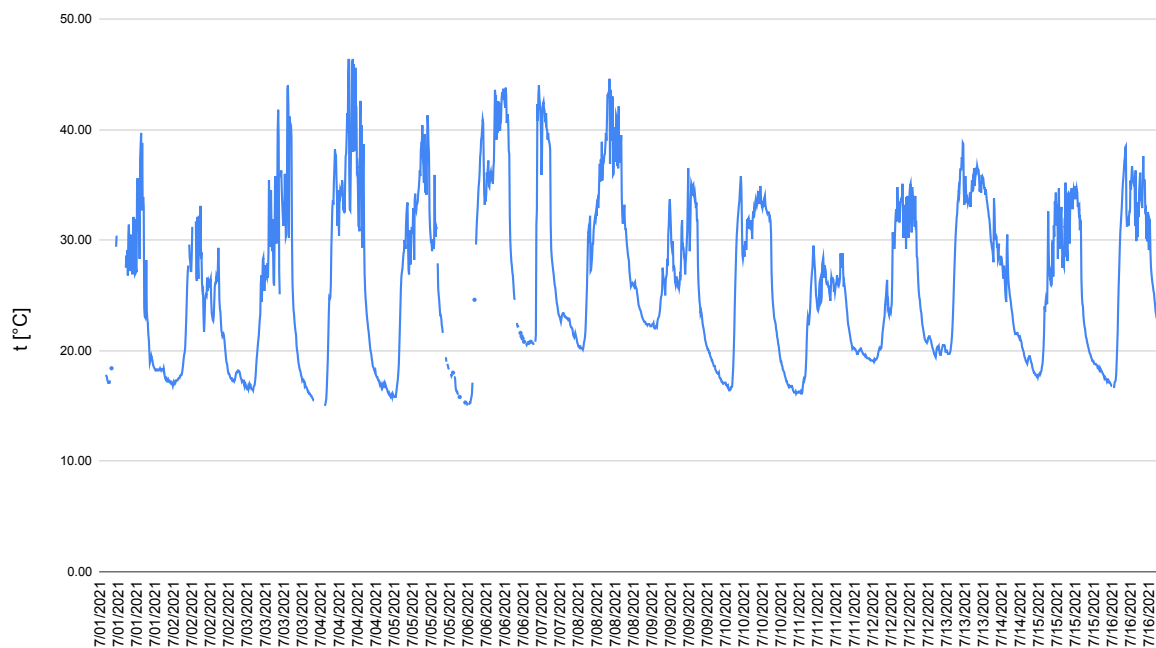


Obrázek 6.1: Graf teploty vody v nádrži na ryby (duben 2021)

Graf znázorňuje průběh vývoje teploty vody v nádrži na ryby od poloviny do konce dubna. Dne 16. dubna byla do nádrží napuštěna studená voda ze studny. Ta se v průběhu jednoho dne ohřála na teplotu přibližně 10°C. Oběhové čerpadlo bylo následně zapnuto 21. dubna.

Znalost teploty vody v nádrži na ryby je velmi důležitá zejména na jaře, v době nasazování ryb do nádrží. Násada je totiž velmi choulostivá na teplotu a již při 18°C může dojít k úmrtí ryb.

Teplota vzduchu ve skleníku (červenec 2021)



Obrázek 6.2: Graf teploty vzduchu ve skleníku (červenec 2021)

V letních měsících, i přes otevřená okna i dveře, teplota vzduchu ve skleníku přesahovala 45 °C. Proto bylo rozhodnuto přidat pro příští sezónu do monitorovacího systému řízený ventilátor.

7 Závěr

Cílem práce byl návrh a realizace online monitorovacího systému pro aquaponickou farmu tak, aby byl systém schopen měřit klimatické podmínky ve farmě a pomocí ventilátoru je také řídit. Všechna naměřená data jsou dostupná online. Systém také slouží jako bezpečnostní prvek při úniku vody ze systému.

První část práce je věnována rešerši. Byla zde popsána aquaponie, její historie, procesy, které probíhají v aquaponické farmě a části, ze kterých se aquaponická farma skládá. Na základě těchto znalostí bylo rozhodnuto, jaké veličiny je zapotřebí měřit a sledovat.

Ve druhé kapitole jsou popsány metody měření jednotlivých veličin. Dále jsou zde popsány komponenty, ze kterých byl monitorovací systém postaven. Při výběru komponent byl kladen důraz na digitální komunikaci. Monitorovací systém je postaven na platformě ESP-32S. K měření teploty vody v nádržích byl zvolen senzor DS18B20 ve vodotěsném nerezovém pouzdře. Pro měření vlhkosti a teploty vzduchu byl vybrán senzor AM2320. Hodnota pH ve vodě je měřena pomocí modulu PH-4502C a pH sondy. K určení úrovně hladiny byla využita kapacitní funkce platformy ESP-32S. V této části je také popsána webová aplikace, která je využívána ke komunikaci s monitorovacím systémem.

Ve třetí kapitole je popsáno zapojení monitorovacího systému a jeho naprogramování. Na základě konečného zapojení byla navržena a následně vyrobena deska plošných spojů.

Ve čtvrté části je popsána samotná konstrukce aquaponické farmy. V úvodu této části jsou probrány předchozí verze farmy a jejich problémy. Díky předchozím zkušenostem funguje současná verze farmy již poměrně bezproblémově. Farma je postavena ve skleníku o rozměrech 12 m na 3 m. Pro úsporu místa jsou nádrže s rybami zapuštěny do země. Filtrace vody je zajištěna třístupňovým filtračním systémem. Ve farmě jsou pěstovány různé druhy listových salátů a chování sumečci afričtí.

Poslední část práce je zaměřena na testování. Monitorovací systém byl testován celé produkční období v roce 2021. V této části jsou také prezentována naměřená data.

Jako další vylepšení farmy, které nebylo součástí této bakalářské práce, by mohl být navržen automatický zastiňovací systém. Monitorovací systém by dále mohl být rozšířen o senzory pro měření koncentrace dusitanů a dusičnanů ve vodě.

Literatura

- [1] DUARTE, Abel José, Cristina Castro RIBEIRO, Manuel F. SILVA, Paulo FERREIRA, Pedro GUEDES a Benedita MALHEIRO. Developing an Aquaponics System to Learn sustainability and Social Compromise Skills. *Journal of Technology and Science Education*. 2015, 5(4), 235 – 253. Dostupné z: doi:10.3926/jotse.205
- [2] BLIDARIU, Flavius a Adrian GROZEA. Increasing the Economical Efficiency and Sustainability of Indoor Fish Farming by Means of Aquaponics-Review. *Animal Science and Biotechnologies*. 2011, 44(2)
- [3] SHAFABI, Maryam a Daniel WOOLSTON. Aquaponics: A Sustainable Food Production System. Conference: *ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. 2014, 3. Dostupné z: doi:10.1115/IMECE2014-39441
- [4] PALM, Harry W, Ulrich KNAUS, Samuel APPELBAUM, Sebastian Marcus STRAUCH a Benz KOTZEN. Coupled Aquaponics Systems. *Aquaponics Food Production Systems*. 2019, 163-199.
- [5] RHARRHOUR, Haytam, Wariaghli FATIMA, Simon GODDEK, Mohamed SADIK, Aziz El MOUJTAHID, Hassan NHHALA a Ahmed YAHYAOUI. Towards sustainable food productions in Morocco: Aquaponics. *E3S Web of Conferences*. 2022, 337:03004. Dostupné z: doi:10.1051/e3sconf/202233703004
- [6] SHARMA, Bhanu Kumar a Vikas Kumar UJJANIA. Aquaponics. *Agro India*. 2021, 25(2), 26-28.
- [7] DIVER, Steve a Lee RINEHART. Aquaponics—Integration of Hydroponics with Aquaculture [online]. 2006 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: www.attra.ncat.org/attra-pub/aquaponic.html
- [8] Aquaponics. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Aquaponics>
- [9] DOSTÁLEK, M. *Měření teploty pomocí polovodičových čidel*. [Bakalářská práce.] Brno: VUT, FEKT, 2008. 50 s.
- [10] Datasheet DS18B20. *Maxim Integrated* [online]. 2019 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [11] Hygrometer. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Hygrometer>

- [12] Datasheet AM2320. *Adafruit* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/3721/AM2320.pdf>
- [13] What is the pH of water and how is pH measured? What does pH measure?. *Ysi* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.ysi.com/parameters/ph>
- [14] DVOŘÁK, J. *Regulátor pH pro akvárium*. [Bakalářská práce.] Brno: VUT, FEKT, 2013. 44 s.
- [15] Mechanical buttons to capacitive sensing—A step-by-step guide—Part I. *EDN* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.edn.com/mechanical-buttons-to-capacitive-sensing-a-step-by-step-guide-part-i/>
- [16] Vývojová deska ESP32. *Dratek* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://navody.dratek.cz/navody-k-produktum/vyvojova-deska-esp32.html>
- [17] Arduino pH-meter using PH-4502C. *CimpleO* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://cimpleo.com/blog/simple-arduino-ph-meter/>
- [18] Modul a sonda pro měření pH. *Drátek* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://navody.dratek.cz/navody-k-produktum/modul-a-sonda-pro-mereni-ph.html>
- [19] Temperature Measurement. *Missouroy S&T* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://web.mst.edu/cottrell/ME240/Resources/Temperature/Temperature.pdf>
- [20] ŠPRINGER, R. *Domácí meteostanice využívající Raspberry Pi*: [Bakalářská práce.] Brno: VUT, FEKT, 2014. 52 s.
- [21] MARCOTTE, Ethan. Responsive Web Design. *A List Apart* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <http://alistapart.com/article/responsive-web-design/>
- [22] RUSSELL, Alex. Progressive Web Apps: Escaping Tabs Without Losing Our Soul. *Infrequently Noted* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://infrequently.org/2015/06/progressive-apps-escaping-tabs-without-losing-our-soul/>
- [23] Google Apps Script. *Google* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://developers.google.com/apps-script>
- [24] Deep water culture. *Wikipedia* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_water_culture#/media/File:Deep_water_culture.jpg
- [25] Thermocouple physics – How it works. *Passive-components* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://passive-components.eu/thermocouple-physics-how-it-works/>
- [26] What is a Thermistor? Types of Thermistors and Applications. *Electricaltechnology* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.electricaltechnology.org/2021/11/thermistor.html>

- [27] DIY MORE PH-4502C modul pro měření pH. *Laskakit* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/diy-more-ph-4502c-modul-pro-mereni-ph/>
- [28] Sonda pro měření PH. *Drátek* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1234-sonda-pro-mereni-ph.html>
- [29] 8-kanálů relé modul s optickým oddělením. *Drátek* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/879-arduino-rele-modul-8-kanalu-s-optickym-oddelenim.html>
- [30] ESP32 Development Board 2.4GHz Dual-Mode WiFi+Bluetooth Antenna Module. *Drátek* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1581-esp-32s-esp32-esp8266-development-board-2.4ghz-dual-mode-wifi-bluetooth-antenna-module.html>
- [31] Čtečka SD karet. *Drátek* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/991-ctecka-sd-karet.html>

Seznam příloh

- ESP_source: *Složka obsahující zdrojový kód pro ESP32*
- WebApp_source: *Složka obsahující zdrojový kód pro webovou aplikaci*
- DPS: *Složka obsahující soubory DPS (KiCAD)*