

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií



Bakalářská práce

Řízení vnitřního prostředí v rámci chytrého zemědělství

Miroslav Folprecht

© 2024 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Miroslav Folprecht

Informatika

Název práce

Řízení vnitřního prostředí v rámci chytrého zemědělství

Název anglicky

Management of the internal environment within smart agriculture

Cíle práce

Hlavním cílem bakalářské práce je být vytvoření chytrého skleníku/zahrady.

Dílními cíli jsou

- zpracovat analýzu současného stavu poznání,
- provádět monitoring a úpravu nastavení on-line ze vzdáleného přístupu,
- navrhnout UI aplikace pro vzdálenou správu.

Metodika

Práce je založena na studiu vědecké a odborné literatury. Nad teoretickou částí bude provedena analýza současného stavu poznání. V praktické části pak na základě získaných poznatků bude zpracován návrh prototypu a aplikace k zajištění autonomního provozu. Na základě teoretické a praktické části bude syntetizován závěr práce.

Doporučený rozsah práce

40-50 stran

Klíčová slova

Chytrá zahrada, zemědělství, skleníky, IoT, raspberry pi, skleníky, mikrokontrolery, mikropočítač

Doporučené zdroje informací

Cloud IoT Systems for Smart Agricultural Engineering. Taylor & Francis, 14.2. 2022n. I. ISBN 1032028270.

HALFACREE, Gareth a Eben UPTON. Raspberry Pi – Uživatelská příručka. SPRESS, 2016. ISBN 978-80-251-4819-8.

HODDI, Peter a Lizzie PRADER. IoT Development for ESP32 and ESP8266 with JavaScript. APress, 2020. ISBN 9781484250693.

IoT based Projects: Realization with Raspberry Pi, NodeMCU and Arduino (English Edition) Autor: Lovi Raj Gupta Navjot Rathour, ISBN: 9389328527

POKLUKA, Robert a František KAZDA. Skleníky, fóliovníky, využití a pěstební technologie. Profi Press, 2011. ISBN 978-80-8672-646-5.

SELECKÝ, Matúš. Arduino: uživatelská příručka. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-802-5148-402.

UPTON, Eben. The Official Raspberry Pi Beginner's Guide. Raspberry Pi Press, 2020. ISBN 9781912047734.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Alexandr Vasilenko, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 14. 7. 2022

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 10. 2022

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 15. 03. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Řízení vnitřního prostředí v rámci chytrého zemědělství" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.3.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Alexandru Vasilenkovi Ph.D za odborný dohled nad prací a cenné rady.

Řízení vnitřního prostředí v rámci chytrého zemědělství

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zaměří na vytvoření chytrého skleníku/zahrady s cílem efektivně řídit vnitřní prostředí v rámci chytrého zemědělství. Hlavním cílem je provést analýzu současného stavu poznání, implementovat monitoring a úpravy nastavení on-line s vzdáleným přístupem a navrhnout uživatelské rozhraní aplikace pro vzdálenou správu. Práce se opírá o studium vědecké a odborné literatury, a v teoretické části analyzuje současný stav poznání, zatímco v praktické části vytvoří UI prototyp aplikaci pro autonomní provoz a vzdálené řízení skleníku za pomoci ESP32, Firebase a MIT APP Inventor. Tato bakalářská práce bude syntetizovat teorii a praxi, přispívajíc k rozvoji chytrého zemědělství.

Klíčová slova: Chytrá zahrada, zemědělství, skleník, IoT, raspberry pi, skleník, mikrokontrolery, mikropočítač

Management of the internal environment within smart agriculture

Abstract

This bachelor thesis will focus on the creation of a smart greenhouse/garden in order to efficiently manage the indoor environment within a smart agriculture framework. The main objective is to analyse the current state of knowledge, implement monitoring and adjustments of the setup online with remote access, and design the user interface of the remote management application. The thesis is based on the study of scientific and technical literature, and in the theoretical part it analyses the current state of knowledge, while in the practical part it creates an AI prototype application for autonomous operation and remote management of a greenhouse using ESP32, Firebase and MIT APP Inventor. This bachelor thesis will synthesize theory and practice, contributing to the development of smart agriculture.

Keywords: smart garden, agriculture, greenhouse, IoT, raspberry pi, greenhouse, microcontrollers, microcomputer

Obsah

| | |
|---|-----------|
| 1 Úvod | 10 |
| 2 Cíl práce a metodika | 11 |
| 2.1 Cíl práce | 11 |
| 2.2 Metodika | 11 |
| 3 Teoretická východiska | 12 |
| 3.1 Úvod do chytrého zemědělství | 12 |
| 3.1.1 Historie a vývoj chytrého zemědělství | 13 |
| 3.2 Technologie použité ke komunikaci v IoT | 14 |
| 3.2.1 Wi-Fi | 16 |
| 3.2.2 Bluetooth a Bluetooth Low Energy (BLE) | 17 |
| 3.2.3 ZigBee | 17 |
| 3.2.4 IQRF | 17 |
| 3.2.5 MQTT | 17 |
| 3.3 Metody sběru dat v zemědělství | 18 |
| 3.3.1 Sběr dat v rostlinné výrobě | 18 |
| 3.3.1.1 Senzor vlhkosti půdy | 19 |
| 3.3.1.2 Sensory teploty a vlhkosti vzduchu | 19 |
| 3.3.1.3 NDVI senzory (Normalized Difference Vegetation Index) | 20 |
| 3.3.1.4 Sensory pH půdy | 21 |
| 3.3.2 Sběr dat v živočišné výrobě | 21 |
| 3.3.2.1 Sensory teploty a vlhkosti ve stájích | 21 |
| 3.3.2.2 Sensory zdraví a pohybu | 22 |
| 3.3.2.3 Sensory pro monitorování zdraví vemene | 23 |
| 3.3.2.4 Sensory kvality vzduchu | 23 |
| 3.4 Využívání DJI dronů v precizním zemědělství | 24 |
| 3.4.1 DJI Mavic 3 Enterprise | 26 |
| 3.4.1.1 Využití technologie NDVI | 28 |
| 3.4.2 DJI Agras T30 | 29 |
| 3.5 Existující řešení | 31 |
| 3.5.1 CleverFarm | 31 |
| 3.5.2 Agdata | 32 |
| 4 Vlastní Práce | 33 |
| 4.1 Výběr řídicí jednotky | 33 |
| 4.1.1 Parametry ESP32 | 34 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.1.2 | Instalace Arduino IDE | 35 |
| 4.1.3 | Nahrání programu do ESP32 | 37 |
| 4.2 | Databáze Firebase | 37 |
| 4.2.1 | Návrh struktury databáze | 38 |
| 4.2.2 | Napojení ESP32 na databázi | 40 |
| 4.3 | Senzory | 42 |
| 4.3.1 | Senzor teploty, vlhkosti vzduchu a barometrického tlaku BMP280 | 42 |
| 4.3.1.1 | Zapojení senzoru a jeho ovládání | 43 |
| 4.3.2 | Senzor vlhkosti půdy | 44 |
| 4.3.2.1 | Zapojení senzoru a jeho ovládání | 44 |
| 4.3.3 | 2-kanálový relé modul | 45 |
| 4.3.3.1 | Zapojení 2-kanálového relé a jeho ovládání | 46 |
| 4.3.4 | Senzor světelnosti KY-018 | 46 |
| 4.3.4.1 | Zapojení senzoru a jeho ovládání | 47 |
| 4.3.5 | Senzor kvality vzduchu | 48 |
| 4.3.5.1 | Zapojení senzoru a jeho ovládání | 48 |
| 4.3.6 | Napojení všech senzorů na ESP32 | 49 |
| 4.4 | Aplikace pro vzdálený přístup a kontrolu | 50 |
| 5 | Výsledky | 54 |
| 5.1 | Ekonomické zhodnocení | 54 |
| 5.2 | Porovnání s aktuálními řešeními | 55 |
| 5.3 | Možností dalšího rozšíření | 56 |
| 6 | Závěr | 58 |
| 7 | Seznam použitých zdrojů | 60 |
| 8 | Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk | 64 |
| 8.1 | Seznam obrázků | 64 |
| 8.2 | Seznam tabulek | 64 |
| | Přílohy | 65 |

1 Úvod

Chytré skleníky představují inovativní přístup k modernímu zemědělství, kombinující pokročilé technologie a agronomické znalosti s cílem optimalizovat podmínky pro rostlinný růst. Tato revoluční technologie se stává klíčovým prvkem v současném globálním kontextu, kde se hledají udržitelné a efektivní metody produkce potravin, při změnách klimatu a zvyšujícím se potravinovým potřebám.

Odborný výzkum a vývoj v oblasti chytrých skleníků umožňují dosažení optimálních podmínek pro růst rostlin prostřednictvím kontrolovaného prostředí. Tato technologie zahrnuje pokročilé senzory, automatizované systémy řízení klimatu, umělou inteligenci a další inovativní prvky, které umožňují maximální využití přírodních zdrojů, minimalizaci odpadu a zlepšení celkové účinnosti zemědělské produkce.

Řízení chytrého skleníku zahrnuje komplexní správu klimatických podmínek, včetně teploty, vlhkosti, osvětlení a ventilace, s cílem dosáhnout optimálních podmínek pro růst a vývoj rostlin. Tato úroveň přesnosti a automatizace v řízení zemědělského prostředí má potenciál výrazně zvýšit výnosy, zlepšit kvalitu plodin a snížit negativní dopady na životní prostředí.

V této práci se zaměříme na důležité aspekty řízení chytrého skleníku, včetně technologických inovací, senzorických systémů, datové analýzy a algoritmů, které jsou klíčové pro dosažení efektivního a udržitelného zemědělství. Budeme zkoumat aktuální trendy, výzvy a potenciální budoucí směřování v této oblasti, s ohledem na optimální využití chytrých skleníků v rámci současných potřeb společnosti a odvětví zemědělství.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Hlavním cílem bakalářské práce je být vytvoření chytrého skleníku/zahrady. Dílčími cíli jsou: 1.zpracovat analýzu současného stavu poznání, 2. provádět monitoring a úpravu nastavení on-line ze vzdáleného přístupu, 3.navrhnout UI aplikace pro vzdálenou správu.

2.2 Metodika

Práce je založena na studiu vědecké a odborné literatury. Nad teoretickou částí bude provedena analýza současného stavu poznání. V praktické části pak na základě získaných poznatků bude zpracován návrh prototypu a aplikace k zajištění autonomního provozu. Na základě teoretické a praktické části bude syntetizován závěr práce.

3 Teoretická východiska

3.1 Úvod do chytrého zemědělství

Chytré zemědělství, známé také jako precizní zemědělství, je inovativní přístup k zemědělské výrobě, který se snaží zvýšit účinnost, minimalizovat odpad a zvýšit produktivitu s využitím moderních technologií. Tento koncept, který vznikl jako reakce na rostoucí potřebu udržitelného zemědělství, využívá různé technologie, včetně senzorů, automatizace, dronů, big data a umělé inteligence, aby co nejefektivněji využil dostupné zdroje.

Historie a vývoj chytrého zemědělství se začaly formovat v posledních dekadách jako odpověď na rostoucí požadavky na produkci potravin, zatímco zdroje jako půda a voda se stávají stále omezenějšími. S rozvojem technologií, jako je GPS a satelitní dálkový průzkum, začaly zemědělské operace využívat přesnější a efektivnější metody.



Obrázek 1 Představa možností chytrého zemědělství v budoucnosti[1]

Klíčové technologie a aplikace v chytrém zemědělství zahrnují senzorové technologie pro monitorování zemědělského prostředí, drony a bezpilotní letadla pro mapování polí a monitorování zdraví plodin, big data a analytiku pro analýzu shromážděných dat, automatizaci a robotiku pro snížení potřeby lidské práce, a umělou inteligenci a strojové učení pro predikci vývoje podmínek a automatizované rozhodování. (obrázek 1 Představa možností chytrého zemědělství v budoucnosti)[1]

Chytré zemědělství přináší řadu výhod, jako je zvýšená produktivita, snížení ztrát a odpadu, lepší využití zdrojů a snížení dopadu na životní prostředí. Přestože se jedná o slibný přístup, existují i výzvy, včetně vysokých počátečních investic, problémů s připojením a kompatibilitou technologií, a potřeby specializovaného vzdělávání a odborných znalostí pro efektivní využití těchto technologií.

Je možné konstatovat, že chytré zemědělství představuje zásadní posun v způsobu, jakým se zemědělství provádí, a má potenciál zásadně změnit zemědělský průmysl. Přestože před sebou má určité výzvy, jeho přínosy v oblasti udržitelnosti, efektivity a produktivity jsou nezpochybnitelné. Jako každá významná technologická změna, i chytré zemědělství vyžaduje čas na adaptaci a integraci do stávajících systémů, ale jeho potenciál pro budoucnost zemědělství je obrovský.

3.1.1 Historie a vývoj chytrého zemědělství

Historie precizního zemědělství začíná vznikem prvních GPS satelitů v 50. a 60. letech 20. století, ale skutečný rozvoj a širší adopce této technologie v zemědělství přišly až v 80. a 90. letech. Klíčovým přínosem GPS byla schopnost poskytnout přesné lokální informace, které byly využívány pro mapování a navigaci v rámci zemědělských operací.[2]

V 90. letech 20. století se objevily první startupy nabízející přesnější GPS hodnoty, výnosové monitory a softwarové programy, které pomáhaly zemědělcům v sběru a interpretaci dat z polí. Technologický pokrok v té době zahrnoval široké využití přenosných počítačů a osobních digitálních asistentů (PDA), které umožňovaly mobilitu v terénu. Průkopníci precizního zemědělství, ať už šlo o zemědělce, konzultanty, distributory nebo firmy, čelili dvěma hlavním překážkám: nekompatibilitě hardwaru a softwaru a vysoké náročnosti na technické dovednosti a změnu myšlení.[3]

Další důležité technologie využívané v precizním zemědělství zahrnují geografické informační systémy (GIS), které se používají k vytváření, ukládání a analýze prostorových dat souvisejících s farmářskými operacemi, a technologii proměnných dávek (VRT), která

umožňuje přesné ovládání aplikace zemědělských vstupů v různých částech pole. Mezi další nástroje patří výnosové monitory a výnosové mapy, které poskytují detailní vizualizaci úrody napříč polem, dálkové senzory a auto-naváděcí systémy, které využívají GPS a další senzory pro přesné navigování zemědělských vozidel a zařízení po polích.[2]

V současnosti je precizní zemědělství stále více integrováno do hlavního proudu zemědělského sektoru, přičemž větší zemědělské, semenné a chemické společnosti, distributoři a prodejci buď kupují nebo navazují partnerství s menšími firmami nabízejícími nové technologie nebo řešení. Tento trend vedl k posunu od "přesného" zemědělství k "rozhodovacímu" zemědělství, kde se technické dovednosti a řešení dat stávají nezbytností pro účast v precizním zemědělství.[3]

Rozvoj precizního zemědělství se lišil podle regionů. Předchůdci tohoto směru byly Spojené státy, Kanada a Austrálie. V Evropě byla Velká Británie první zemí, která se vydala tímto směrem, následovaná Francií, kde se precizní zemědělství objevilo v letech 1997-1998.[4]

3.2 Technologie použité ke komunikaci v IoT

Komunikační standardy v IoT (Internet of Things) představují klíčový prvek pro efektivní a bezpečnou výměnu dat mezi zařízeními a platformami. V této éře, kdy se stále více zařízení stává "chytrými", se potřeba robustních, flexibilních a škálovatelných komunikačních protokolů stává nevyhnutelnou. Mezi nejvýznamnější standardy patří Wi-Fi, MQTT, IQRF, Bluetooth, BLE a Zigbee, každý s unikátními charakteristikami a přizpůsobenými použitími.[5]

Wi-Fi, univerzálně známé a široce používané, je ideální pro vysoce propustné aplikace a poskytuje výhody ve formě rozsáhlé infrastruktury a kompatibility. Na druhé straně MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) se vyznačuje svou lehkostí a efektivitou v přenosu, což je ideální pro zařízení s omezenými zdroji a pro situace, kde je potřeba udržet nízkou spotřebu energie.[6]

IQRF, méně známý, ale rostoucí v popularitě, nabízí silnou platformu pro vytváření mesh sítí, které jsou klíčové pro rozsáhlé IoT řešení. Jeho schopnost vytvářet rozlehlé, samoléčitelné sítě jej činí vhodným pro průmyslové a městské aplikace.[7]

Bluetooth, zejména ve své nízkooenergetické variantě (Bluetooth Low Energy, BLE), se stalo standardem pro osobní síťové komunikace, s širokým uplatněním od fitness trackerů

po domácí automatizaci. Jeho nízká spotřeba energie a schopnost přenášet data na krátké vzdálenosti jej činí ideálním pro zařízení, která jsou často na baterie.[5][6][8]

Bluetooth Low Energy (BLE), také známý jako Bluetooth Smart, je klíčovým hráčem v IoT komunikačních technologiích, zvláště ceněný pro jeho extrémně nízkou spotřebu energie. Tento standard je navržen speciálně pro aplikace, které vyžadují periodický přenos malých datových balíčků a dlouhodobé fungování na baterii, což jej činí ideálním pro širokou škálu zařízení, od nositelné technologie po senzory v domácí automatizaci. BLE se vyznačuje svou schopností udržovat komunikační spojení s minimální energetickou náročností, což umožňuje zařízením fungovat po dlouhou dobu bez potřeby časté výměny baterie. Jeho flexibilita v topologiích sítě, včetně point-to-point a mesh sítí, a zvýšená bezpečnost díky krátkému dosahu signálu, dělají z BLE ideální volbu pro řadu IoT aplikací, kde jsou prioritami energetická efektivnost a spolehlivost.[5][6][8]

Zigbee, který je známý svou schopností vytvářet rozsáhlé mesh sítě a jeho nízkou spotřebu energie, je ideální pro aplikace v domácí automatizaci a průmyslových kontrolních systémech. Jeho flexibilita a škálovatelnost ho činí preferovanou volbou pro scénáře, kde je potřeba spolehlivé a dlouhodobě udržitelné síťové řešení.[9]

Každý z těchto standardů přináší specifické výhody a omezení, které je třeba zvážit při návrhu IoT řešení. Výběr správného standardu závisí na mnoha faktorech, včetně rozsahu sítě, požadavků na energetickou účinnost, bezpečnosti, propustnosti a schopnosti integrace s existujícími systémy a infrastrukturou. V následující tabulce se podrobněji zaměříme na každý z těchto standardů, prozkoumáme jejich klíčové charakteristiky a řekneme si o jejich optimálním využití v různých scénářích IoT.

Tabulka 1 Vlastnosti komunikačních protokolů

| Komunikační protokol | Standard | Přenosová frekvence | Rychlost komunikace | Dosah (ideální podmínky) | Energetická náročnost | Náklady na pořízení |
|----------------------|---------------------------|---|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|
| Wi-Fi | IEEE 802.11 /b/g/n/ac/ax) | 2.4 GHz a 5 GHz | Až 1 Gbps (v závislosti na standardu) | 50 m uvnitř | Relativně vysoká | Vysoké |
| Bluetooth | IEEE 802.15.1 | 2.4 Ghz | Až 2-3Mbps | Až 10 m | Mírná | Malé |
| Bluetooth Low Energy | Bluetooth 4.0 a starší | 2.4 Ghz | Až 1Mbps | Až 100 m | Malá | Malé |
| ZigBee | IEEE 802.15.4 | 2.4 GHz (global), 868 MHz (Europe), 915 MHz (USA) | Až 250 kbps | Až 500 m | Malá | mírný |
| IQRF | AES-128 | 868 MHz / 916 MHz / 433 MHz | Až 27 kbps | Až 500 m | Malá | Mírný |
| MQTT | OASIS | 2,4 Ghz | 250 kbps | - | Malá | Malé |

V současném dynamickém světě IoT (Internet of Things) se různé komunikační standardy stávají nezbytnými pro efektivní a bezpečnou výměnu dat mezi zařízeními. Každý z těchto standardů – Wi-Fi, MQTT, ZigBee, Bluetooth, a IQRF – má své unikátní vlastnosti a nalezneme mezi nimi jak výhody, tak i nevýhody, zejména pokud jde o přenosové frekvence, dosah signálu, cenu a energetickou náročnost.[10]

3.2.1 Wi-Fi

Wi-Fi je možná nejrozšířenější bezdrátovou technologií s vysokou propustností a velkým dosahem, obvykle do 100 metrů v otevřeném prostředí. Používá frekvence 2.4 GHz nebo 5 GHz, což mu umožňuje rychlý přenos dat, ale může vést k interferenci s jinými zařízeními v těchto pásmech. Jeho nevýhodou je relativně vyšší spotřeba energie, což může být limitující pro zařízení na baterie, a vyšší cena spojená s potřebnou infrastrukturou.[9][11]

3.2.2 Bluetooth a Bluetooth Low Energy (BLE)

Bluetooth a Bluetooth Low Energy (BLE) jsou ideální pro osobní síťové komunikace, s typickým dosahem do 10 metrů. Zvláště BLE, se vyznačuje extrémně nízkou spotřebou energie a je vhodný pro zařízení, která vyžadují dlouhodobý provoz na baterie. Nevýhodou je nižší datová propustnost a omezený dosah, což může být limitující pro některé aplikace.[8][6][5]

3.2.3 ZigBee

ZigBee je známý svou schopností vytvářet rozsáhlé mesh sítě a jeho nízkou spotřebou energie. Pracuje na frekvenci 2.4 GHz a je ideální pro aplikace v domácí automatizaci a průmyslových kontrolních systémech. Jeho flexibilita a škálovatelnost ho činí vhodným pro dlouhodobé a spolehlivé síťové řešení. Nicméně, jeho dosah je omezenější než u Wi-Fi a jeho výkon může být ovlivněn interference v pásmu 2.4 GHz.[9]

3.2.4 IQRF

IQRF poskytuje silnou platformu pro vytváření bezdrátových mesh sítí, ideální pro rozsáhlé IoT aplikace. Tento standard umožňuje vytváření samoopravujících se sítí, což je vhodné pro průmyslové a městské aplikace. IQRF pracuje na frekvenci okolo 868/916 MHz, nabízí střední dosah a nízkou energetickou náročnost. Hlavní nevýhodou je komplexnost nastavení a správy sítě.[7]

3.2.5 MQTT

MQTT je protokol založený na modelu "publish-subscribe", který je optimalizován pro nízkonákladová, nízkoenergetická a mobilní zařízení. Nevyžaduje vysoké propustné pásmo a je vhodný pro zařízení s omezenými zdroji a pro aplikace, kde je potřeba minimální spotřeba energie. Výhodou je jeho efektivita v síťovém provozu a schopnost fungovat i v nestabilních síťových podmínkách. Nevýhodou může být nižší bezpečnost, pokud není správně implementována.[12]

3.3 Metody sběru dat v zemědělství

Sběr dat v zemědělství představuje zásadní aspekt moderního zemědělství, neboť umožňuje optimalizaci procesů a zvyšuje efektivitu v oblastech rostlinné i živočišné výroby. Využití pokročilých technologií a metod sběru dat v zemědělství umožňuje nejen zvýšit produktivitu a udržitelnost, ale také reagovat na výzvy spojené s měnícím se klimatem, rostoucími požadavky na zabezpečení potravin a potřebou snižování dopadů na životní prostředí. Tato kapitola se zaměřuje na rozbor metod sběru dat v rostlinné a živočišné výrobě, zdůrazňuje jejich unikátní aplikace, výhody a potenciální výzvy.

Obě tyto oblasti, rostlinná i živočišná výroba, čelí výzvám spojeným s implementací a integrací technologií pro sběr dat. To zahrnuje náklady na zavedení, potřebu kvalifikovaných pracovníků pro správu a analýzu dat, a výzvy spojené s ochranou dat a jejich zabezpečením. Navzdory těmto výzvám však integrace pokročilých metod sběru dat v zemědělství nabízí silný potenciál pro zvýšení efektivnosti, udržitelnosti a ziskovosti v celém zemědělském sektoru. V následujících odstavcích se podrobněji zaměříme na specifické technologie používané v rostlinné a živočišné produkci, a prozkoumáme, jak tyto nástroje transformují moderní zemědělství.[13][14]

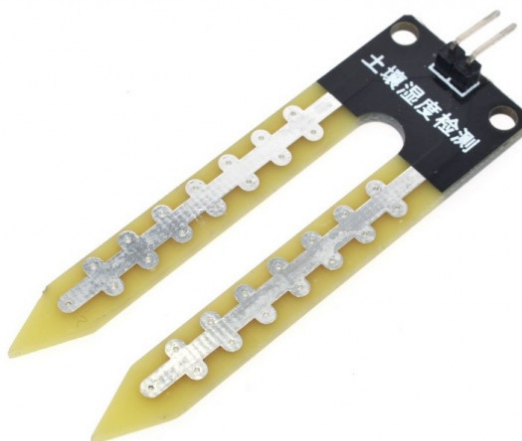
3.3.1 Sběr dat v rostlinné výrobě

V oblasti rostlinné výroby se sběr dat soustředí na monitorování a analýzu různých aspektů, jako jsou klimatické podmínky, půdní vlastnosti, stav rostlin a efektivita zemědělských praktik. Moderní technologie jako jsou drony (na které se zaměříme v další části), satelitní snímkování, IoT senzory a pokročilé počítačové modely, umožňují zemědělcům získávat přesné a aktuální informace o svých plodinách. Tyto metody umožňují přesnější aplikaci hnojiv, vody a ochranných prostředků, zvyšují zemědělské produkce a minimalizují dopady na životní prostředí.

Pro poskytnutí detailního přehledu o nejzákladnějších senzorech v rostlinné výrobě v rámci zemědělství se zaměříme na pět klíčových typů: vlhkostní senzory půdy, senzory teploty a vlhkosti vzduchu, NDVI senzory a senzor pH půdy. Tyto senzory jsou jedny z nejdůležitějších pro precizní zemědělství, neboť poskytují data nezbytná pro správné rozhodování, které vede k efektivnější správě zdrojů, optimalizaci vstupů a zlepšení celkové produkce zemědělských plodin.[13] [14]

3.3.1.1 Senzor vlhkosti půdy

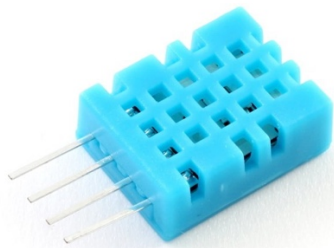
Vlhkostní senzory půdy jsou nezbytné pro efektivní správu zavlažování, jelikož umožňují přesné monitorování úrovně vlhkosti v půdě. Tímto způsobem mohou zemědělci optimalizovat zavlažovací režimy, aby zajistili, že rostliny obdrží optimální množství vody potřebné k růstu. Vyhýbání se nadměrnému či nedostatečnému zavlažování má klíčový význam pro prevenci stresu rostlin a maximalizaci výnosů, zatímco současně se snižuje spotřeba vody a omezuje dopad na životní prostředí. Senzor vlhkosti půdy pracuje na základě elektrické vodivosti půdy. Odpor zemské půdy se také zvyšuje spolu se vzduchem. Na základě toho, že je v půdě velké množství vody, půda začne mít větší elektrickou vodivost a odpor je menší. Na senzoru se nachází dvě elektrody, kdy elektrický odpor se měří mezi elektrodami. Výzvou může být instalace a údržba senzorů, zejména v rozsáhlých nebo obtížně přístupných oblastech.[15]



Obrázek 2 Senzor vlhkosti vzduchu[16]

3.3.1.2 Senzory teploty a vlhkosti vzduchu

Tyto senzory zajišťují klíčové informace o mikroklimatických podmínkách v prostředí, což je zásadní pro správné plánování a předvídání růstu rostlin. Monitorování teploty a vlhkosti vzduchu pomáhá zemědělcům adaptovat své zemědělské práce v reakci na měnící se podmínky, čímž se optimalizuje zdraví a produktivita rostlin. Jeden ze senzorů je například DHT11, který dokáže najednou měřit obě veličiny najednou. Díky těmto datům je možné lépe plánovat aplikaci pesticidů a hnojiv, čímž se zvyšuje jejich efektivita a snižuje environmentální zátěž. Jednou z výzev je zajištění správného rozložení senzorů pro získání přesných dat z celého pozorovaného objektu.[17]



Obrázek 3 Senzor pro měření teploty a vlhkosti vzduchu DHT11[18]

3.3.1.3 NDVI senzory (Normalized Difference Vegetation Index)

NDVI senzory, využívající spektrální odraznost rostlin k posouzení jejich zdraví a stavu, což je nezbytné pro precizní zemědělství. Poskytují rychlý a objektivní přehled o stavu vegetace, což umožňuje zemědělcům rychle identifikovat problémové oblasti, jako jsou nedostatky živin, stres z vody nebo napadení škůdci. Tato data nám může poskytnout třeba dron DJI Mavic 3M, který díky 4 kamerám dokáže tyto data získat. NDVI data jsou cenná pro optimalizaci vstupů a zlepšení řízení pole, což vede k vyšší efektivitě a produktivitě. Omezením může být nákladnost a složitost analýzy dat, vyžadující specializované znalosti.[19][20]



Obrázek 4 Multispektrální kamera dronu DJI Mavic 3M[21]

3.3.1.4 Senzory pH půdy

Správná úroveň pH půdy je klíčová pro optimální vstřebávání živin rostlinami. Senzory pH půdy umožňují zemědělcům monitorovat a přizpůsobovat úroveň pH v reálném čase, což je zásadní pro zdravý růst rostlin a maximalizaci výnosů. Přesné údaje o pH půdy umožňují cílenou aplikaci vápna nebo jiných zásaditých či kyselých úprav, což vede k lepšímu využití živin a snížení potřeby hnojiv. Zásadní pro zvážení použití senzoru může být nutnost pravidelné kalibrace senzorů pro zachování přesnosti měření.[22]

Všechny tyto senzory hrají klíčovou roli v přesném zemědělství, poskytují zemědělcům cenné informace pro informované rozhodování a umožňují efektivnější a udržitelnější správu zemědělských prací. I přes výzvy, jako jsou náklady na implementaci, potřeba specializovaných znalostí pro analýzu dat a údržba senzorů, přináší jejich využití významné výhody v podobě zvýšení produkce a snížení potřebných vstupů.

3.3.2 Sběr dat v živočišné výrobě

Na druhé straně v živočišné výrobě spočívá sběr dat především v monitorování zdraví a pohody zvířat, výkonnosti, chovných vzorců a efektivitě krmení. Využívají se zde technologie jako jsou elektronické identifikační systémy, senzory pro monitorování teploty a pohybu, automatizované krmitelné systémy a sofistikované softwarové nástroje pro analýzu dat. Tyto metody umožňují farmářům lépe pochopit potřeby jejich zvířat, optimalizovat jejich péči a zvýšit celkovou produktivitu a udržitelnost chovu.

3.3.2.1 Senzory teploty a vlhkosti ve stájích

Senzory teploty a vlhkosti hrají v živočišné výrobě nezastupitelnou roli, neboť přímý vliv klimatických podmínek na zdraví, pohodu a produktivitu zvířat je nezpochybnitelný. Tyto senzory umožňují kontinuální monitorování a kontrolu mikroklimatu ve stájích, což je zásadní pro prevenci stresu způsobeného extrémními teplotami a pro udržení ideální vlhkosti vzduchu, což minimalizuje riziko onemocnění. Správná regulace teploty a vlhkosti vzduchu podporuje optimální podmínky pro růst a výkonnost, což přímo přispívá k zvýšení efektivity živočišné výroby.

Přestože přínos těchto senzorů je zřejmý, je třeba počítat s náklady na jejich instalaci a údržbu. Pro zajištění správného a spolehlivého měření je často potřeba rozmístit více senzorů napříč stájemi, což může být finančně a logisticky náročné. Navíc, data získaná z těchto senzorů vyžadují správnou interpretaci, aby bylo možné přijímat informovaná

rozhodnutí, což může vyžadovat další školení personálu nebo investice do pokročilého softwaru pro analýzu dat.[23]

3.3.2.2 Senzory zdraví a pohybu

Senzory zdraví a pohybu nabízejí unikátní pohled na chování a fyzickou aktivitu zvířat, což má přímý dopad na chov stáda a jeho zdravotní stav. Tyto nositelné technologie umožňují detekci změn v pohybových vzorcích, které mohou indikovat zdravotní problémy, jako jsou kloubní onemocnění, nebo změny související s estrálním cyklem, což je kritické pro optimalizaci reprodukčních programů.

Využití technologie například obojku MOOCALL HEAT pro chov skotu, významně přispěje k prevenci a rychlé reakci na potenciální zdravotní problémy, což minimalizuje potřebu invazivních zásahů a podporuje pohodu zvířat. Efektivnější řízení reprodukce zvířat také přímo ovlivňuje produktivitu a ziskovost farmy.[24]



Obrázek 5 Obojek pro krávy MOOCALL HEAT[25][24]

Na druhou stranu, zavedení a správa systémů vyžaduje velkou počáteční investici do hardwaru a softwarových platform, stejně jako průběžné úsilí o udržení systému. Zároveň je třeba zajistit, aby data byla interpretována správně a včas, což může vyžadovat speciální školení pro pracovníky a potenciálně přístup k poradenským službám pro optimalizaci využití získaných dat.

Je zřejmé, že integrace moderních sensorových technologií do živočišné výroby nabízí významné výhody pro zvýšení efektivity, zlepšení zdraví a pohody zvířat a optimalizaci produkčních procesů. Výzvy spojené s náklady a správou systému jsou významné, ale při správné implementaci a využití mohou být tyto investice rychle kompenzovány zlepšením výkonnosti a produktivity.[26]

3.3.2.3 Senzory pro monitorování zdraví vemene

Senzory pro monitorování zdraví vemene jsou specificky navrženy pro detekci raných příznaků mastitidy, což je jedno z nejčastějších a ekonomicky nejvýznamnějších onemocnění ve mléčném skotu. Tyto senzory, často integrované přímo do dojicích systémů, měří elektrickou vodivost mléka a další parametry, které mohou indikovat vznik zánětu. Rychlá identifikace a léčba mastitidy vede k minimalizaci ztrát mléka, snižuje potřebu antibiotik a podporuje celkovou pohodu zvířat. Díky včasnému zásahu mohou farmáři udržet vysokou kvalitu mléka a zlepšit produktivitu stáda. Nevýhodou může být vysoká počáteční investice do technologie a potřeba pravidelné kalibrace a údržby senzorů. Navíc, úspěšná implementace vyžaduje integraci s existujícími dojicími systémy a možná i školení personálu pro interpretaci dat.[27; 28][28]

3.3.2.4 Senzory kvality vzduchu

Senzory kvality vzduchu monitorují úroveň amoniaku, prachu a dalších škodlivých plynů ve stájích, což je nezbytné pro udržení zdravého a bezpečného prostředí pro zvířata. Vysoké koncentrace amoniaku mohou vést k problémům a ovlivnit produktivitu zvířat.

Tyto senzory umožňují farmářům přijímat opatření pro zlepšení ventilace a snížení expozice zvířat škodlivým látkám, což přímo přispívá k lepšímu zdraví, pohodě a produktivitě stáda.

Stejně jako u ostatních senzorů, i zde existují výzvy spojené s počátečními investicemi, údržbou a analýzou získaných dat. Vyžaduje se také pravidelné kalibrování pro udržení přesnosti měření.[23]

Všechny tyto senzory představují cenné nástroje pro zemědělce, kteří se snaží zvýšit efektivitu a udržitelnost živočišné výroby. Přestože existují výzvy spojené s jejich implementací a správou. I přesto přínosy v podobě lepšího zdraví zvířat, vyšší produktivity a snížení nákladů na léčbu činí tyto investice do sensorové technologie významnými a strategickými.

3.4 Využívání DJI dronů v precizním zemědělství

V současné době se zemědělství potýká s mnoha výzvami, včetně potřeby zvýšit produkci potravin pro rostoucí světovou populaci, zatímco zdroje jako půda a voda se stávají stále vzácnějšími a potřeba minimalizovat dopady na životní prostředí se stává naléhavější. V tomto kontextu se technologie, zejména drony, ukazují jako klíčové nástroje pro přechod k udržitelnějšímu a efektivnějšímu zemědělství. Využití dronů v zemědělství, specificky modelů jako DJI Mavic 3 Multispectral a DJI Agras T30, představuje významný posun v přístupu k monitorování a správě zemědělských ploch.

Dron DJI Mavic 3 Multispectral je vybaven multispektrálními senzory, které jsou zásadní pro získávání dat o zdraví rostlin a efektivitě půdy. Tyto senzory umožňují zemědělcům získat detailní pohled na variability v různých oblastech pole, což umožňuje cílené zásahy, jako je přesné aplikování hnojiv a pesticidů, optimalizace zavlažování a detekce potenciálních onemocnění rostlin před jejich vizuálním projevem. Využití těchto dat vede k větší efektivitě zemědělských operací, což přispívá k udržitelnějšímu využívání zdrojů a snižuje ekologickou stopu zemědělství.



Obrázek 6 DJI Mavic 3M[29]

Na druhé straně, DJI Agras T30, dron navržený specificky pro aplikaci v zemědělství, představuje revoluci v oblasti aplikace agrochemikálií. Díky své schopnosti přesného a cíleného rozprašování pesticidů, herbicidů a hnojiv umožňuje tento dron značné snížení množství použitých chemikálií a zároveň zvyšuje pokrytí a účinnost aplikace. Výsledkem je snížení nákladů, zvýšení výnosů a minimalizace negativních dopadů na životní prostředí. Dron DJI Agras T30, s jeho pokročilými funkcemi jako jsou 3D plánování letů a inteligentní

sledování terénu, umožňuje přizpůsobení aplikace specifickým potřebám každého pole a zajišťuje maximální efektivitu.[30]



Obrázek 7 DJI Agras T30[31]

Integrace dronů, jako jsou DJI Mavic 3 Multispectral a DJI Agras T30, do zemědělských operací přináší řadu výhod. Nejenže umožňují zemědělcům lépe porozumět a spravovat své pole, ale také nabízejí možnost pro aktivní ochranu životního prostředí prostřednictvím snížení spotřeby vody, minimalizace použití agrochemikálií. Tato technologická inovace umožňuje přesnější a informovanější rozhodování, což vede k větší produkci a udržitelnosti.

Využití dronů v zemědělství také přináší nové výzvy a příležitosti pro výzkum. Zatímco technologie dronů se rychle vyvíjí, zemědělci a výzkumníci musí pokračovat ve vývoji a adaptaci nových metod pro analýzu a interpretaci získaných dat, aby maximalizovali jejich užitečnost. Tento proces zahrnuje vylepšování algoritmů pro zpracování obrazu, vytváření přesnějších modelů pro predikci výnosů a rozvoj sofistikovanějších systémů pro správu zemědělských činností.

Dále je důležité zdůraznit potřebu regulace a směrnic, které zajistí bezpečné a etické využívání dronových technologií v zemědělství. To zahrnuje otázky související s ochranou soukromí, bezpečností letů a dopady na životní prostředí. Vytvoření jasných pravidel a standardů je klíčové pro podporu inovací a zároveň pro ochranu zájmů všech zainteresovaných stran.

Navzdory těmto výzvám nabízí integrace dronů, jako jsou DJI Mavic 3 Multispectral a DJI Agras T30, do zemědělských prací obrovský potenciál pro transformaci zemědělství. Přesné zemědělství, podporované těmito technologiemi, umožňuje zemědělcům zvýšit efektivitu, snížit náklady a zároveň podporovat udržitelnost a ochranu životního prostředí. Tento přístup nejenže pomáhá zemědělcům lépe a rychleji reagovat na současné výzvy, ale

také představuje cestu k budoucímu zemědělství, které je produktivnější, udržitelnější a technologicky pokročilejší.

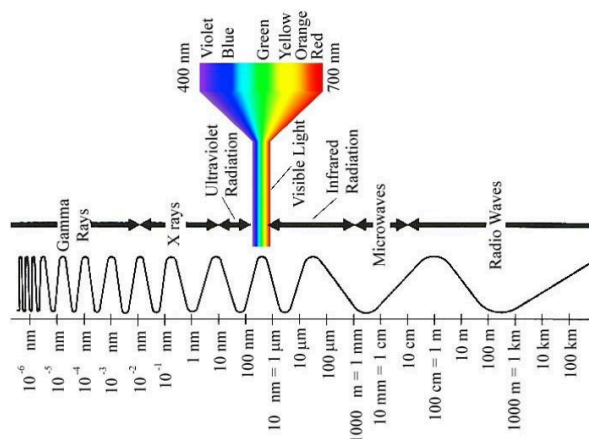
Vzhledem k těmto přínosům a výzvám je nezbytné, aby zemědělský sektor pokračoval ve výzkumu a vývoji v oblasti dronových technologií a jejich aplikací. Spolupráce mezi výrobcí dronů, zemědělci, výzkumníky a regulátory bude klíčem k plnému využití potenciálu těchto nástrojů pro budoucnost zemědělství.[32][33][34]

3.4.1 DJI Mavic 3 Enterprise

V éře technologického pokroku a inovací v oblasti bezpilotních letadel přichází DJI, světový lídr ve vývoji a výrobě dronů, s modelem Mavic 3M. Tento model představuje zásadní krok vpřed ve využití dronů pro profesionální aplikace, zejména v zemědělství a dalších průmyslových sektorech.

DJI Mavic 3M je středně velký dron s hmotností 951 g a maximální vzletovou hmotností (MTOW) 1050 g. Jeho kompaktní design umožňuje snadnou manipulaci. Rozměry rozloženého dronu jsou $34,75 \times 28,3 \times 13,96$ cm. Dron dosahuje maximální rychlosti 54 km/h a je schopen letět až do výšky 500 metrů nad zemí. DJI Mavic 3M může operovat v maximální síle větru 12 m/s a je vybavený pro operace v teplotním rozmezí od -10° do 40° C. Díky svým letovým schopnostem je ideálním kandidátem pro širokou škálu průmyslových aplikací.[20]

Jádrem tohoto dronu je jeho kamerový systém, který obsahuje integrovanou 20 MP kameru a čtveřici 5 MP multispektrálních kamer. Kamera má $4/3''$ CMOS senzor s ISO rozsahem 100-6400, což ji činí schopnou zaznamenávat vysoce kvalitní obraz v různých světelných podmínkách. Multispektrální kamery, zaměřené na NIR, RE, R a G spektra, jsou nepostradatelné pro následné pokročilé zemědělské a ekologické postupy.



Obrázek 8 Ukázka barevného spektra[35]

DJI Mavic 3M nabízí pokročilou schopnost přenosu dat s maximálním dosahem 15 000 m (8 000 m v režimu CE), což je klíčové pro operace na rozsáhlých pozemcích. Dron podporuje frekvence 2.400-2.4835 GHz a 5.725-5.850 GHz, což zajišťuje stabilní připojení a přenos dat. V oblasti navigace, Mavic 3M disponuje technologií RTK (Real Time Kinematic), poskytující extrémní přesnost polohování v řádu centimetrů. S kapacitou baterie 5000 mAh Mavic 3M poskytuje maximální dobu letu 43 minut. Tato výdrž umožňuje uživatelům provádět rozsáhlé průzkumy bez nutnosti častého dobíjení. Významnou výhodou je také rychlá dobíjecí doba, která je pouhých 96 minut.[20][30]

DJI Mavic 3M se vyznačuje širokou škálou aplikací, z nichž nejvýznamnější je jeho využití v zemědělství. Díky svým multispektrálním kamerám dokáže poskytovat detailní snímky, které jsou klíčové pro monitorování zdraví plodin, detekci chorob a škůdců a efektivní správu zemědělských ploch. Tyto data mohou být použita pro přesné mapování pole a pro vytváření účinných strategií pro zavlažování a hnojení či při detekci škůdců na zemědělských plochách.

Bezpečnost a spolehlivost jsou klíčovými aspekty DJI Mavic 3M. Dron je vybaven pokročilými bezpečnostními systémy, včetně protikolizních senzorů a automatického návratu při ztrátě signálu nebo nízké úrovni baterie. Tento model také využívá systém GPS a GLONASS pro přesné a spolehlivé navigační schopnosti.

DJI Mavic 3M je kompatibilní s řadou softwarových platforem a aplikací, které rozšiřují jeho funkčnost. Například DJI Terra, umožňuje uživatelům efektivně zpracovávat nasbíraná data, vytvářet 3D mapy a provádět podrobnou analýzu terénu. Tento dron podporuje také DJI Pilot, aplikaci umožňující přesnou kontrolu a plánování letů v reálném čase.

DJI Mavic 3M představuje přelom v oblasti bezpilotních letadel, který rozšiřuje možnosti jejich využití v průmyslovém a vědeckém výzkumu. Jeho pokročilé technické vlastnosti a schopnosti, v kombinaci s vysokou úrovní adaptability a uživatelské přívětivosti, jej činí neocenitelným nástrojem pro širokou škálu aplikací, od zemědělství až po ekologii a ochranu přírody.

3.4.1.1 Využití technologie NDVI

Index vegetačního odrazu (NDVI, z anglického Normalized Difference Vegetation Index) je klíčovým parametrem, který DJI Mavic 3M dokáže měřit pomocí své multispektrální kamery. Tento index je významným nástrojem v oblasti dálkového průzkumu Země, zemědělství a environmentálních věd.

NDVI je založen na principu, že zdravá vegetace odráží více blízkého infračerveného (NIR) záření a absorbuje více viditelného světla, zejména v modrém a červeném spektru. Index je vypočítáván z poměru rozdílu mezi odráženým NIR a viditelným červeným světlem k celkovému množství odráženého světla:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Obrázek 9 Vzorec pro výpočet hodnoty NDVI[36][37]

Hodnoty NDVI se pohybují v rozmezí -1 až +1, přičemž vyšší hodnoty (blíží se +1) indikují hustší a zdravější vegetaci.[36]



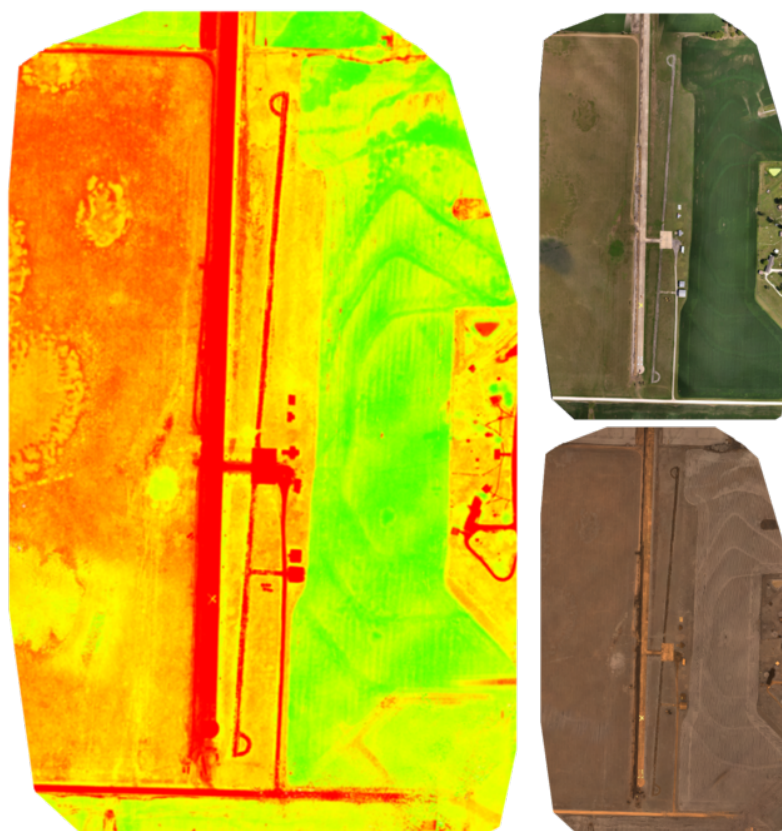
Obrázek 10 Hodnoty NDVI od -1 do 1, přičemž -1 je zobrazeno jako červené a 1 je zelené.[36][37]

Měření NDVI pomocí dronu DJI Mavic 3M, který je vybaven multispektrálními senzory, které jsou schopné zachytit jak NIR, tak viditelné světlo. Tyto senzory umožňují dronu efektivně sbírat data potřebná pro výpočet NDVI. Tato schopnost je neocenitelná pro zemědělce a vědce, jelikož poskytuje rychlý a přesný pohled na zdraví a hustotu vegetace na monitorované ploše.

Aplikace technologie NDVI v Zemědělství a Ekologii. NDVI je široce využíván v zemědělství pro optimalizaci využití půdy, vody a hnojiv. Díky analýze NDVI mohou zemědělci identifikovat problematické oblasti, optimalizovat zavlažování a hnojení, a rychle reagovat na příznaky stresu rostlin nebo nemocí. V ekologii se NDVI využívá k monitorování zdraví ekosystémů, sledování změn ve vegetaci v důsledku klimatických změn a k hodnocení účinnosti ochranných opatření.

Význam NDVI v Současném Zemědělství a Environmentálním Monitoringu. Použití NDVI přes DJI Mavic 3M znamená revoluci v přístupu k monitorování a správě zemědělských a přírodních zdrojů. S rychlým a přesným sběrem dat mohou uživatelé rychle

získat důležité informace, které jsou klíčové pro efektivní rozhodování a dlouhodobou udržitelnost prostředí.



Obrázek 11 Mapa NDVI blízke pole (vlevo) jsou vytvořeny z kombinace snímků RGB (vpravo nahoře) a NIR (vpravo dole). Mapy NDVI zobrazují zdraví plodin a vegetace.[36][37]

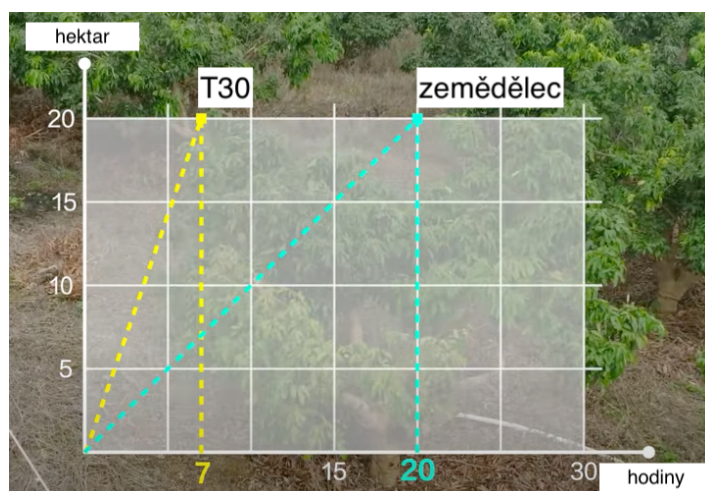
V kontextu rostoucích výzev, jako je změna klimatu a zvyšující se tlak na zemědělské zdroje, se NDVI stává nezbytným nástrojem pro zajištění udržitelnosti a efektivity v oblastech jako je zemědělství, lesnictví a ochrana přírody. DJI Mavic 3M, s jeho pokročilými multispektrálními schopnostmi, tak hraje klíčovou roli v moderním přístupu k monitorování a správě přírodních zdrojů.[19][36; 38][38][39][40]

3.4.2 DJI Agras T30

DJI AGRAS T30, nejnovější přírůstek do rodiny zemědělských dronů od DJI, je přelomovým řešením pro moderní zemědělství. Tento dron je navržen tak, aby maximalizoval zemědělskou produkci a efektivitu, a to díky svým pokročilým funkcím a technologiím pro přímou aplikaci.[41]

Důležité funkce:

1. Nádrž a Aplikační Schopnosti: T30 má nádrž o kapacitě až 40 kg pro granulát nebo osivo, což je největší z celé řady AGRAS. Jeho další možná 30 litrová pracovní nádrž na postřik umožňuje zvýšit efektivitu aplikace až na 40 akrů za hodinu, což je o 33,3 % více než u předchozí generace. Tato obrovská kapacita umožňuje dronu pokrýt větší plochy rychleji, čímž se snižuje čas až o 3x násobek a náklady na obhospodarování zemědělské půdy.[41]



Obrázek 12 Graf práce provedena dronem VS člověkem[42]

2. Voděodolnost a prachuvzdornost: Významným přínosem je také jeho vysoká spolehlivost a odolnost v těžkých podmínkách díky IP67 a ochraně před vodou a korozí, což snižuje potřebu časté údržby a prodlužuje životnost zařízení. Tato vlastnost je nezbytná pro práci v různých zemědělských podmínkách a zajišťuje dlouhou životnost zařízení i v náročném prostředí.[41]
3. Přesné polohování: Díky technologii RTK (Real Time Kinematic) může T30 dosáhnout vysoce přesného polohování. To je klíčové pro přesnou aplikaci hnojiv a pesticidů, což zvyšuje účinnost.[43]
4. Radarový systém a kamery: Sférický radarový systém a duální FPV kamery pro monitorování poskytují vynikající schopnost navigace a vyhýbání se překážkám. Toto je zásadní pro bezpečný a efektivní let v komplexním zemědělském prostředí.[41]
5. Cloudová Platforma: DJI Agras T30 je vybaven cloudovou platformou pro chytré zemědělství, což umožňuje uživatelům sledovat a analyzovat data v reálném čase, což je nezbytné pro rozhodování založené na datech a optimalizaci postupů. [43]

DJI Agras T30 představuje revoluci v způsobu, jakým zemědělci mohou spravovat svá pole a aplikovat chemikálie, granule a osiva. Jeho schopnost efektivního a přesného rozptýlu hnojiv a pesticidů může výrazně snížit pracovní a časovou náročnost a zlepšit celkovou efektivitu zemědělských operací.

3.5 Existující řešení

Mnoho firem se věnuje vývoji systémů pro chytré zemědělství. V následujícím odstavci budou prezentována komerční řešení dvou vybraných firem.

3.5.1 CleverFarm

Společnost CleverFarm je odborníkem v oblasti chytrého zemědělství, a to s důrazem na konkrétní problémy v této sféře. Jejich produkty se specializují na čtyři klíčové oblasti: precizní zemědělství, chytrou závlahu, agrovidenci a evidenci půdy.

V oblasti precizního zemědělství využívají techniku dálkového snímání Země s následnou analýzou a převedením dat do interaktivních map. Tato metoda identifikuje tři hlavní parametry: obsah biomasy, obsah chlorofylu a obsah vody, využívají indexu NDVI.

Pro chytrou závlahu disponují jednotkou CleverIrrigation, která monitoruje půdní podmínky, evapotranspiraci, dešťové srážky a aktuální počasí. V systému lze nastavit závlahu podle těchto podmínek, využívají vlastní senzory, jako jsou meteostanice Profi a několik typů půdních senzorů Salinity, Volumetric a Absorb. Každý senzor má své specifické měřené vlastnosti. K tomu slouží centrální řídicí jednotka CleverIrrigation Unit.

Agrovidence slouží k evidenci veškerých událostí na farmě a je to portál, kde lze sledovat veškeré evidované prostředky. Disponuje interaktivní mapou, na které lze vizuálně rozlišit zasazené plodiny, jejich stav, seznam všech parcel a podrobnosti o nich. Další funkcí je možnost generování reportů z různých oblastí, např. hnojení.

Poslední nabízenou službou je evidence půdy, která zahrnuje evidenci pachtovních smluv, mapu pozemků a jejich vlastností, uzavírání nových smluv, jejich export, automatické generování daňového přiznání a vyplácení pachtu ze smluv. Společnost vyrábí senzory pro svou řídicí jednotku, které lze sledovat v příslušném portálu, včetně Senzoru Basic (měření teploty a vlhkosti), senzoru do sil, skladů, půdních senzorů a meteostanice.

Na webových stránkách si lze prohlédnout praktické aplikace jednotlivých metod, zjistit využití a vlastnosti jednotlivých senzorů. Bohužel, podrobnější informace nejsou k dispozici online, pro přesnější údaje je nutné vyplnit poptávkový formulář.[44]

3.5.2 Agdata

Společnost Agdata se rovněž specializuje na zemědělské odvětví, což se projevuje ve vývoji produktů přizpůsobených přímo potřebám zemědělství. Nabízí několik variant produktů.

- Meteorologické stanice a sondy – monitorování plodin pomocí senzorů, export hodnot do systému, několik typů senzorů.
- Zemědělský systém – komplexní systém pro evidenci všech událostí, záznamy o plodinách, strojích a pracovnících, dostupný online nebo prostřednictvím aplikace.
- Inteligentní GPS – portál pro sledování pohybu strojů s kompletními daty a monitorování spotřeby PHM.
- Variabilní setí a aplikace – satelitní snímky polí a interaktivní mapy pro sledování předchozích hnojení.

Ostatní systémy firmy jsou v současné době ve fázi přípravy pro uvedení na trh, a proto nelze hodnotit jejich efektivitu. Systém působí přehledně na základě prezentací, protože veškeré informace jsou centralizovány v jednom systému. Firma provozuje online obchod a ceny jednotlivých prvků jsou přístupné na webové stránce, což je výhoda oproti předchozí firmě, která má ceny dostupné pouze na vyžádání. Na webu lze také najít dokumentaci k systému a video návody. Společnost nabízí různé typy senzorů, včetně komplexní meteorologické stanice s různými senzory, sondy do obilí, senzory vlhkosti listů, samostatné teploměry a vlhkoměry a půdní senzory pro měření vlhkosti.[45]

4 Vlastní Práce

Vlastní práce se bude zabývat návrhem a realizací systému pro řízení a vzdálenou správu chytrého skleníku/zahrady v zemědělství. Pro návrh a sestavení zařízení budou využity poznatky z teoretické části a také osobní zkušenosti ze střední školy a maturitní práce. Jednotlivé části systému budou vybírány dle osobních preferencí a zkušeností, s ohledem na jejich technickou náročnost, cenu a složitost zapojení. V závěrečné fázi mé práce bude provedeno ověření funkčnosti navrženého systému, jeho porovnání s existujícími konkurenčními řešeními a kritické zhodnocení perspektiv dalšího rozvoje, zahrnující i aspekty ekonomické udržitelnosti.

Pro realizaci systém pro chytré řízení a vzdálenou správu chytrého skleníku/zahrady bude použit mikrokontrolerem ESP 32, který pomocí připojených senzorů budou monitorovat fyzikální veličiny, vybrané druhy plynů, ovládání relé spínačů, a kromě toho se také budou vyhodnocovat sesbíraná data ze senzorů umístěných ve skleníku. Hlavním uživatelským rozhraním bude webová stránka, na které se budou dynamicky měnit hodnoty jednotlivých veličin. Data budou zobrazena ve webovém rozhraní kam se uživatel nejprve přihlásí a následně uvidí aktuální hodnoty a historický graf vývoje jednotlivých veličin ve skleníku/zahradě.

Data z jednotlivých senzorů se budou posílat a následně ukládány do databáze v reálném čase. Pro měření fyzikálních veličin byly vybrány následující senzory, tak aby pokryly potřebné oblasti. Měřit a sledovat se budou následující veličiny teplota a vlhkost vzduchu, obsah CO₂ ve vzduchu a vlhkost půdy. Ovládat se budou relé, které spustí ventilátory z a do skleníku a zavlažování.

4.1 Výběr řídicí jednotky

V dnešní době rostoucí komplexity a nároků na výkon je výběr vhodné řídicí jednotky klíčovým faktorem pro úspěšný průběh projektů. Mezi mnoha dostupnými možnostmi vyčnívá ESP32, který si získal uznání díky své vynikající kombinaci výkonu, nízké spotřeby energie a široké škále integrovaných funkcí. V této části se zaměříme na technické specifikace a výhody ESP32, které ho činí optimální volbou pro různorodé projekty v oblasti IoT a dalších aplikací.

ESP32 se vyznačuje několika klíčovými výhodami, které ho činí vynikající volbou pro širokou škálu aplikací. Jednou z hlavních výhod je jeho open-source kód, což umožňuje

komunitě vývojářů aktivně přispívat k rozvoji a vylepšování platformy. Tato otevřenost podporuje neustálý růst funkcí a kompatibility s různými periferními zařízeními.

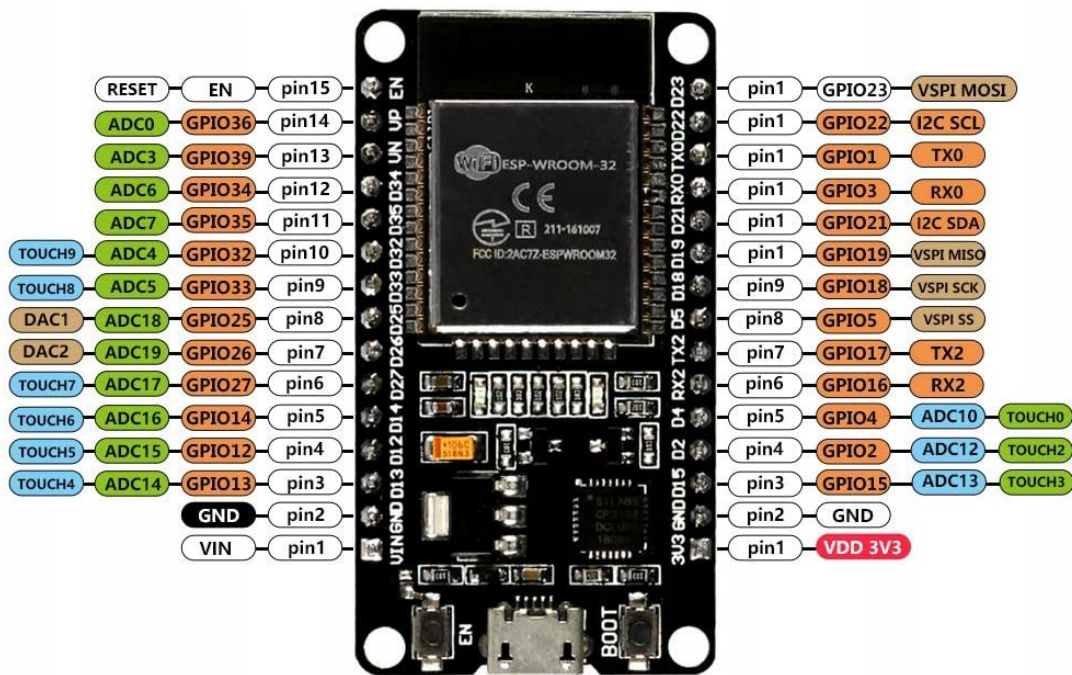
Další klíčovou výhodou ESP32 je jeho modularita. Existuje několik variant ESP32 čipu, které se liší ve svých specifikacích, což umožňuje vývojářům vybrat si přesně ten model, který nejlépe vyhovuje specifickým potřebám jejich projektu. Tato flexibilita usnadňuje přizpůsobení řídicí jednotky konkrétním požadavkům, ať už jde o energetickou efektivitu, výpočetní výkon nebo konektivitu.

Celkově můžeme říci, že ESP32 poskytuje robustní řešení pro vývoj embedded systémů(jednoúčelových) a projektů v oblasti IoT. Jeho vysoký výkon, nízká spotřeba energie a široká škála funkcí z něj činí výjimečnou volbu pro inovativní projekty, kde je klíčová rychlá a spolehlivá integrace technologií. Vzhledem k dynamickému rozvoji a podpoře komunity je ESP32 připraven otevřít cestu pro nové možnosti a inspirativní projekty v oblasti IoT.

4.1.1 Parametry ESP32

Technické parametry ESP32, jenž bylo vyvinuto firmou Espressif Systems, je to výkonný mikrokontrolér a bezdrátový čip, postavený na architektuře Xtensa LX6. Srdcem tohoto čipu je dual-core procesor taktovaný na frekvenci až 240 MHz, což poskytuje dostatek výkonu pro zpracování složitých úloh. ESP32 disponuje širokou škálou periférií, včetně rozhraní pro sériovou komunikaci, GPIO pinů, I2C, SPI a dalších, což umožňuje snadnou integraci s různými senzory, motůrky a dalšími vstupními a výstupními periferními zařízeními.

Co se týče bezdrátových možností, ESP32 podporuje Wi-Fi a Bluetooth, což ho činí ideální volbou pro projekty v oblasti IoT. Díky těmto technologiím může ESP32 efektivně komunikovat s jinými zařízeními, cloudovými službami a mobilními aplikacemi. Kromě toho obsahuje integrovaný správce energie, který umožňuje optimalizaci spotřeby energie a prodloužení životnosti baterií v případě mobilních zařízení.



Obrázek 13 ESP32 a popis jednotlivých pinů

4.1.2 Instalace Arduino IDE

Arduino IDE neboli Arduino Integrated Development Environment (IDE) představuje nezbytný nástroj pro vývojáře a nadšence v oblasti elektroniky a programování mikrokontrolérů. Instalace tohoto prostředí je prvním krokem pro prozkoumání nekonečných možností, které desky Arduino nabízejí.

Prvním krokem k instalaci Arduino IDE je návštěva oficiální webové stránky Arduino, kde můžete najít nejnovější verzi softwaru. Webová stránka obvykle nabízí více verzí pro různé operační systémy, včetně Windows, macOS a Linux. Zde vyberte správnou verzi podle vašeho operačního systému a spusťte stahování instalačního souboru.

Po dokončení stahování otevřete stažený instalační soubor. Instalační průvodce vás provede procesem instalace. Obvykle se vyžaduje pouze několik kliknutí na "Next" a přijetí výchozích nastavení. Během instalace budete mít možnost vybrat umístění, kam chcete nainstalovat Arduino IDE. Po dokončení instalace bude softwarový balíček připraven k použití.

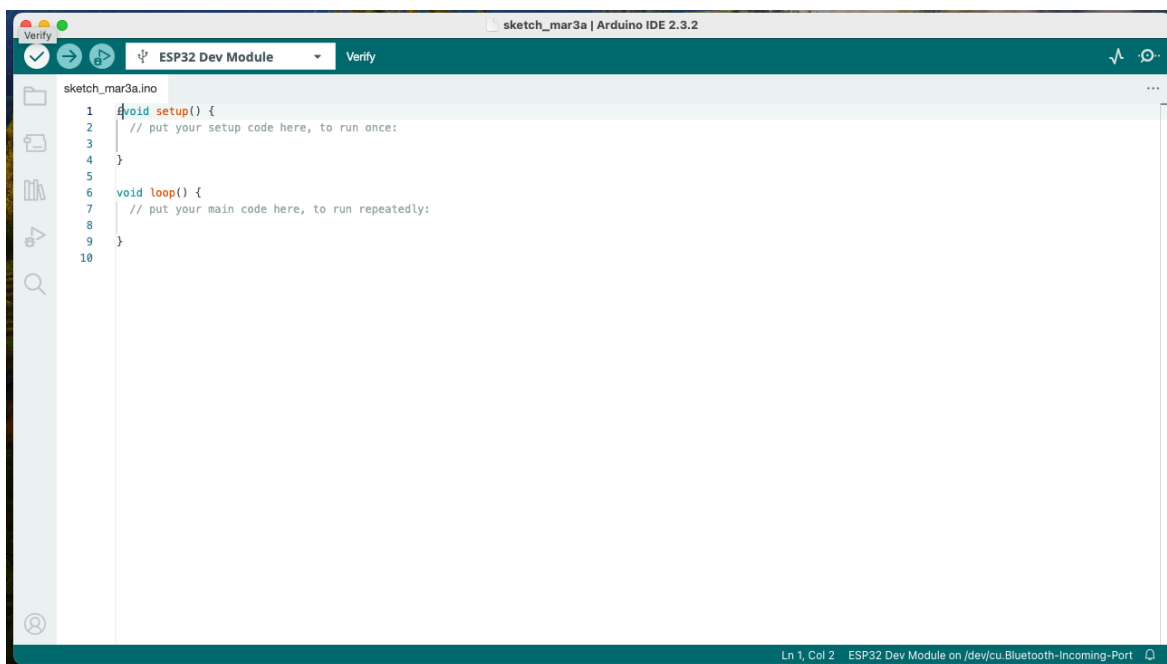
Po úspěšné instalaci je třeba nastavit Arduino IDE tak, aby bylo schopné komunikovat s konkrétní deskou, kterou plánujete používat. Připojíme ESP32 desku k počítači pomocí USB kabelu a otevřeme Arduino IDE. Nyní bude potřeba stáhnout knihovnu "ESP32" od Espressif, aby bylo možné komunikovat s ESP32. Následně přejdeme do menu "Tools" a

vyberte možnost "Board". Zde vyberte model desky, kterou vlastníme, tedy ESP32 Dev Module.

Dalším krokem bude volba správného portu. V menu "Tools" najdeme možnost "Port" a vyberte odpovídající COM port, ke kterému je deska připojena. Pokud nejsme si jistý, který port je správný, můžete zkontrolovat ve Správci zařízení na vašem operačním systému.

Těmito kroky máte úspěšně nainstalováno a nakonfigurováno Arduino IDE. Nyní můžeme začít psát kód, provádět experimenty a nahrávat své programy do desky ESP32. Arduino IDE poskytuje uživatelsky přívětivé rozhraní a mnoho funkcí, jako je sériový monitor, který vám umožňuje sledovat výstup vašeho programu, a správce knihoven, který usnadňuje integraci dodatečných knihoven a rozšíření.

Instalace Arduino IDE není pouze nutným krokem pro začátek práce s deskami Arduino a ESP32, ale také nám otevírá bránu do rozsáhlé komunity vývojářů, kteří sdílejí své znalosti a projekty online. S nainstalovaným Arduino IDE máte klíč k nekonečným možnostem v oblasti elektroniky a programování, ať už jste začátečník nebo zkušený vývojář.



Obrázek 14 Ukázka aplikace Arduino IDE

4.1.3 Nahrání programu do ESP32

Pro nahrání programu na mikrokontroler ESP32 budeme potřebovat počítač s USB-A portem a přístupem k internetu. V případě, že budeme chtít mikrokontroler provozovat samostatně, můžeme pro jeho napájecí zdroj využít zařízení s výstupním napětím mezi 5 V a 12 V. Doporučuje se však používat napětí nižší než 9 V, protože pro správnou funkci ESP32 je vyžadováno pouze 3,3 V, zatímco zbytek napětí je odváděn regulátorem LDO ve formě tepla.

Pro proces nahrávání programu je využíván program Arduino IDE, který je přímo vyvíjen společností Arduino. Jeho jádro IDE je postaveno na Theia IDE (Obrázek 16 Ukázka aplikace Arduino IDE). První krok, co je potřeba udělat, je připojit ESP32 k počítači. Následně je potřeba kód verifikovat, pomocí tlačítka nalevo nahoře “Verify“ s obrázkem fajfky (Obrázek 16 Ukázka aplikace Arduino IDE), čímž zjistíme, zda je kód bez chyby, která by znemožnila bezchybný chod programu. V případě že verifikace kódu proběhla úspěšně, tak se nám v konzoli nezobrazí žádné červené chybové hlášení. Následně je možné kód nahrát na ESP32. Nahrání kódu se provádí tlačítkem vlevo nahoře, napravo od verifikace “Verify“ s názvem “Upload“ s obrázkem šipky doprava (Obrázek 16 Ukázka aplikace Arduino IDE). Když tlačítko stiskneme začne se kód posílat do ESP32, v momentu, kdy se v konzoli zobrazí text “Connecting.....“, kam přibývají tečky, tak je potřeba stisknout přibližně na 3 sekundy tlačítko BOOT na připojeném ESP32. Poté bude program nahrán na ESP32 a vždy když bude ESP32 zapojené do napájení, tak se spustí program, který do něj byl nahranný.

Mikrokontroler komunikuje pomocí UART rozhraní, a proto je nutné stáhnout a nainstalovat ovladač, který umožňuje počítači rozpoznat připojený mikrokontroler. Vývojáři pro psaní programů využívají programovací jazyk C++.

4.2 Databáze Firebase

Firebase databáze představuje revoluční technologii v oblasti správy a synchronizace dat mezi různými zařízeními a platformami. Firebase je poskytovatel cloudových služeb od společnosti Google, nabízí tuto inovativní funkcionalitu, která umožňuje vývojářům vytvářet moderní a interaktivní aplikace s okamžitým zobrazováním změn v reálném čase.

Tím, co odlišuje Firebase databázi od tradičních databázových systémů, je jeho schopnost poskytovat realtime aktualizace. To znamená, že jakmile jsou data aktualizována na jednom zařízení, jsou tyto změny automaticky odeslány na všechny ostatní připojené

zařízení bez zpoždění. To přináší uživatelům a vývojářům okamžitou odezvu a plynulý zážitek z používání aplikací.

Architektura realtime Firebase databáze je postavena na technologii WebSocket, což umožňuje efektivní dvousměrnou komunikaci mezi klienty a serverem. To zajišťuje rychlou a spolehlivou synchronizaci dat, ať už se jedná o přidávání, aktualizaci nebo odstraňování záznamů. Každá změna se okamžitě odráží ve všech připojených zařízeních, což vytváří bezproblémový a interaktivní uživatelský zážitek.

Firebase databáze podporuje také offline režim, což je klíčová vlastnost pro uživatele, kteří chtějí pracovat s aplikací i bez aktivní internetové připojení. Ve chvíli, kdy zařízení znovu získá připojení k internetu, Firebase automaticky synchronizuje lokální změny s centrální databází. To zajišťuje nepřetržitou dostupnost dat a uživatelskou konzistenci, což je neocenitelné v prostředích s nejistým nebo nestabilním připojením.

S bezpečností dat je Firebase databáze na vysoké úrovni. Vývojáři mají kontrolu nad tím, kdo může přistupovat k určitým částem databáze a jaká práva mají při čtení nebo zápisu. Tato správa oprávnění zajišťuje, že data zůstávají chráněna a nedochází k neoprávněnému přístupu.

Celkově lze říct, že realtime Firebase databáze přináší do vývoje aplikací novou dimenzi interaktivity a efektivity. Tato databáze je zdarma dostupná s určitými omezeními na počet operací a velikost databáze, což však dostačuje pro většinu běžných aplikací. Její schopnost poskytovat aktuální data v reálném čase bez zpoždění zvyšuje kvalitu uživatelského zážitku a umožňuje vývojářům vytvářet moderní a konkurenceschopné aplikace.

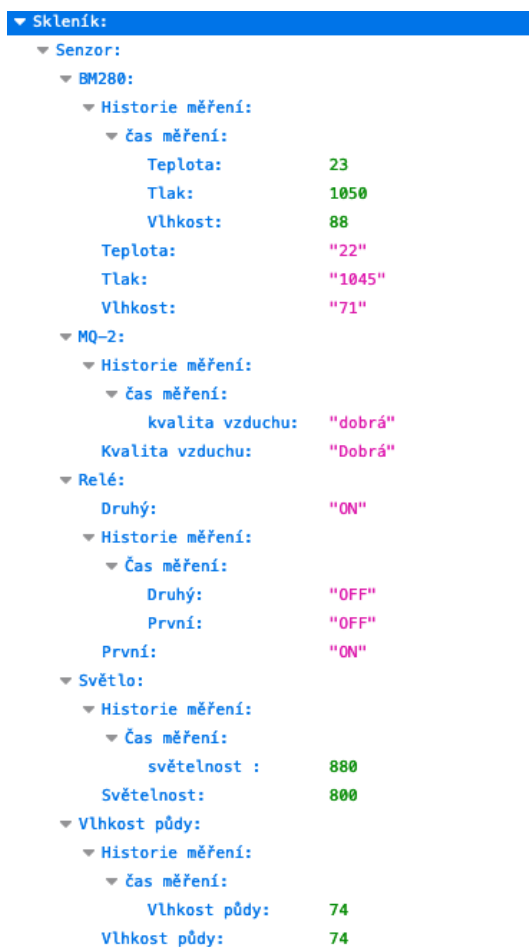
4.2.1 Návrh struktury databáze

Struktura Firebase realtime databáze pro chytrý skleník reflektuje organizaci senzorů a jejich měřených hodnot v rámci prostředí skleníku. Klíčovým prvkem této struktury je hierarchie obsahující kategorie "Skleník", "Senzor" a konkrétní senzory jako "BM280", "MQ-2", "Relé", "Světlo" a "Vlhkost půdy".

V rámci senzorů, každý z nich má svůj vlastní atribut "Historie měření", který slouží k ukládání naměřených hodnot v průběhu času. V této historii jsou jednotlivé měřené hodnoty, včetně "Teploty", "Tlaku", "Vlhkosti" pro senzor "BM280", "Kvality vzduchu" pro senzor "MQ-2", "Stavu" pro senzor "Relé", "Světelnosti" pro senzor "Světlo" a "Vlhkosti půdy" pro senzor "Vlhkost půdy".

Klíčovým prvkem pro sledování časového vývoje měřených hodnot je atribut "čas měření", který, jak je specifikováno, bude na ESP32 změněn na hodnotu Timestamp. Tato hodnota reprezentuje aktuální čas měření, což umožňuje přesné sledování časových změn a aktualizací naměřených dat.

Celkově tato databázová struktura poskytuje komplexní uspořádání a ukládání dat z různých senzorů v rámci skleníkového prostředí, což umožňuje efektivní sledování a analýzu měřených parametrů v průběhu času. Detailní pohled na zvolenou strukturu můžete vidět na Obrázek 17 Struktura databáze, který vizualizuje hierarchii databáze.



Obrázek 15 Struktura databáze

Takováto struktura poskytuje přehledný a hierarchický pohled na data. Každý senzor je oddělený, což usnadňuje přidávání, úpravy nebo odstranění senzorů bez ztráty celkové struktury. Hierarchie také usnadňuje přístup k datům, ať už jde o aktuální informace o skleníku nebo historii měření.

Celkově můžeme říci, že struktura Realtime Firebase databáze pro sledování skleníku nabízí flexibilitu a snadnou správu dat, což je klíčové pro efektivní monitorování a řízení prostředí ve skleníku.

4.2.2 Napojení ESP32 na databázi

Připojení mikrokontroléru ESP32 k databázi Realtime Firebase představuje klíčový krok v rozvoji projektu. Integrace s Realtime Firebase Databází poskytuje možnost efektivní komunikace a sdílení dat v reálném čase. Proces připojení ESP32 k Realtime Firebase databázi začíná instalací knihovny Firebase Arduino Client Library for ESP8266 and ESP32 od Mobizt do vývojového prostředí Arduino IDE. Tato knihovna zjednodušuje komunikaci mezi ESP32 a databází. Následně jsou nezbytné autentizační údaje, konkrétně klíč API a URL projektu Firebase, které se získávají při vytváření projektu v konzoli Firebase. (Obrázek 18 Kód pro připojení k Wifi a Databázi (vlastní zpracování))

V kódu pro ESP32 je důležité nastavit autentizační údaje a specifikovat, jaká data budou odesílána nebo získávána z databáze. K tomu slouží inicializace Wi-Fi připojení a konfigurace Firebase, kde se definuje logika pro odesílání nebo získávání dat v rámci loop() funkce. (Obrázek 18 Kód pro připojení k Wifi a Databázi (vlastní zpracování))


```

#include <Arduino.h>
#include <WiFi.h>
#include <Firebase_ESP_Client.h>
#include "addons/TokenHelper.h"
#include "addons/RTDBHelper.h"
// Nastavení wifi připojení
#define WIFI_SSID "Název wifi"
#define WIFI_PASSWORD "Heslo k wifi"
//API_KEY k Firebase Databázi
#define API_KEY "Firebase_API_KEY"
//URL Firebase Databáze
#define DATABASE_URL "Firebase_Database_URL"
FirebaseData fbdo;
FirebaseAuth auth;
FirebaseConfig config;
void setup(){
  //WIFI nastavení a připojení
  Serial.begin(115200);
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
  Serial.print("Connecting to Wi-Fi");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED){
    Serial.print(".");
    delay(300);
  }
  Serial.println();
  Serial.print("Connected with IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  Serial.println();
  //Konec WIFI nastavení a připojení
  // Firebase přihlášení
  config.api_key = API_KEY;
  config.database_url = DATABASE_URL;
  if (Firebase.signUp(&config, &auth, "", "")){
    Serial.println("ok");
  }
  else{
    Serial.printf("%s\n", config.signer.signupError.message.c_str());
  }
  config.token_status_callback = tokenStatusCallback;
  Firebase.begin(&config, &auth);
  Firebase.reconnectWiFi(true);
}

```

Obrázek 16 Kód pro připojení k Wifi a Databázi (vlastní zpracování)

Výhody tohoto připojení jsou patrné ve využití reálného času pro synchronizaci dat, což umožňuje rychlé reakce na aktuální změny. Díky jednoduchosti implementace, podpořené knihovnou Firebase pro ESP32, je proces snadno realizovatelný. Databáze je škálovatelná, což usnadňuje přidávání nových senzorů nebo zařízení bez složité správy.

Dále je třeba zdůraznit, že data jsou dostupná nejen při aktivním připojení k internetu, ale jsou dočasně uchovávána i na samotném zařízení ESP32. Tato vlastnost zajišťuje, že data jsou dostupná i při krátkodobých výpadcích připojení.

Celkově lze říci, že připojení ESP32 k databázi Realtime Firebase nám poskytne efektivní prostředí pro sběr, ukládání a sdílení dat, což povede k lepšímu monitorování a řízení zařízení v rámci našeho projektu.

4.3 Senzory

Pro sběr potřebných dat budou využity základní senzory, aby byl proveden proces sběru dat a ukázáno, jaké fyzikální veličiny mohou být efektivně měřeny. Při výběru senzorů bylo bráno v úvahu několik klíčových faktorů, jako je cena, obtížnost zapojení a škála měřených veličin. Cílem bylo zajistit, aby senzory byly cenově dostupné, snadno integrovatelné do systému ESP32 a zároveň poskytovaly relevantní a užitečná data pro sledování podmínek v chytrém skleníku.

4.3.1 Senzor teploty, vlhkosti vzduchu a barometrického tlaku BMP280

Senzor BMP280 představuje inovativní zařízení v oblasti měření tlaku, teploty a vlhkosti. Jeho všestrannost a přesnost ho činí nenahraditelným prvkem v rozmanitých oborech, od meteorologie po průmyslové aplikace. Tento senzor je navržen tak, aby poskytoval komplexní informace o okolním prostředí, což umožňuje podrobnější monitorování a kontrolu atmosférických podmínek.

Při analýze funkčnosti senzoru BMP280 je klíčovým prvkem jeho schopnost měřit tlak v prostředí. Senzor využívá piezoelektrický senzor, který reaguje na tlakové změny deformací piezoelektrického materiálu. Tímto způsobem senzor dokáže s vysokou citlivostí zachytit i minimální tlakové variace v rozsahu od 300 hPa do 1100 hPa. Tato široká škála měřených hodnot umožňuje využití senzoru v různých klimatických podmínkách a v různých nadmořských výškách.

Druhou klíčovou veličinou, kterou senzor BMP280 přesně měří, je teplota. K tomuto účelu využívá teplotní senzor typu resistive temperature device (RTD). Tento senzor pracuje na principu změny elektrického odporu materiálu v závislosti na teplotě. Senzor BMP280 je schopen poskytovat přesné hodnoty teploty v rozsahu od -40 °C do 85 °C. Tato široká měřicí škála umožňuje senzoru efektivní nasazení v různých klimatických.

Kromě tlaku a teploty senzor BMP280 rovněž monitoruje vlhkost okolního prostředí. Vlhkost je klíčovým faktorem v různých odvětvích, od zemědělství po průmyslové procesy. Senzor využívá sofistikovaný algoritmus pro výpočet vlhkosti, což zajišťuje přesné měření

v rozsahu od 0 % do 100 %. Přesnost měření vlhkosti je zásadní zejména při sledování mikroklimatických podmínek, jako je například v řízení skleníků nebo skladových prostor. Senzor BMP280 se vyznačuje také energetickou efektivitou a nízkou spotřebou energie. To je zásadní zejména v aplikacích, které vyžadují dlouhou životnost na baterii nebo v prostředích s omezeným přístupem k napájení. Senzor BMP280 je vybaven komunikačními rozhraními, jako je I2C nebo SPI, což umožňuje snadnou integraci s různými mikrokontrolery a platformami. Tato flexibilita usnadňuje vývojářům a konstruktérům práci při začlenění senzoru do jejich specifických projektů.

4.3.1.1 Zapojení senzoru a jeho ovládání

Pro řízení senzoru BMP280 pomocí mikrokontroléru ESP32 je nezbytný kód, který zajistí efektivní komunikaci a získání potřebných dat. V následujícím odborném textu představím jednoduchý kód, který umožňuje inicializaci a čtení hodnot z BMP280 připojeného k ESP32.

```
1  #include <Wire.h>
2  #include <Adafruit_Sensor.h>
3  #include <Adafruit_BMP280.h>
4  #define BMP_SDA 21 // Definice pinu pro datovou linku I2C
5  #define BMP_SCL 22 // Definice pinu pro hodinovou linku I2C
6  Adafruit_BMP280 bmp;
7  void setup() {
8      Serial.begin(115200);
9      if (!bmp.begin())
10     {
11         Serial.println(F("Senzor BMP280 nenalezen, zkontrolujte zapojení!"));
12         while (1);
13     }
14 }
15 void loop() {
16     float teplota = bmp.readTemperature(); // Teplota
17     float tlak = bmp.readPressure() / 100.0F; // Tlak v hPa
18     float vlhkost = bmp.readHumidity(); // Vlhkost
19     delay(300000);
20 }
```

Obrázek 17 Ukázka kódu pro BMP280

Tento kód využívá knihovny pro senzor BMP280 od Adafruit, což usnadňuje manipulaci s tímto zařízením. V `setup()` funkcích jsou provedeny základní inicializační kroky, a v hlavní smyčce `loop()` probíhá čtení teploty, tlaku a simulované vlhkosti z BMP280. Pro správné fungování kódu je nutné mít nainstalovanou knihovnu pro BMP280.

4.3.2 Senzor vlhkosti půdy

Půdní vlhkoměr je zařízení, které slouží k monitorování vlhkosti půdy a substrátů. Tato sada se skládá z měřicí sondy a zesilovače signálu, který umožňuje přesné a citlivé měření vlhkosti. Výstupní signál zesilovače je poskytován jak v analogové podobě, která nabízí kontinuální rozsah hodnot, tak v digitální podobě. Digitální signál lze dále nastavit pomocí trimru na modulu, což umožňuje definovat detekční práh.

Díky této flexibilitě může uživatel vybrat mezi dvěma základními režimy detekce. Prvním z nich je sledování kontinuálních hodnot z analogového výstupu, což umožňuje detailnější a plynulý průběh měření vlhkosti. Druhou možností je práce s digitálním signálem, kde je možné nastavit hranici (detekční práh), a vlhkoměr pak poskytuje jednoduchou logickou hodnotu 0 nebo 1 v závislosti na tom, zda je tato hranice překročena, což v naší práci nebudeme využívat. Pro napájení celého modulu jsou k dispozici dvě možnosti – 3,3 nebo 5 Voltů. Volba napětí ovlivňuje také rozsah výstupních hodnot, kde při použití nižšího napětí budou hodnoty v rozmezí 0 až 3,3 V.

Celkově lze půdní vlhkoměr vnímat jako užitečný nástroj pro monitorování a správu vlhkosti půdy, což má široké uplatnění v oblasti zemědělství, zahradničení a dalších oborech, kde je důležité udržovat optimální podmínky pro rostliny.

4.3.2.1 Zapojení senzoru a jeho ovládání

K implementaci půdního vlhkoměru v kombinaci s mikrokontrolerem ESP32 je klíčovým prvkem efektivní kód, který zajišťuje spolehlivý sběr a zpracování dat. V ukázkovém kódu naleznete konstrukci proměnných a nastavení propojovacích pinů pro správný provoz senzoru. Ve funkci `setup` je inicializována komunikace po sériové lince, a následně jsou určeny směry pinů a vypnuto napájecí napětí pro půdní vlhkoměr.

Nekonečná smyčka `loop` obsahuje klíčovou podmínku `if`, která porovnává čas od poslední kontroly s definovaným intervalem (v tomto případě tři sekundy). Při splnění této podmínky dochází k provedení měření, kdy je napájen měřicí modul a vyčkává se na ustálení napětí po dobu 100 ms. Po této inicializaci se provádí čtení analogové a digitální hodnoty, přičemž pro demonstraci je hodnota analogového vstupu vypsána po sériové lince. Dále následuje kontrola digitálního vstupu, kdy stav HIGH generuje informaci o překročení stanovené hodnoty, což by například mohlo znamenat spuštění čerpadla.

Po provedení těchto kroků je vypnuto napájecí napětí pro modul vlhkoměru, a aktuální čas je uložen do časové proměnné pro další kontrolu. Tímto způsobem je zajištěna

periodická a efektivní kontrola vlhkosti půdy, což je klíčový prvek v inteligentním zemědělství.

```
1 #define analogPin A0 // Analogový pin pro připojení půdního vlhkoměru
2 #define digitalPin 3 // Digitální pin pro kontrolu čerpadla
3 #define vccPin 4 // Napájecí pin pro modul vlhkoměru
4 #define delayBetweenReadings 3000 // Interval mezi jednotlivými měřeními (3 sekundy)
5 unsigned long lastCheckTime = 0;
6 void setup() {
7     Serial.begin(9600); // Inicializace komunikace po sériové lince
8     pinMode(analogPin, INPUT);
9     pinMode(digitalPin, INPUT);
10    pinMode(vccPin, OUTPUT);
11    digitalWrite(vccPin, LOW);
12 }
13 void loop() {
14     if (millis() - lastCheckTime > delayBetweenReadings) {
15         digitalWrite(vccPin, HIGH);
16         delay(100);
17         int analogValue = analogRead(analogPin);
18         bool digitalValue = digitalRead(digitalPin);
19         Serial.print("Analogovy vstup: ");
20         Serial.print(analogValue);
21
22         if (digitalValue == HIGH) {
23             Serial.print(" | Detekovano prekroceni hranice!");
24         }
25
26         Serial.println();
27         digitalWrite(vccPin, LOW);
28         lastCheckTime = millis();
29     }
30 }
```

Obrázek 18 Ukázka kódu pro senzor vlhkosti půdy

4.3.3 2-kanálový relé modul

Dvoukanálové relé představuje technologicky pokročilé zařízení, které se v oblasti zemědělství stává neocenitelným pomocníkem. Jeho technické specifikace zdůrazňují schopnost efektivně ovládat dva nezávislé kanály, což z něj činí skvělý nástroj pro automatizaci různých elektrických procesů v zemědělských aplikacích.

Toto relé je koncipováno pro široký rozsah napájecího napětí od 5V do 12V, což poskytuje flexibilitu při integrování do různých systémů v zemědělském prostředí. Důležitým prvkem jsou bezpečnostní mechanismy, které zajišťují spolehlivý provoz zařízení i v náročných podmínkách.

V kontextu zemědělství je možné dvoukanálové relé využít pro automatizaci různých procesů, například ovládání zavlažovacích systémů, řízení ventilace ve sklenících nebo spínání různých zařízení pro sledování a řízení klimatických podmínek. Díky jeho schopnosti vzdáleného ovládání, které umožňuje integraci s chytrými systémy, přináší toto relé efektivitu a flexibilitu do moderního zemědělského prostředí.

4.3.3.1 Zapojení 2-kanálového relé a jeho ovládání

Při propojení 2-kanálového relé s ESP32 je nezbytné zajistit pevné a správné zapojení obou zařízení. Připojení začíná přivedením napájení na relé, kde napět'ový rozsah 5V až 12V odpovídá technickým požadavkům relé. Následně je třeba připojit digitální piny relé k odpovídajícím digitálním pinům ESP32.

Výrobce doporučuje následující schéma zapojení:

- VCC relé → Připojit k 5V nebo 12V na ESP32 podle specifikací zařízení.
- GND relé → Propojit s GND na ESP32.
- IN1 a IN2 relé → Připojit k digitálním pinům (např. D4 a D5) na ESP32.

Ovládání relé pomocí ESP32 vyžaduje kód, který bude obsahovat inicializaci digitálních pinů ve funkci setup a řízení relé v nekonečné smyčce loop(). Tento kód slouží jako základní ukázka, jak lze ovládat relé s pomocí ESP32. (Obrázek 22 Ukázka kódu pro ovládání 2-kanálového relé)

```
1 // Nastavení čísel propojovacích pinů
2 #define RELAY_PIN_1 D4
3 #define RELAY_PIN_2 D5
4 void setup() {
5     // Inicializace digitálních pinů pro ovládání relé
6     pinMode(RELAY_PIN_1, OUTPUT);
7     pinMode(RELAY_PIN_2, OUTPUT);
8 }
9 void loop() {
10    digitalWrite(RELAY_PIN_1, HIGH); // Zapnutí prvního kanálu
11    delay(1000); // Čekání 1 sekundu
12    digitalWrite(RELAY_PIN_1, LOW); // Vypnutí prvního kanálu
13    digitalWrite(RELAY_PIN_2, HIGH); // Zapnutí druhého kanálu
14    delay(1000); // Čekání 1 sekundu
15    digitalWrite(RELAY_PIN_2, LOW); // Vypnutí druhého kanálu
16 }
```

Obrázek 19 Ukázka kódu pro ovládání 2-kanálového relé

4.3.4 Senzor světelnosti KY-018

Fotorezistorový modul, často označovaný jako světelný senzor (KY-018), představuje kompaktní a účinný prvek pro měření intenzity světla v elektronických systémech. Tento modul je vybaven fotorezistorem, což je speciální typ odporového senzoru, jehož elektrický odpor se mění v závislosti na intenzitě osvětlení okolí. Tím

umožňuje detekci a kvantifikaci světelných podmínek, což je klíčové pro široké spektrum aplikací, jako jsou chytré domácnosti, průmyslová automatizace nebo robotika.

Fotorezistorový modul KY-018 lze snadno integrovat do různých elektronických projektů. Jeho konstrukce zahrnuje výstupní signál, který lze interpretovat jako analogovou hodnotu odpovídající intenzitě světla. Využívá napájení v rozsahu 3,3 V až 5 V, což umožňuje širokou kompatibilitu s různými mikrokontroléry. Díky své jednoduchosti a spolehlivosti poskytuje tento světelný senzor efektivní nástroj pro monitorování okolního osvětlení.

4.3.4.1 Zapojení senzoru a jeho ovládání

Ovládání světelného senzoru KY-018, který využívá fotorezistoru, lze provádět pomocí mikrokontroleru. Klíčovým prvkem je sledování odporu fotorezistoru, který se mění v závislosti na intenzitě světla. Pro komunikaci s tímto světelným senzorem je nejprve nutné definovat připojení k mikrokontroleru. To zahrnuje propojení výstupních pinů senzoru s vhodnými digitálními nebo analogovými piny na desce mikrokontroleru. Při použití například platformy ESP32 by připojení mohlo vypadat následovně.

```
1 // Definice pinů pro světelný senzor KY-018
2 const int analogPin = A0;
3 void setup() {
4     Serial.begin(9600);
5 }
6 void loop() {
7     // Čtení hodnoty světelného senzoru
8     int svetlo = analogRead(analogPin);
9     // Výpis hodnoty na sériový monitor
10    Serial.print("Hodnota svetla: ");
11    Serial.println(svetlo);
12    delay(1000); // Pauza
13 }
```

Obrázek 20 Ukázka kódu pro senzor KY-018

V kódu je hodnota intenzity světla získávána pomocí analogového pinu a následně vypisována na sériový monitor pro monitorování výstupů. Tato data lze následně využít pro různé účely, jako je automatické řízení osvětlení v chytré domácnosti nebo sledování denního světla pro zemědělské aplikace.

4.3.5 Senzor kvality vzduchu

Senzor MQ-135 je vysoce specializovaný senzor určený pro detekci kvality vzduchu, zejména pro sledování úrovně různých plynů a plynných sloučenin ve vzduchu. Jeho technické specifikace se zaměřují na široký rozsah detekovaných plynů, včetně oxidu uhelnatého, alkoholů, benzínu, kouře a dalších škodlivých látek.

Tento senzor funguje na principu chemické reakce mezi cílovým plynem a chemickým složením senzoru, což vede k změně odporu senzoru. Senzor MQ-135 má typický rozsah detekce od 100 do 1000 ppm (parts per million) a je schopen rozpoznat mnoho škodlivých plynů a par, které jsou přítomny ve vzduchu. Jeho vysoká citlivost a rychlá odezva umožňují efektivní monitorování a analýzu kvality vzduchu v různých prostředích, což je užitečné zejména v průmyslových, domácích a zemědělských aplikacích, kde je důležité sledovat a regulovat úroveň škodlivých plynů.

4.3.5.1 Zapojení senzoru a jeho ovládání

Tento ukázkový kód pro správnou funkci vyžaduje předem staženou a importovanou knihovnu MQ135. V úvodu kódu je provedeno připojení této knihovny a nastavení čísel propojovacích pinů. Po inicializaci senzoru z knihovny následuje část v podprogramu "setup", kde je nastavena rychlost sériové komunikace spolu s přerušovacím pinem. Tento pin je konfigurován tak, aby při detekci náběžné hrany (RISING) vyvolal příslušný podprogram "prerus".

V hlavní smyčce "loop" jsou postupně načítány hodnoty koncentrace plynů a čas od spuštění ESP32. Tyto údaje jsou následně vypsány na sériový monitor a po předem nastavené pauze se program opakuje. Důležitou součástí kódu je podprogram "prerus", který v tomto případě slouží pouze k vytisknutí informace o překročení nastavené hranice.

Celkově kód zajišťuje průběžné monitorování koncentrace plynů a reaguje na překročení stanovené hranice, což může být užitečné například při sledování kvality vzduchu v konkrétním prostředí.


```

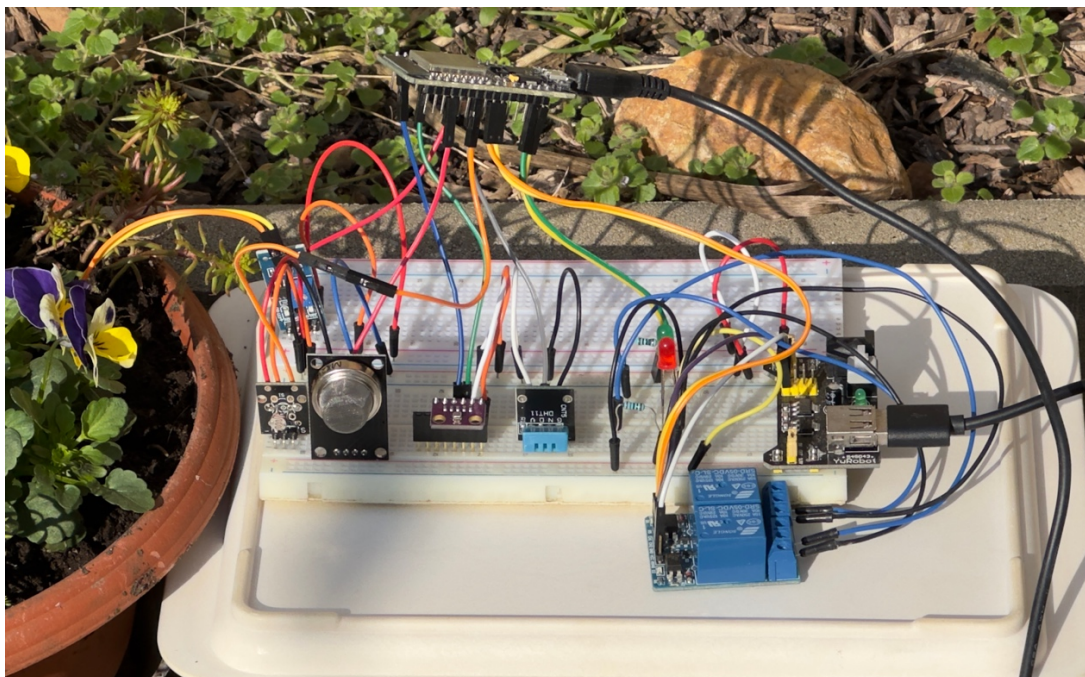
1 // připojení potřebné knihovny
2 #include "MQ135.h"
3 #define pinA A0
4 #define pinD 2
5 // inicializace senzoru z knihovny
6 MQ135 senzorMQ = MQ135(pinA);
7 void setup() {
8     Serial.begin(9600);
9     // nastavení přerušení na pin 2 (int0)
10    // při nástupné hraně (log0->log1) se vykoná program prerus
11    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pinD), prerus, RISING);
12 }
13 void loop() {
14    // načtení koncentrace plynů v ppm do proměnné
15    float ppm = senzorMQ.getPPM();
16    long cas = millis()/1000;
17    // vytištění naměřené koncentrace
18    Serial.print("Koncentrace plynů: ");
19    Serial.print(ppm);
20    delay(3000);
21 }
22 void prerus() {
23    // vypiš varovnou hlášku, pokud je aktivován digitální vstup
24    Serial.println("Detekovano prekročení hranice!");
25 }

```

Obrázek 21 Ukázka kódu pro práci s MQ-135

4.3.6 Napojení všech senzorů na ESP32

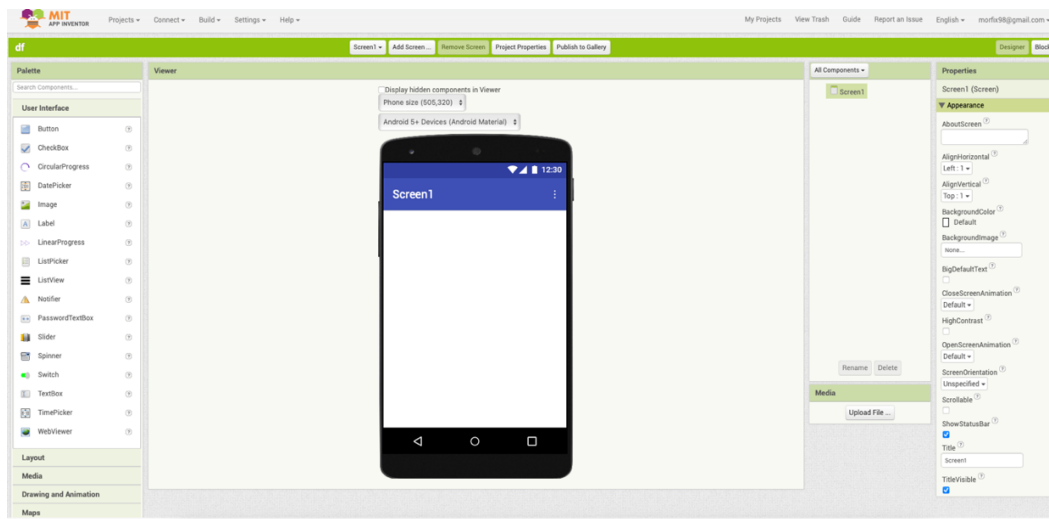
Prvním krokem tohoto zapojení bude navržení připojení v programu určeném pro návrh elektronických obvodů. Tento krok byl nezbytný, protože každý senzor měl odlišný způsob připojení a specifické požadavky na jednotlivé piny. Pro získání potřebných informací byly využity katalogové listy poskytované výrobcem senzorů. Pro napájení všech senzorů byl využit společný výstup s napětím 3,3 V. Dva senzory byly specificky připojeny přes piny SDA a SCL, které slouží pro I2C komunikaci. Tato volba přináší výhodu v možnosti připojit až 127 zařízení na tyto piny. Vzhledem k tomu, že senzory sdílejí společné připojení, bylo nezbytné využít program k identifikaci jejich adres. Ostatní senzory mají každý svůj vlastní výstup, přičemž několik z nich je připojeno do analogových vstupů. Při tomto připojení je důležité brát v úvahu konkrétní pinout daného mikrokontroleru. Na Obrázku 26 Prototyp zapojení ESP32 se senzory, je možné vidět fyzické zapojení senzorů v reálném prostředí, což poskytuje vizuální přehled o tom, jak jsou jednotlivé součástky propojeny.



Obrázek 22 Prototyp zapojení ESP32 se senzory

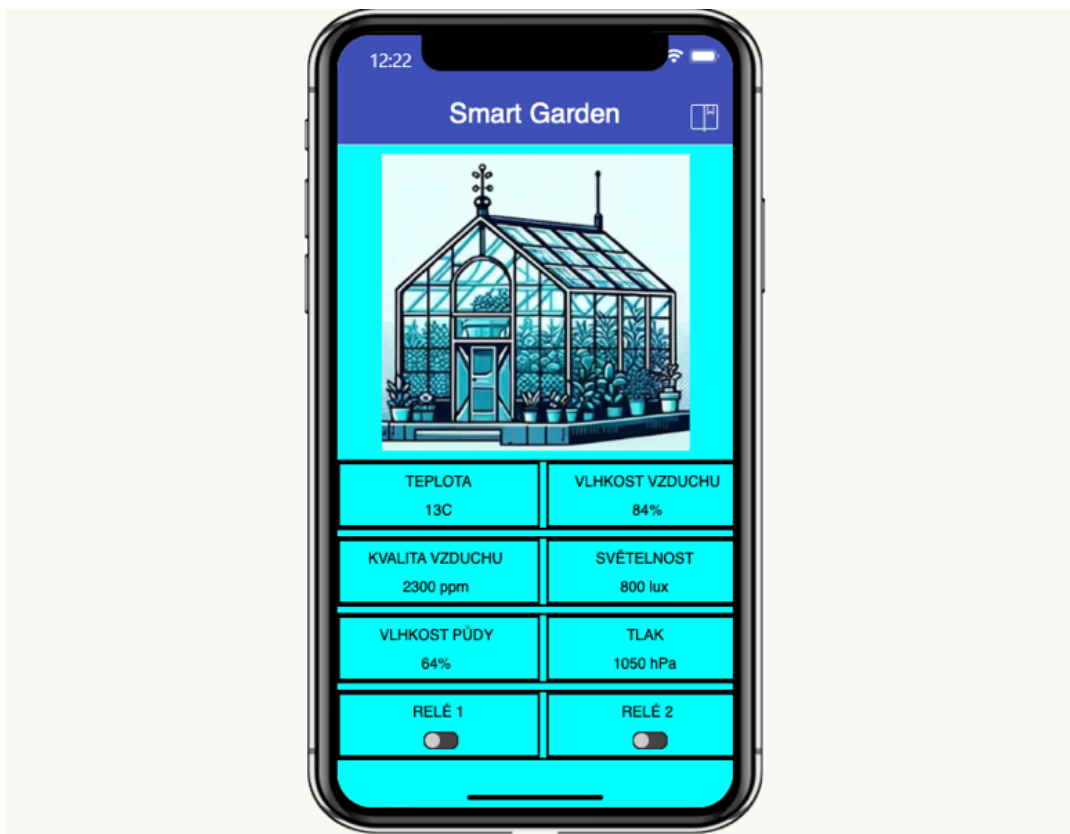
4.4 Aplikace pro vzdálený přístup a kontrolu

Pro tvorbu mobilní aplikace byla využita webová aplikace MIT App Inventor, která umožňuje vytvoření plnohodnotné aplikace. Prvky a vzhled, které uživatel vidí, jsme vytvořili v MIT App Inventoru stejným způsobem jako například ve Visual Studio ve Windows Forms Application. Obě tyto programy umožňují drag-and-drop vkládání prvků do uživatelského rozhraní aplikace, jako jsou mřížka, obrázek, popisek, tlačítko, přepínač a mnoho dalších, včetně komponenty FirebaseDB. Tato komponenta nám umožňuje spojit se s databází Firebase, kde jsou uložena všechna data ze senzorů. Tyto prvky lze následně podrobně upravovat a nastavovat, například velikost, pozadí, zarovnání, barva, velikost textu, styl písma a mnoho dalších parametrů, což poskytuje široké možnosti přizpůsobení vzhledu a funkcionality mobilní aplikace. Následné programování aplikace v MIT App Inventoru je však velmi odlišné od zmíněného Visual Studio Windows Forms Application, kde se kód píše ručně přímo v C#. V MIT App Inventoru se kód nezapisuje, ale vytváří pomocí jednotlivých bloků kódu, ze kterých se následně vytváří aplikace. Tento způsob programování je známý i pod názvem "scratch" a je vhodný pro začátečníky v programování, aby lépe porozuměli, jak kód funguje. Použití tohoto zápisu kódu nám však nijak nebrání ve vytvoření aplikace.



Obrázek 23 Služba MIT APP inventor

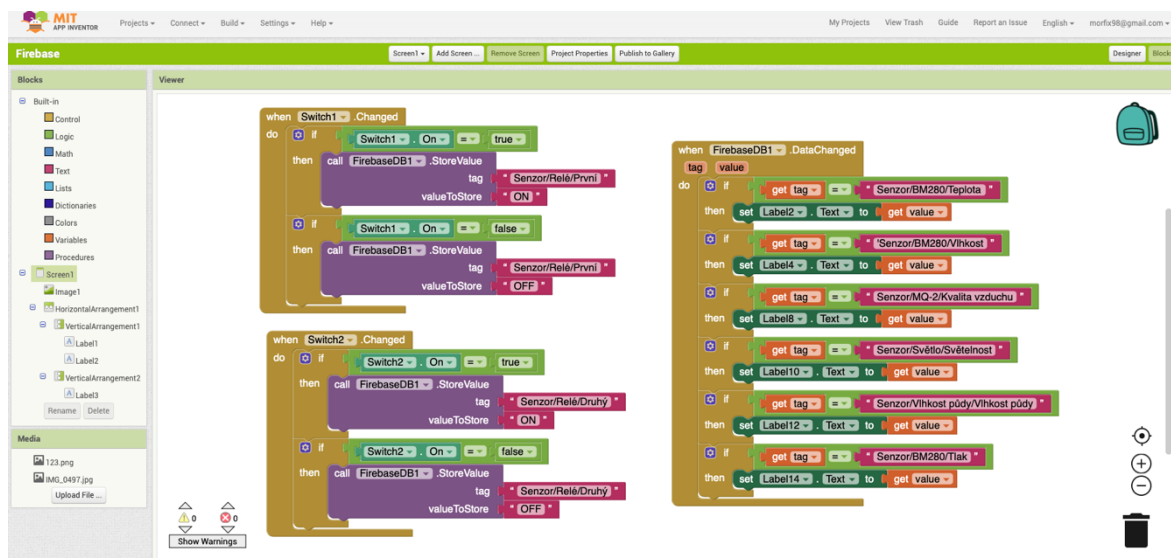
Na hlavní stránce aplikace "Smart Garden" je umístěn název aplikace v horní části, což jasně identifikuje její účel. Následuje obrázek skleníku, který symbolizuje hlavní funkcionalitu aplikace – sledování a vzdálené ovládání skleníku. Tento vizuální prvek okamžitě informuje uživatele o zaměření aplikace. Pod obrázkem skleníku jsou umístěny různé boxy, rozdělené do dvojic. Tyto boxy slouží k zobrazení jednotlivých měřených hodnot, které jsou důležité pro správné fungování skleníku. První z těchto hodnot je hodnota teploty, která je zobrazována v °C. Druhá hodnota je hodnota vlhkosti vzduchu, která je vyjádřena v %. Větší vlhkostí se voda lépe vstřebává do půdy a není tak rychle vypařována, což přispívá k lepšímu zavlažování rostlin. Třetí hodnota je kvalita vzduchu, která je sledována a informuje nás o stavu vzduchu ve skleníku. Ideální hodnota pro rostliny je kolem 330 ppm, při této úrovni rostliny efektivně fotosyntetizují a produkují energii ve formě sacharidů. Čtvrtá sledovaná hodnota je světelnost, která je měřena v luxech. Pátá hodnota je vlhkost půdy vyjádřená v %, což nám umožňuje určit, zda je potřeba rostlinu zalévat, nebo zda už byla dostatečně zavlažena. Poslední sledovanou hodnotou je tlak vzduchu, který je udáván v hPa. Dvojice boxů byly zvoleny tak, aby umožnily snadné přidání dalších hodnot, pokud by bylo v budoucnu potřeba rozšířit funkcionalitu aplikace. Každý box je navržen tak, aby poskytoval uživateli přehledné informace o dané měřené hodnotě. Uživatel může snadno identifikovat jednotlivé hodnoty díky jejich jasnému uspořádání a přehlednému zobrazení. Tímto způsobem je uživateli umožněno rychle a efektivně monitorovat stav skleníku a provádět potřebné úpravy či intervence na základě poskytnutých informací. Celkový design hlavní stránky aplikace je navržen tak, aby poskytoval uživateli intuitivní a přehledné prostředí pro správu a monitorování svého skleníku.



Obrázek 24 UI aplikace

Kód aplikace je vytvořen v Scratchi a pečlivě strukturován tak, aby vyhovoval požadavkům uživatelů. Aplikace prezentuje různé hodnoty ze senzorů v jednotlivých boxech spolu s jejich názvy, což umožňuje uživatelům snadno sledovat stav prostřednictvím uživatelsky přívětivého rozhraní. Dále obsahuje dva boxy s přepínači, které slouží k ovládání relé.

Kód aplikace je rozdělen do dvou hlavních částí, aby bylo zajištěno plynulé a spolehlivé fungování. První část kódu se soustředí na sledování a aktualizaci hodnot v aplikaci v souladu se změnami v databázi Realtime Firebase. Pokud dojde ke změně nebo zápisu hodnoty do Firebase, tato změna je automaticky zaznamenána a aktualizována v aplikaci, aby uživatelé měli vždy aktuální informace. Druhá část kódu je odpovědná za ovládání relé pomocí přepínačů umístěných v jednotlivých boxech. Tyto přepínače umožňují uživatelům snadno ovládat relé a provádět potřebné akce. Kód sleduje změny stavu přepínačů a odesílá odpovídající příkazy do databáze Firebase, které ovládají relé umístěné na ESP32.



Obrázek 25 Ukázka kódu a jak se programuje v MIT APP inventor

Posledním krokem k použití vytvořené aplikace na mobilním telefonu, aniž by bylo nutné spouštět ji v režimu ladění, je vytvoření aplikace s koncovkou .apk, kterou uživatel stáhne a nainstaluje do svého telefonu. Tento proces se provádí jednoduše stisknutím tlačítka "Build" v pravém horním rohu a poté kliknutím na možnost "Android App (.apk)". Tímto krokem stáhneme aplikaci, kterou poté jednoduše nahráváme do mobilního telefonu, ze kterého budeme sledovat a ovládat skleník.

5 Výsledky

5.1 Ekonomické zhodnocení

V této kapitole jsou uvedeny náklady na vytvoření systému pro chytré zemědělství a porovnání s komerčně dostupnými řešeními. Základním a nejdůležitějším prvkem práce byl jednodeskový mikrokontroler ESP 32, který řídí jednotlivé senzory a přenáší data. Po provedení analýzy informací byl vybrán modul ESP 32. I když je ESP32 cenově dražší, s cenou kolem 200 Kč na trhu, poskytuje do budoucna mnoho dalších funkcí. Na druhou stranu je možné pořídit i starší ESP8266 kolem 100 Kč, které by pro projekt úplně dostačovalo, ale po zvážení cena/výkon bylo vybráno ESP32, protože je to jednorázová investice, která poslouží i pro další projekty. Další výhodou ESP 32 je možnost napájení pomocí kabelu Micro USB nebo přes pin na základní desce. Pro lepší manipulaci s modulem byly zakoupeny 2 kusy nepájivých polí, kde jsou řádky propojeny vodivě. Dále je k dispozici řada pro společné napájení, kdy stačí vyvést napájení pro všechny připojitelné prvky jedním propojovacím kabelem. Cena jednoho nepájivého pole se pohybuje na trhu kolem 55 Kč. Prvky je nutné propojit s ESP 32 pomocí kabelů, a proto byla pro tuto práci zakoupena sada 40 kusů kabelů ve verzi samec-samec a samice-samec za 53 Kč.

Pro měření teploty, vlhkosti a tlaku byl vybrán senzor BME280, který je pro tento projekt dostatečný. Jeho měřicí vlastnosti jsou ve srovnání s podobnými variantami jako DHT11 či DHT22, pro náš projekt dostačující. Při výběru senzoru pro měření teploty, tlaku a vlhkosti byl vybrán klon, jelikož originální varianta se na trhu pohybuje okolo 200 Kč. Klon je možné pořídit již od 40 Kč. Pro měření intenzity světla byl vybrán modul s fotorezistorem KY-018. Tento senzor je pro náš projekt plně dostačující a dá se pořídit za 18 Kč. Dalším modulem pro náš projekt bylo 2-kanálové relé. Relé se dá pořídit od 45kč, přičemž jsme přikoupili i 2x led diodu cca. 2 Kč a 2x rezistor cca. 1 Kč, pro ověření funkčnosti zapojených relé. Pro měření kvality vzduchu byl pořízen senzor MQ-135, který byl s porovnáním ostatních senzorů pro náš projekt dostatečný. Senzor MQ-135 lze pořídit již od 45 Kč. Posledním prvkem byl senzor měření vlhkosti půdy. Tento senzor se prodává 22 Kč i s komparátorem LM393, který se pak zapojuje do ESP32. Celkový výběr byl ovlivněn pořizovací cenou jednotlivých komponent a jejich aktuální skladová dostupnost. Veškeré komponenty pro tuto práci byly pořízeny z webu dratek.cz, který nabízel přijatelné ceny, než jeho konkurenti a také bylo vše ihned k odeslání.

V beznákladových položkách jsou z větší části softwarové prvky, jako je například databáze Firebase, Arduino IDE nebo MIT APP Inventor. Pro tuto práci byl dostatečný bezplatný plán databáze Firebase, protože nebylo za celou dobu této práce potřeba více než je stanoveno v limitu plánu. Programy pro psaní kódů, nahrávání do ESP 32 a s tím spojené doplňky jsou dostupné online k bezplatnému stažení a není zde potřeba žádných dalších nákladů.

Na závěr je podstatné poznamenat, že níže uvedená cenová kalkulace v Tab. 6 byla vypočítána pro jednu jednotku a zahrnuje pouze náklady na materiál. Cena za práci, která byla nutná k sestavení, naprogramování systému a uvedení aplikace do provozu, nebyla zahrnuta.

Tabulka 2 Seznam použitých komponentů

| Komponent | Pořizovací cena v Kč včetně DPH |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| Mikrokontroler ESP32 | 192 Kč |
| 2x Nepájivé pole 830 pinů | 2x 55 Kč => 110 Kč |
| Propojovací kabely 40 kusů | 53 Kč |
| Senzor BME280, klon | 40 Kč |
| Modul s fotorezistorem KY-018 | 18 Kč |
| 2 – Kanálové relé | 45 Kč |
| 2x led dioda a 2x rezistor | + - 5 Kč |
| MQ-135 | 45 Kč |
| Senzor vlhkosti půdy s komparátorem | 22 Kč |
| Celková cena | 530 Kč |

5.2 Porovnání s aktuálními řešeními

Na trhu s chytrými zemědělskými systémy existuje mnoho možností, avšak je obtížné nalézt společnost, která se specializuje výhradně na tyto systémy. Většina firem zahrnuje tyto systémy jako doplňky ke svému hlavnímu podnikání a často chybí podrobná dokumentace. Často se setkáváme i s řešením, kde jsou produkty firmy nabízeny na webu, ale bez uvedení cen. Pro srovnání s vlastním systémem jsem vybral firmu Agdata.

Pro srovnání byly vybrány základní meteostanice Meteo Pro II a půdní senzor Meteo STH2. Meteostanice Meteo Pro II je vybavena senzory pro měření úhrnu srážek, teploty, vlhkosti a tlaku vzduchu, rychlosti a směru větru. Na druhou stranu senzor Meteo STH2 je určený pro měření vlhkosti půdy. Meteostanice disponuje více senzory pro sledování meteorologických podmínek. Pro napájení této verze stanice jsou použity dvě baterie typu ER34615 s kapacitou 19 000 mAh, což by mělo zajistit provoz na dobu +- 3 let. Meteostanice je provozována pomocí sítě LoRaWAN, spravované Českými radiokomunikacemi. Je třeba

upozornit, že v některých oblastech může být síť nedostupná. Interval měření je nastaven na 5 minut. Pro provoz meteostanice je nutný placený tarif od společnosti Agdata, který zahrnuje základní licenci za 390 Kč/měsíc a poplatek za každý připojený senzor ve výši 199 Kč/měsíc. Stanice umožňuje sledování aktuálních a historických hodnot měření a nastavení upozornění na dosažení stanovených limitů. Cena za samotnou meteostanici je 8 190 Kč, avšak není možné k ní připojit senzor pro měření vlhkosti půdy.

Tabulka 3 Technické specifikace METEO PRO II

| Meteostanice Meteo Pro II | |
|---|---|
| Senzory | Teplota, vlhkost a tlak vzduchu, úhrn srážek, rychlost a směr větru |
| Napájení | 2x baterie RE34615 190000mAh |
| Výdrž na baterie | +/- 3 roky |
| Interval měření | 5 minut |
| Rozsah měření teploty vzduchu | -40 °C až +100 °C s přesností 0,3 °C |
| Rozsah měření relativní vlhkosti vzduchu | 0–100 % s přesností na 0,5 % |
| Komunikační protokol | LoRaWAN |
| Stupeň odolnosti | IP67 |
| Možnost rozšíření o senzory | Vlhkost půdy, ovlhčení listů |

Senzor pro měření vlhkosti půdy je k dispozici jako samostatný produkt, který je možné umístit do skleníku nebo na pole. Tento senzor dokáže měřit vlhkost půdy ve 4 úrovních a data odesílá každých 5 minut. Má odolný kryt s certifikací IP67, což znamená, že je chráněn proti prachu a vodě. Cena tohoto senzoru činí 3 990 Kč. Způsob zobrazování naměřených hodnot je obdobný jako u meteostanice. Tento senzor lze připojit k meteostanici, avšak meteostanice je cenově výrazně vyšší než verze, která byla předmětem srovnání. Cena meteostanice se pohybuje od 24 990 Kč v závislosti na vybavení.

Z hlediska uživatelské přívětivosti je konkurenční řešení atraktivnější a nevyžaduje další odborné úpravy. Nicméně, informace o jednotlivých prvcích jsou nedostatečné, což způsobuje nejistotu ohledně jejich vzájemné kompatibility a závislosti na ostatních prvcích, jako je meteostanice. Další nevýhodou je potřeba platit tarif za každý připojený senzor, což může při větším počtu senzorů výrazně zvýšit celkové náklady.

5.3 Možností dalšího rozšíření

Při sestavování systému pro chytré zemědělství bylo zjištěno několik možností, jak tento systém vylepšit. Klíčovou otázkou je flexibilita a schopnost adaptace, zejména s

ohledem na prostředí, ve kterém má být systém nasazen. Dosavadní použití systému ve skleníku umožnilo eliminovat některé klimatické vlivy, jako je například déšť nebo sníh. Pokud by systém měl být rozšířen do venkovního prostředí, bylo by vhodné navrhnout voděodolné kryty pro jednotlivé senzory, aby jejich funkčnost zůstala zachována.

Pokud by bylo nutné přidat další senzory pro měření jiných fyzikálních veličin, bylo by třeba upravit zapojení prvků s ohledem na dostupné GPIO piny na mikrokontroleru a zajištění stabilního napájení. Dále by bylo nutné upravit ovládací systém, pokud by byly integrovány prvky pro zavlažování.

Náš systém dosud fungoval v dosahu Wi-Fi sítě bez potřeby bezdrátových opakovačů signálu. Avšak s ohledem na poznatky z teoretické části by bylo vhodné zvážit změnu typu sítě, například na LoRaWAN, SigFox nebo 4G-5G sítě. Poslední protokol by mohl sloužit jako záložní zdroj komunikace, jelikož má široké pokrytí v České republice.

6 Závěr

Hlavním cílem práce bylo sestavení funkčního systému pro chytrý skleník/zahradu. Řídícím prvkem celého systému se stal mikrokontroler ESP 32. Stanovený cíl byl splněn díky sestavení jednotlivých hardwarových komponent a softwarových nástrojů. Systém byl otestován ve skleníku, kde se jevil jako funkční. Zařízení umožnilo monitorovat aktuální stav ve skleníku.

Prvním dílčím cílem bylo provedení analýzy současného stavu poznání. V této části se věnovalo tomu, co vlastně je chytré zemědělství, historii jeho vzniku a aktuálním trendům. Dále byly rozebrány technologie používané ke komunikaci v IoT, jako je Wi-Fi, Bluetooth, Bluetooth Low Energy (BLE), ZigBee, IQRF a MQTT. U těchto komunikačních technologií bylo řečeno a zobrazeno v tabulce, jaké jsou jejich výhody a nevýhody. Dále byly rozebrány vybrané technologie sběru dat v rostlinné výrobě a živočišné. V rostlinné výrobě bylo uvedeno, jak se používají senzory vlhkosti půdy, teploty, vlhkosti vzduchu, pH půdy a nové technologie NDVI, která umožňuje identifikaci zdravých rostlin nebo detekci škůdců. V živočišné výrobě bylo řečeno, k čemu jsou dobré senzory teploty a vlhkosti ve stájích, monitorování zdraví a pohybu zvířete pomocí obojku a jak monitorovat zdraví vemene u krav. Dále bylo zaměřeno na využití dat z dronů, konkrétně NDVI nasbíraných pomocí dronu DJI Mavic 3 Enterprise. Bylo popsáno zpracování dat a jejich následné využití pomocí dronu DJI Agras T30, který umožňuje například aplikaci chemických látek nebo nové sadby. Dalším dílčím cílem bylo provádění monitorování a vzdálené správy. Na tuto část bylo zaměřeno při programování ESP32 a tvorbě aplikace pro monitoring a řízení skleníku, která byla vytvořena v MIT APP Inventoru. Třetím dílčím cílem bylo vytvořit User Interface aplikace. Během vývoje aplikace bylo zaměřeno na to, aby UI bylo co nejpřívětivější pro nové uživatele. Měřené veličiny byly umístěny do jednotlivých boxů spolu s dvěma přepínači na relé. Nejdůležitější bylo, aby vzhled a ovládání bylo intuitivní i pro uživatele, kteří aplikaci použijí poprvé, a aby jim bylo jasné díky obrázku skleníku, že se jedná o ovládání a monitoring skleníku.

Praktická část práce byla zaměřena na proces sestavení a vývoj systému pro sběr a vyhodnocení dat při pěstování plodin. Získané poznatky ze studia vědecké, odborné a internetové literatury byly využity při samotném vývoji systému.

Ve finální části práce bylo provedeno ekonomické zhodnocení, při kterém byly vyčísleny jednotlivé komponenty potřebné pro tento projekt. Dále bylo provedeno srovnání

s komerčně dostupným řešením a byly identifikovány jednotlivé nedostatky. Součástí této části bylo také rozebrání možných úprav systému.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] HORČÍK, Jan. Chytré zemědělství 2.0: Když docházejí lidé, nastupují technologie. In: *Abicko* [online]. 2024, 2001-2024 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.abicko.cz/clanek/precti-si-technika/27222/chytre-zemedelstvi-2-0-kdyz-dochazeji-lide-nastupuji-technologie.html>
- [2] Precision Agriculture- Harnessing technology to boost productivity and profitability. In: *Cropin* [online]. 2012 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.cropin.com/precision-agriculture>
- [3] RUSSO, Joseph. Precision Agriculture, Then And Now. In: *Global Ag Tech* [online]. 2024 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.globalagtechinitiative.com/market-watch/precision-agriculture-then-and-now/>
- [4] Precision agriculture. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Precision_agriculture
- [5] Bezdrátové síťové protokoly IoT. *Farnell* [online]. 2024 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://cz.farnell.com/iot-wireless-network-protocols>
- [6] NEJEN WI-FI – STANDARDY BEZDRÁTOVÉ KOMUNIKACE V IOT. *TME* [online]. 2023, 30.5.2023 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/news/library-articles/page/53063/nejen-wi-fi-standardy-bezdratove-komunikace-v-iot/>
- [7] SPURNÁ, Ivana. Jak na IQRF: tři ukázky, jak pomocí protokolu DPA komunikovat s IoT zařízeními. In: *Root* [online]. 2024, 1997-2024 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/jak-na-iqrf-tri-ukazky-jak-pomoci-protokolu-dpa-komunikovat-s-iot-zarizenimi/>
- [8] Bluetooth® Low Energy Technology that Brings the IoT to Life. In: *Renesas* [online]. 2019 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.renesas.com/us/en/document/whp/bluetooth-low-energy-technology-brings-iot-life>
- [9] Jaké jsou rozdíly u jednotlivých IoT technologií? In: *I4wifi* [online]. 2003 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.i4wifi.cz/cs/faq/1845-jake-jsou-rozdily-u-jednotlivych-iot-technologie>
- [10] Jak se vyznat v bezdrátových sítích pro IoT. In: *Iotport* [online]. 2019 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.iotport.cz/iot-novinky/lorawan/jak-se-vyznat-v-bezdratovych-sitich-pro-iot>
- [11] HRON, Michal. V ČEM JE 5G LEPŠÍ NEŽ 4G? RYCHLOST, LATENCE I KAPACITA. In: *Realita5G* [online]. 2020 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.realita5g.cz/2021/01/15/v-cem-je-5g-lepsi-nez-4g-rychlost-latence-i-kapacita/>
- [12] , EMQX team. What Is the MQTT Protocol and How Does it Work? In: *EMQX* [online]. 2024, 2013-2024 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.emqx.com/en/blog/the-easiest-guide-to-getting-started-with-mqtt>

- [13] Zemědělství budoucnosti – zemědělství s chytrou technologií. In: *Iotport* [online]. 2020 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.iotport.cz/zemedelstvi-budoucnosti-zemedelstvi-s-chytrou-technologii>
- [14] PRECIZNÍ ZEMĚDĚLSTVÍ. In: *Eagri* [online]. 2009 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: https://eagri.cz/public/portal/-a35386---t2QOTO55/publikace-precizni-zemedelstvi?_linka=a545584
- [15] HLAVNÍ, Aleš. Lekce 12 - Raspberry Pi - Senzor vlhkosti půdy. In: *Itnetwork* [online]. 2024 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/hardware-pc/raspberry-pi/raspberry-pi-senzor-vlhkosti-pudy>
- [16] Půdní vlhkoměr - náhradní sonda. In: *Dratek* [online]. 2024 [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/826-pudni-vlhkometer-nahradni-sonda.html>
- [17] IoT pro zvýšení bezpečnosti: zaměřeno na obce a zemědělství. In: *Lupa* [online]. 2024, 1997-2024 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/pr-clanky/iot-pro-zvyseni-bezpecnosti-zamereno-na-obce-a-zemedelstvi/>
- [18] ASAIR senzor teploty a vlhkosti vzduchu DHT11. In: *Laskati* [online]. 2023 [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/arduino-senzor-teploty-a-vlhkosti-vzduchu-dht11/>
- [19] , Lukas V. a Neudert L. Sensorové měření porostů zemědělských plodin pro variabilní aplikaci hnojiv a pesticidů. In: *Mendelu* [online]. 2016 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_217_multitext/metodiky_pro_praxi/Methodika_Senzorove_mereni_2016.pdf
- [20] DRON DJI MAVIC 3M. In: *W-technika* [online]. 2024 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://www.w-technika.cz/dron-dji-mavic-3m.html>
- [21] DRON DJI MAVIC 3M. In: *W-technik* [online]. 2023 [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.w-technika.cz/dron-dji-mavic-3m.html>
- [22] Senzory pro měření půdních vlastností. In: *Profipress* [online]. 2012 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://zemedelec.cz/senzory-pro-mereni-pudnich-vlastnosti/>
- [23] JEŽKOVÁ, Alena. Chytré technologie pro precizní chov dojníc. In: *Trvaleudržitelnézemedelstvi* [online]. 2024, 2022-2024 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://trvaleudrzitelnézemedelstvi.cz/clanky/chytre-technologie-v-chovu-dojnic-pro-precizni-zemedelstvi/>
- [24] Detektor říje MOOCALL HEAT. *ALM* [online]. 2024 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://www.almcentrum.cz/detektor-rije-moocall-heat>
- [25] Detektor říje MOOCALL HEAT. In: *Almcentrum* [online]. 2023 [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.almcentrum.cz/detektor-rije-moocall-heat>
- [26] KREJČÍKOVÁ, Hana. Monitorovací systémy. In: *Forstacademy* [online]. 2021 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <http://www.forstacademy.cz/skot/monitorovaci-systemy/>
- [27] JEŽKOVÁ, Alena. Zdravé vemeno dojníc na základě dat. In: *Náš chov* [online]. 2022 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://naschov.cz/zdrave-vemeno-dojnic-na-zaklade-dat/>
- [28] Šlechtění. *Chov skotu* [online]. 2019, **16**(5), 1-30 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: https://assets.crv4all.com/prod/08-PDF-xls/magazines/ChS_2019-12.pdf
- [29] DJI Mavic 3M je nový multispektrální dron pro zemědělství a ochranu přírody. In: *Itrevue* [online]. 2023 [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.itrevue.cz/dji-mavic-3m-je-novy-multispektralni-dron-pro-zemedelstvi-a-ochranu-prirody/>

- [30] , IT Reveu. DJI Mavic 3M je nový multispektrální dron pro zemědělství a ochranu přírody. In: *Itrevue* [online]. 2024, 2008-2024 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://www.itrevue.cz/dji-mavic-3m-je-novy-multispektralni-dron-pro-zemedelstvi-a-ochranu-prirody/>
- [31] Maximalizuje vaši zemědělskou produkci. In: *Agroscan* [online]. 2023 [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://agroscan.cz/drony/dji-agras-t30>
- [32] , Ing. Martina Poláková; Spolek pro inovace a udržitelné zemědělství, z.s. Precizní zemědělství a cílené aplikace postřiků v praxi SIUZ. In: *Agromanual* [online]. 2020 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/precizni-zemedelstvi/precizni-zemedelstvi-a-cilene-aplikace-postriku-v-praxi-siuz>
- [33] , Pavel. Report z terénu: Gigant DJI Agras T30 a drony pro precizní zemědělství se předvedly u hradu Hazmburk. In: *Dronpro* [online]. 2024, 2016-2024 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://dronpro.cz/report-z-terenu-gigant-dji-agras-t30-a-drony-pro-precizni-zemedelstvi-se-predvedly-u-hradu-hazmburk>
- [34] Využití dronů v oblasti precizního zemědělství. In: *Inspektra* [online]. 2024 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://inspektra.cz/letecka-data-pro-precizni-zemedelstvi-a-lesnictvi-dronem/>
- [35] SKIPALOVÁ, Adéla. EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ BIOLOGICKÉHO OŽIVENÍ VODY Z MULTISPEKTRÁLNÍCH DAT. In: *Geoinformatics.upol* [online]. 2023 [cit. 2024-02-24]. Dostupné z: http://www.geoinformatics.upol.cz/dprace/bakalarske/skipalova13/text_prace/skipalova_BP.pdf
- [36] Využití NDVI. In: *Voxcafe* [online]. 2024 [cit. 2024-02-24]. Dostupné z: <https://www.voxcafe.cz/mindblog/clanky/drony/vyuziti-ndvi.html>
- [37] Využití NDVI. In: *Mind blog* [online]. 2023 [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.voxcafe.cz/mindblog/clanky/drony/vyuziti-ndvi.html>
- [38] NDVI: Normalized Difference Vegetation Index. In: *Eos data analytics* [online]. 2024 [cit. 2024-02-24]. Dostupné z: <https://eos.com/make-an-analysis/ndvi/>
- [39] What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)? In: *Gisgeography* [online]. 2023 [cit. 2024-02-24]. Dostupné z: <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/>
- [40] Normalized difference vegetation index. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2024, 2001-2024 [cit. 2024-02-24]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Normalized_difference_vegetation_index
- [41] DJI AGRAS™ T30 Maximalizuje vaši zemědělskou produkci. In: *Agroscan* [online]. 2024 [cit. 2024-02-24]. Dostupné z: <https://agroscan.cz/drony/dji-agras-t30>
- [42] YOUTUBE. *DJI Agras T40 Introduction and Tutorial (Part 2)* [video]. 2022 [cit. 2024-02-24]. Dostupné z: <https://www.voxcafe.cz/mindblog/clanky/drony/vyuziti-ndvi.html>
- [43] Report z terénu: Gigant DJI Agras T30 a drony pro precizní zemědělství se předvedly u hradu Hazmburk. In: *Dronpro* [online]. 2023 [cit. 2024-02-24]. Dostupné z: <https://dronpro.cz/report-z-terenu-gigant-dji-agras-t30-a-drony-pro-precizni-zemedelstvi-se-predvedly-u-hradu-hazmburk>

- [44] *Cleverfarm* [online]. 2023 [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.cleverfarm.ag/cs/senzory/pudni-senzor-absorb>
- [45] *Agdata* [online]. 2023 [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://agdata.ag>

8 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk

8.1 Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 Představa možností chytrého zemědělství v budoucnosti[1]..... | 12 |
| Obrázek 2 Senzor vlhkosti vzduchu[16] | 19 |
| Obrázek 3 Senzor pro měření teploty a vlhkosti vzduchu DHT11[18] | 20 |
| Obrázek 4 Multispektrální kamera dronu DJI Mavic 3M[21] | 20 |
| Obrázek 5 Obojek pro krávy MOOCALL HEAT[25][24] | 22 |
| Obrázek 6 DJI Mavic 3M[29] | 24 |
| Obrázek 7 DJI Agras T30[31]..... | 25 |
| Obrázek 8 Ukázka barevného spektra[35] | 26 |
| Obrázek 9 Vzorec pro výpočet hodnoty NDVI[36][37] | 28 |
| Obrázek 10 Hodnoty NDVI od -1 do 1, přičemž -1 je zobrazeno jako červené a 1 je zelené.[36][37] | 28 |
| Obrázek 11 Mapa NDVI blízké pole (vlevo) jsou vytvořeny z kombinace snímků RGB (vpravo nahoře) a NIR (vpravo dole). Mapy NDVI zobrazují zdraví plodin a vegetace.[36][37] | 29 |
| Obrázek 12 Graf práce provedena dronem VS člověkem[42]..... | 30 |
| Obrázek 13 ESP32 a popis jednotlivých pinů..... | 35 |
| Obrázek 14 Ukázka aplikace Arduino IDE..... | 36 |
| Obrázek 15 Struktura databáze | 39 |
| Obrázek 16 Kód pro připojení k Wifi a Databázi (vlastní zpracování) | 41 |
| Obrázek 17 Ukázka kódu pro BMP280 | 43 |
| Obrázek 18 Ukázka kódu pro senzor vlhkosti půdy | 45 |
| Obrázek 19 Ukázka kódu pro ovládání 2-kanálového relé | 46 |
| Obrázek 20 Ukázka kódu pro senzor KY-018 | 47 |
| Obrázek 21 Ukázka kódu pro práci s MQ-135 | 49 |
| Obrázek 22 Prototyp zapojení ESP32 se senzory | 50 |
| Obrázek 23 Služba MIT APP inventor | 51 |
| Obrázek 24 UI aplikace..... | 52 |
| Obrázek 25 Ukázka kódu a jak se programuje v MIT APP inventor | 53 |

8.2 Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 Vlastnosti komunikačních protokolů | 16 |
| Tabulka 2 Seznam použitých komponentů | 55 |
| Tabulka 3 Technické specifikace METEO PRO II..... | 56 |

Přílohy

Firestore.aia

ESP32_vlhkostpudy.ino

ESP32_svetlo.ino

ESP32_rele.ino

ESP32_MQ-135.ino

ESP32_BME280.ino