

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра комп'ютерної інженерії та кібербезпеки

(повне найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

СИСТЕМА ПОЛИВУ МІКРОГРІН НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА
MICROGREEN WATERING SYSTEM BASED ON A
MICROCONTROLLER.

спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти

групи КІсз-21

Макарчук Дмитро Романович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Поліщук Микола Миколайович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

« 15 » червня 2024 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Лавренчук Світлана Василівна

(підпис)

Луцьк – 2024 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та кібербезпеки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 12 Інформаційні технології

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

проф. Н.Черняшук

« 10 » 01 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Макарчуку Дмитру Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Система поливу мікрогрін на базі мікроконтролера

Керівник роботи к.т.н., доцент Поліщук Микола Миколайович

затверджені наказом закладу вищої освіти від «30» грудня 2023 року № 459/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 11.06.2024р.

3. Вихідні дані до роботи Джерелом розробки є науково-технічна література та публікації в періодичних виданнях з даного питання, опубліковані зарубіжні та вітчизняні роботи в даній області та різні інтернет-ресурси технічного спрямування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ

Аналіз предметної області

Огляд засобів та методик для систем поливу на основі мікроконтролерів

Розробка системи поливу мікрогрін в домашніх умовах на базі мікроконтролера

Висновки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Аналіз предметної області</i>	<i>Поліщук М.М., доцент</i>		
<i>Огляд засобів та методик для систем поливу на основі мікроконтролерів</i>	<i>Поліщук М.М., доцент</i>		
<i>Розробка системи поливу мікрогрін в домашніх умовах на базі мікроконтролера</i>	<i>Поліщук М.М., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Багнюк Н.В., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Лавренчук С.В., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>	_____ %		
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Міскевич О.І., асистент</i>		

7. Дата видачі завдання 10.01.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розділ 1. Аналіз предметної області</i>	до 15.02.2024 р.	Виконано
2.	<i>Розділ 2. Огляд засобів та методик для систем поливу на основі мікроконтролерів</i>	до 15.03.2024 р.	Виконано
3.	<i>Розділ 3. Розробка системи поливу мікрогрін в домашніх умовах на базі мікроконтролера</i>	до 04.05.2024 р.	Виконано
4.	<i>Висновки та пропозиції</i>	до 07.05.2025 р.	Виконано
5.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	до 10.05.2024 р.	Виконано
6.	<i>Формування додатків</i>	до 15.05.2024 р.	Виконано
7.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	до 20.05.2024 р.	Виконано
8.	<i>Нормоконтроль</i>	до 01.06.2024 р.	Виконано
9.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	до 04.06.2024 р.	Виконано
10.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	до 11.06.2024 р.	Виконано

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Макарчук Д.Р.

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Поліщук М.М.

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Макарчук Д. Р. Система поливу мікрогрін на базі мікроконтролера.
Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Комп'ютерна інженерія» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2024. 54 с.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

Перший розділ присвячено огляду предметної області, тут розглядаються корисні властивості мікрогрін, огляд існуючих рішень технології автоматичного поливу рослин та приклад гідропонної системи на основі IoT в домашніх умовах. В другому розділі здійснено вибір апаратного забезпечення розроблюваної системи та методику автоматизації поливу мікрогрін в домашніх умовах.

Третій розділ присвячено розробці системи, а саме складання та підключення системи поливу мікрогрін на базі мікроконтролера, програмування плати Keystudio 328 PLUS та випробування системи поливу в домашніх умовах.

Ключові слова: мікрогрін, система поливу, плата Keystudio 328 PLUS, мікроконтролер, вирощування, автоматизована система, ATMEGA328PB.

ANNOTATION

Makarchuk D. R. Microgreen watering system based on a microcontroller. Manuscript.

Bachelor's qualifying thesis of the OP «Computer Engineering» specialty 123 Computer Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2024. 54 p.

The qualification work consists of an introduction, three sections, conclusions, a list of used sources, and appendices.

The first section is dedicated to the overview of the subject area, here the useful properties of microgyn, an overview of existing solutions of automatic plant watering technology and an example of a hydroponic system based on IoT at home are considered. In the second section, the selection of the hardware of the developed system and the method of automating the watering of microgreens at home are made.

The third section is devoted to the development of the system, namely the assembly and connection of the microcontroller-based microgreen irrigation system, programming of the Keystudio 328 PLUS board and testing of the irrigation system at home.

Keywords: microgreen, irrigation system, Keystudio 328 PLUS board, microcontroller, cultivation, automated system, ATMEGA328PB.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	8
1.1 Корисні властивості мікрогін	8
1.2 Огляд існуючих рішень технології автоматичного поливу рослин.....	10
1.3 Проектування гідропонної системи на основі IoT в домашніх умовах	14
1.3.1 Системне обладнання	15
1.3.2 Брокер MQTT	17
1.3.3 Node-RED.....	18
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЗАСОБВ ТА МЕТОДИКИ ДЛЯ СИСТЕМ ПОЛИВУ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ	21
2.1 Вибір апаратного забезпечення розроблюваної системи поливу	21
2.2 Методика автоматизації системи поливу мікрогін в домашніх умовах...	26
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОЛИВУ МІКРОГІН В ДОМАШНІХ УМОВАХ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА.....	31
3.1 Складання та підключення системи поливу мікрогін на базі мікроконтролера.....	31
3.2 Програмування плати Keyestudio 328 PLUS системи поливу мікрогін ...	35
3.3 Випробування системи поливу.....	39
ВИСНОВКИ.....	44
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46
ДОДАТКИ.....	49

ВСТУП

Актуальність теми створення системи поливу мікрогрін в домашніх умовах на базі мікроконтролера зумовлена зростаючим інтересом до здорового харчування, технологічним прогресом, а також необхідністю ефективного та раціонального використання ресурсів. Така система не лише спрощує процес вирощування мікрогрину, але й сприяє популяризації автоматизації у повсякденному житті, підвищуючи комфорт та якість життя.

Метою роботи є створення системи поливу мікрогрін в домашніх умовах на базі мікроконтролера ATMEGA328PB та його програмування.

Об'єкт дослідження – система поливу мікрогрін в базі мікроконтролера ATMEGA328PB.

Предмет дослідження – автоматизований полив рослин на базі мікроконтролера.

Завдання, які необхідно виконати для того щоб досягти поставлену мету:

- Провести огляд існуючих рішень технології автоматичного поливу рослин. Провести аналіз методики автоматизації системи поливу мікрогрін в домашніх умовах.
- Запрограмувати плату Keyestudio 328 PLUS системи поливу мікрогрін.
- Провести випробування системи поливу мікрогрін в домашніх умовах.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Корисні властивості мікрогрін

Мікрогрін (мікрозелень) – це молоді овочеві рослини, які збирають і вживають у їжу, саме тоді, коли у них з’явилися перші листочки. Молоді овочі мають висоту від 2,5 см до 15 см і мають насичений ароматний смак з високою концентрацією поживних речовин, вітамінів і антиоксидантів, але це не є паростки [1].

Мікрогрін (рис. 1.1) складається з трьох основних частин: центрального стебла, сім’ядольного листа або листків і, як правило, першої пари дуже молодих справжніх листків. Вони відрізняються за розміром залежно від конкретного вирощуваного сорту, типовий розмір (2,8 см – морква – 10 см горох). Коли рослина виростає вище цього розміру, її, як правило, більше не вважають мікрозеленню, натомість її називають маленькою зеленню. Середній час збирання швидко зростаючих рослин, таких як овсяниця, становить 10-14 днів від посіву до збору врожаю.



Рисунок 1.1 – Мікрозелень гірчиці [2]

Споживання мікрозелені може бути багатим джерелом живлення та має потенціал для виробництва майже будь-де на планеті з мінімальними потребами в енергії.

Комерційне вирощування мікрозелені все частіше з'являється на місцевих ринках. Поведінка споживачів орієнтована на попит на якісну мікрозелень, де гарантований вміст поживних компонентів біомаси. Гарантована відтворювана якість культур із перевіреною кількістю контрольованих поживних компонентів за стандартизованих умов введення може бути досягнута лише на основі вимірювання, аналізу, обробки, перевірки та інтерпретації параметрів умов вирощування та вхідних елементів (насіння, субстрат для вирощування), вода, освітлення, кліматичні та часові умови вирощування).

Є багато лабораторій та підприємств, які займаються дослідженнями та розробкою систем для вертикального гідропонного вирощування мікрозелені. В таких системах мікрозелень росте на органічних, сертифікованих килимках, живиться лише чистою водою та використовуються високоякісні енергозберігаючі світильники (рис. 1.2). У рамках досліджень вони співпрацюють з університетами та науковими установами. Для прикладу лабораторія чеська лабораторія MoraviaLab бере участь у національних та міжнародних проектах з метою розвитку інноваційного сектору вертикального гідропонного вирощування рослин у Моравсько-Сілезькому регіоні. Метою та довгостроковим баченням MoraviaLab є створення концепції нової місцевої самодостатньої сталої форми виробництва продуктів харчування з високою харчовою цінністю [1].

Мікрогрін пропонує здоровий і природний спосіб включити поживні овочі в раціон населення. Мікрозелень багата поживними речовинами, є концентрованим джерелом вітамінів, мінералів і антиоксидантів. У порівнянні зі своїми дорослими побратимами вони містять до 40 разів більше вітамінів.

В умовах північної півкулі планети необхідно забезпечити продовольче самозабезпечення, і кімнатне вертикальне вирощування є інноваційним рішенням, яке поступово стає відомим вченим і широкому загалу.



Рисунок 1.2 – Використання енергозберігаючих світильників для вирощування мікрогрін [3]

Науково доведено, що після зривання/зрізання деяких видів мікрозелені вітамін С знижується до 90% протягом короткого часу (приблизно протягом 24 годин). Завдяки інноваційному методу вирощування та технології виробництва (без добрив, пестицидів та хімікатів), мікрозелень при правильному зберіганні зберігає свіжість до 7 днів. Існуючі системи для вирощування мікрозелені є енергоефективними, прості в експлуатації, з їх використанням можна досягти високої врожайності якісної мікрозелені з високою харчовою цінністю.

Вирощування мікрозеленого бізнесу стало привабливим підприємством у сучасному сільськогосподарському ландшафті. Ці мініатюрні рослини з їх насиченим смаком і поживними властивостями зайняли собі нішу серед кухарів, любителів їжі та людей, які піклуються про своє здоров'я. Однак процес вирощування мікрозелені виходить за рамки простого посіву насіння; мова йде про розвиток стосунків, стратегій і здатності до адаптації [1-3].

1.2 Огляд існуючих рішень технології автоматичного поливу рослин

У системах автоматичного поливу рослин необхідна інформація про вологість ґрунту. Датчики – це пристрої, які використовуються для розумного

сільського господарства. «Параметри навколишнього середовища в режимі реального часу, такі як температура навколишнього середовища, рівень вологості ґрунту та рівень води в резервуарах, значно впливають на продовження життєвого циклу рослин» [4]. Датчик вологості ґрунту – це датчик, який може вимірювати вміст води та вологість ґрунту.

Саїд Мустхак Ахмед, Б. Ковела та Вініт Кумар Гунджан [5] використовують сонячну енергію в зрошувальних системах, які мають велике значення для сільськогосподарської продукції та органічних культур у географічно ізольованих місцях. Ця сонячна енергія допоможе там, де інвестиції в електропостачання будуть дорогими. Системи поливу також можуть бути адаптовані до різноманітних специфічних потреб культур і потребують лише мінімального обслуговування.

Дослідження [6] спрямовані на моніторинг даних і керування сільськогосподарськими системами за допомогою високоточної технології IoT. Використана система IoT – це Arduino та хмара для відстеження даних у реальному часі. Ця система зосереджується на коливаннях вологості, які пов'язуються з даними про зміну температури за допомогою датчиків, і може контролювати систему поливу. Щоб забезпечити систему хмарними обчисленнями, рівень точності підвищився відповідно до використання системи господарями.

Як показано на рисунку 1.3, усі операції системи контролюються Arduino як моніторинг і керування. Arduino – це платформа прототипування з відкритим кодом. Arduino приймає вхідні дані та перетворює їх на послідовний вихід. Блоки, підключені до Arduino, це блок живлення, спринклерний блок, датчики температури, рН, блок датчиків вологості, блок Wi-Fi. Arduino буде отримувати живлення від джерела живлення і збирати дані про температуру, рН і вологість із блоку датчика.

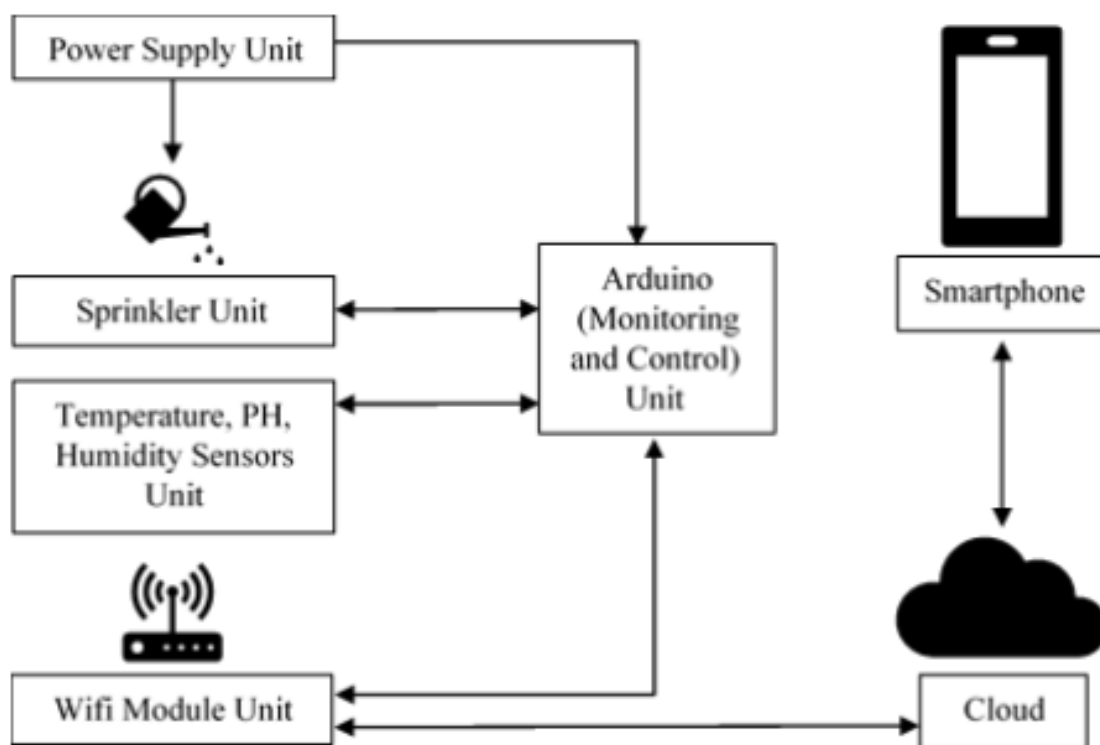


Рисунок 1.3 – Архітектура системи моніторингу та управління системою поливу [6]

Цей процес компілюється Arduino Uno Board і стає основним контролем. Об'єм води в ґрунті вимірюється датчиком вологості ґрунту, що складається з 2-х зондів. Ці зонди пропускають електричний струм через землю та вимірюють рівень вологості ґрунту на основі його опору. Коли більше води, ґрунт проводить більше електрики та створює менший опір, тому його вологість стає високою. І навпаки, коли води менше, земля проводить мало електроенергії, щоб знизити вологість ґрунту.

На рисунку 1.4 показана блок-схема проектування даної системи. Джерело живлення ввімкнене та ініціалізує з'єднання з платою Arduino. Після ініціалізації встановлюється зв'язок із модулем Wi-Fi (аутентифікація потрібна для з'єднань із датчиками). Система періодично перевірятиме рівень вологості ґрунту та повторюватиме кроки, показані на рисунку 1.4.

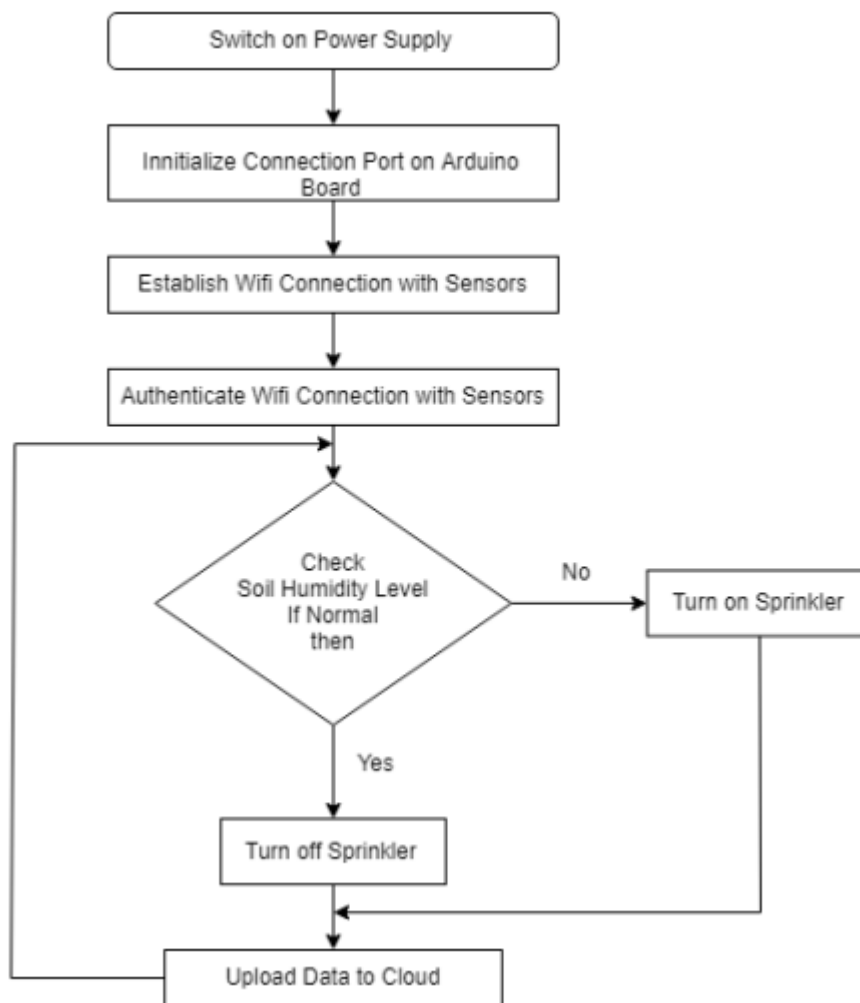


Рисунок 1.4 – Блок-схема системи зрошення [6]

Інтерфейси користувача відображаються на смартфоні, наприклад, на рисунку 1.5, відображається інформація про температуру, вологість, рН ґрунту та світло, а також щоденні статистичні графіки температури. На домашній сторінці також є кнопка для активації спринклера. Користувачі можуть самостійно налаштувати автоматичний водяний спринклер з певною вологістю та регулювати час поливу. Запропонована розробка полягає в додаванні до смартфонів інтерфейсного додатка для контролю та моніторингу систем поливу рослин. Запропонована конструкція спрямована на полив рослин в домашніх умовах та невеликих масштабах за низьких витрат. Компонент підключається через смартфон як інтерфейс (рис. 1.5). Датчик закопується в землю і надсилатиме інформацію про рівень вологості ґрунту. Після того, як ґрунт досягне потрібного рівня вологості, він вимкнеться. Спринклер

включається, коли рівень вологості землі нижче середнього – відстежувана та контрольована інформація передається на смартфон через Wi-Fi модуль.

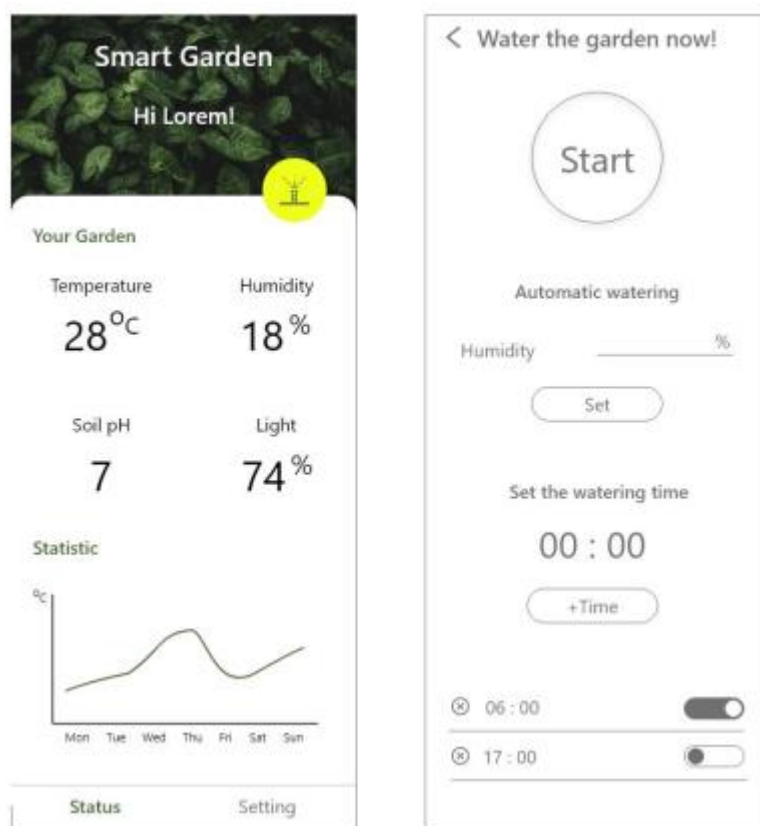


Рисунок 1.5 – Дизайн інтерфейсу користувача [7]

1.3 Проектування гідропонної системи на основі IoT в домашніх умовах

Гідропоніка – це технологія вирощування рослин із використанням поживного розчину на водній основі, а не ґрунту. «Гідропонні системи виробництва використовуються дрібними фермерами, а також любителями вирощування мікроґрину в домашніх умовах» [8].

Використання гідропонних систем у децентралізованому виробництві харчових продуктів для малого та середнього масштабу впливає на місцеву економіку, що може створити нові робочі місця або прибутковий бізнес.

Гідропонна система на основі IoT складається з п'яти основних компонентів, тобто сенсорного вузла, приводів, контролера, брокера MQTT і

хмарного сервера, як показано на рисунку 1.6. Вони підключені та обмінюються даними через брокера MQTT.

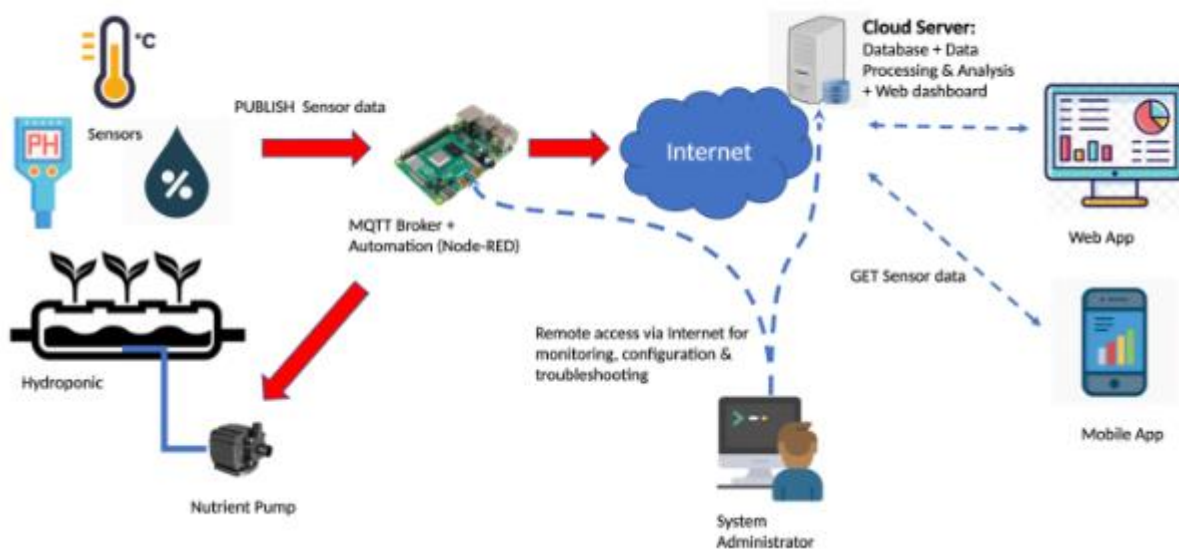


Рисунок 1.6 – Архітектура гідропонної системи на основі IoT [9]

MongoDB, база даних NoSQL, налаштована на хмарному сервері для зберігання даних датчиків, переданих брокером MQTT через Інтернет. Дані датчиків, що зберігаються в MongoDB, можна обробляти та аналізувати для отримання цінної інформації та для використання в майбутньому.

1.3.1 Системне обладнання

Sensor Node складається з трьох датчиків, включаючи датчики температури, вологості (DHT11), потужності водню (pH) і загальної кількості розчинених твердих речовин (TDS). «DHT11 – це цифровий датчик для вимірювання температури та вологості повітря в системах гідропоніки» [10].

Апаратне забезпечення системи складається з блоку мікроконтролера (MCU), тобто Arduino Uno, одноплатного комп'ютера (SBC), тобто Raspberry pi 4, датчика pH, датчика TDS, датчика DHT11 (температури та вологості) та поживної речовини. Детальну інформацію про технічні характеристики кожного компонента в робочому режимі можна побачити в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики комплектуючих в робочому режимі

Компоненти	Специфікація
Одноплатний комп'ютер	Raspberry pi 4 Model, 2GB RAM
Мікроконтролер	Arduino UNO: ATmega328P / NodeMCU ESP8266
Датчик TDS	Гравітаційний аналоговий датчик TDS
Датчик рН	Гравітаційний аналоговий датчик рН
Датчик температури та вологості	DHT11
Поживний насос	Міні-водяний насос
Погружний водяний насос	AMARA P-5200

На рисунку 1.7 показано апаратне забезпечення для маломасштабної гідропонної системи, де Raspberry Pi підключено до датчиків на Arduino через послідовний порт.

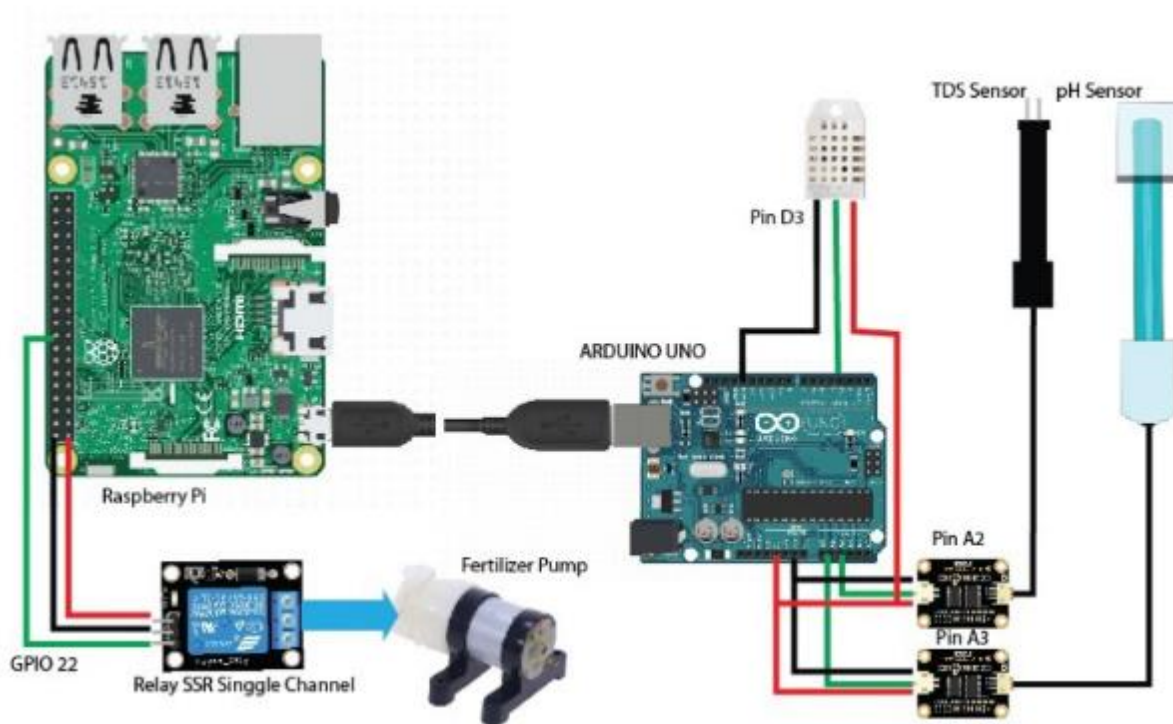


Рисунок 1.7 – Маломасштабна гідропонна система з підтримкою IoT [11]

На рисунку 1.8 показано апаратне забезпечення для середньомасштабної гідропонної системи, де зв'язок між декількома сенсорними вузлами і посередником MQTT вимагає бездротового зв'язку. На разі використано NodeMCU ESP8266, невеликий мікроконтролер із вбудованим модулем Wi-Fi, підключеним до Arduino, для встановлення бездротового зв'язку між сенсорним вузлом і брокером MQTT.

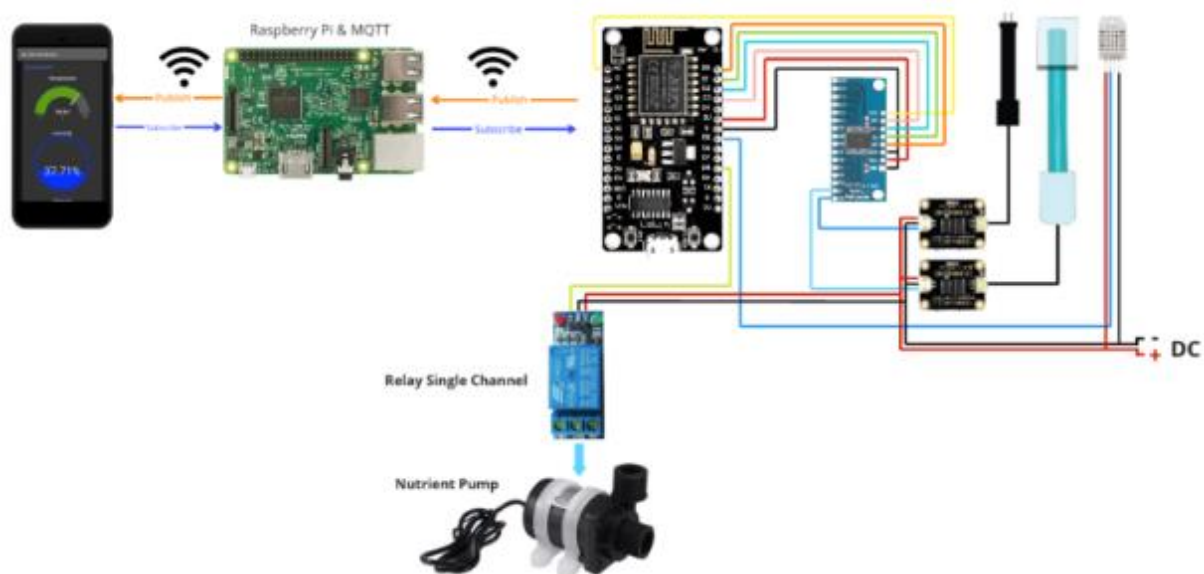


Рисунок 1.8 – Гідропонна система середнього масштабу з підтримкою IoT [11]

1.3.2 Брокер MQTT

«MQTT – це легкий і ефективний протокол обміну повідомленнями, який підходить для мереж IoT» [12]. Легкі характеристики MQTT гарантують безперебійну передачу даних із мінімальним використанням пропускної здатності та зменшують навантаження на ЦП та оперативну пам'ять. Переваги застосування брокера MQTT в мережах IoT середнього масштабу розглянемо на рисунку 1.9.

MQTT забезпечує три рівні якості обслуговування (QoS):

– QoS 0 (не більше одного разу) забезпечує найнижчий рівень надійності.

У QoS 0 повідомлення доставляються один раз, але немає гарантії доставки;

- QoS 1 (принаймні один раз) забезпечує доставку повідомлень принаймні один раз, але можуть бути дублікати. Коли видавець надсилає повідомлення на QoS 1, це буде підтверджено;
- QoS 2 (точно один раз): QoS 2 гарантує доставку повідомлень рівно один раз. Це забезпечує найвищий рівень надійності, але також створює додаткові витрати з точки зору обробки та мережевого трафіку.

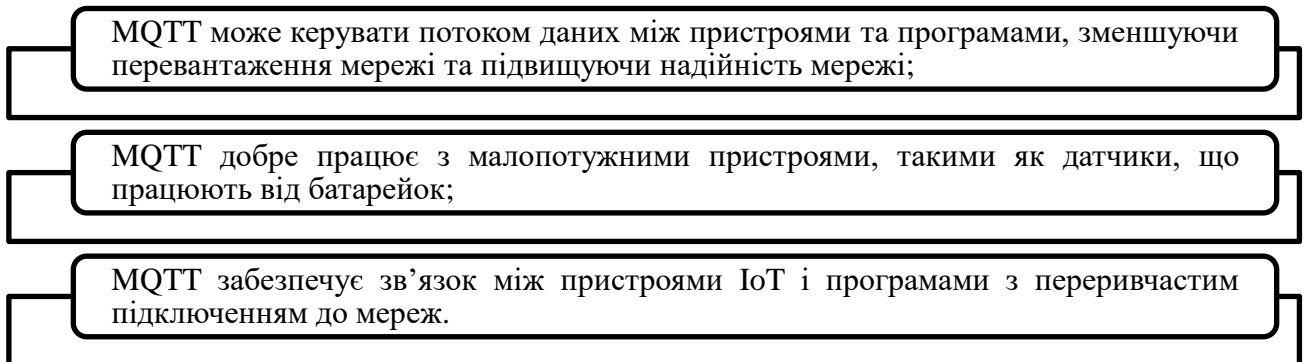


Рисунок 1.9 – Переваги застосування брокера MQTT в мережах IoT середнього масштабу

1.3.3 Node-RED

Node-RED [13] використовується для малювання робочого процесу сценарію IoT. Це веб-інструмент візуалізації для створення сценаріїв IoT шляхом підключення пристроїв і служб IoT. Node-RED працює на Raspberry pi та захищений автентифікацією користувача для доступу та зміни блок-схеми для запобігання зловмисному доступу. Крім того, відкриваються лише вибрані порти, необхідні для використання програми, а решта закриті для підвищення безпеки.

На рисунках 1.10 і 1.11 показано блок-схему Node-Red для маломасштабних і середньомасштабних сценаріїв IoT відповідно. Різниця в діаграмах цих двох сценаріїв полягає лише в методі зв'язку між сенсорними вузлами та Raspberry pi як посередником. У середньомасштабному сценарії вузол датчика надсилає дані датчика на Raspberry pi (брокер MQTT) через бездротову

мережу. Кожна блок-схема складається з двох функцій, тобто функції розділення даних і функції TDS Condition.

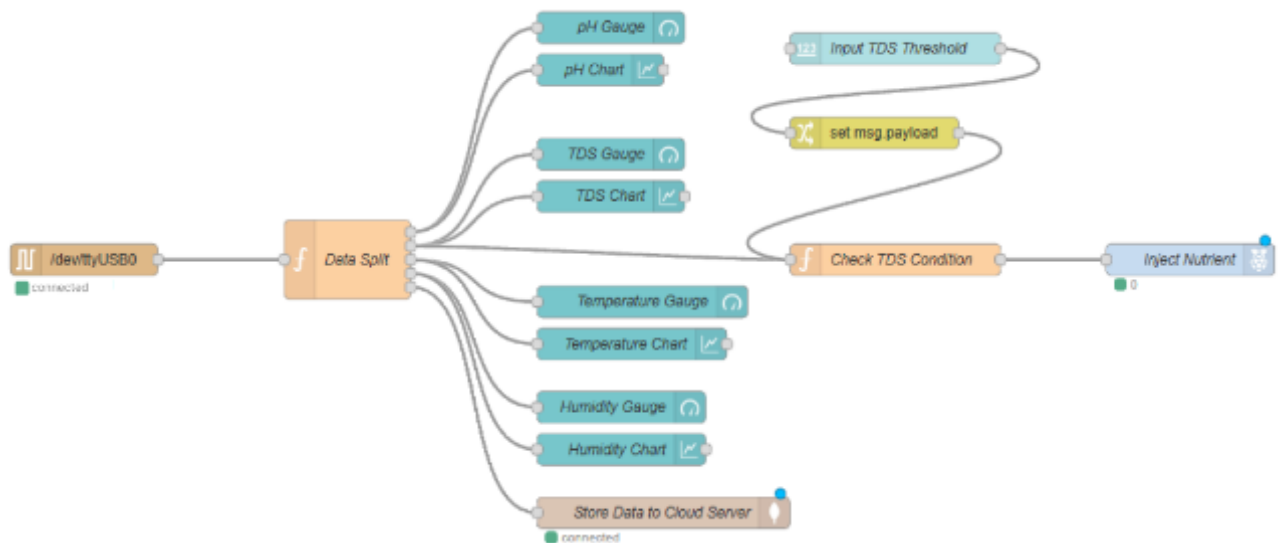


Рисунок 1.10 – Блок-схема Node-Red для маломасштабних сценаріїв IoT [14]

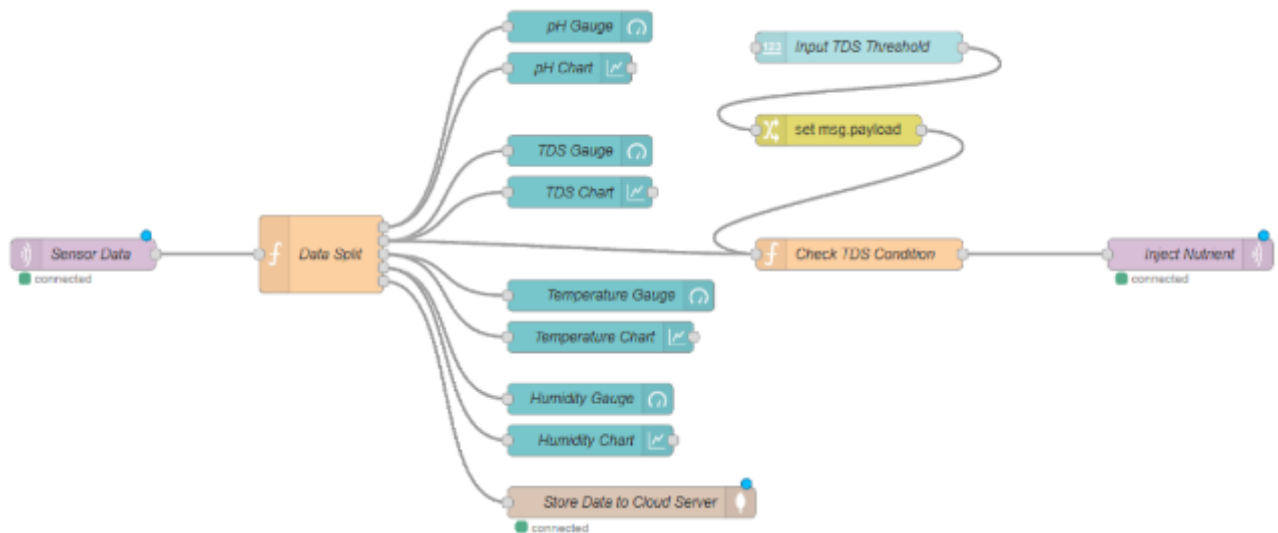


Рисунок 1.11 – Блок-схема Node-Red для середньомасштабних сценаріїв IoT

[14]

В результаті створено систему внутрішнього гідропонічного землеробства з підтримкою Інтернету речей, як показано на рисунку 1.12.



Рисунок 1.12 – Узел датчика [14]

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД ЗАСОБВ ТА МЕТОДИКИ ДЛЯ СИСТЕМ ПОЛИВУ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ

2.1 Вибір апаратного забезпечення розроблюваної системи поливу

Для реалізацій системи поливу мікрогрін першочергово потрібно визначитись з компонентами системи для поливу, а саме буде використано:

1. Плата керування Keystudio 328 PLUS (рис. 2.1), яка повністю сумісна із середовищем розробки Arduino IDE.

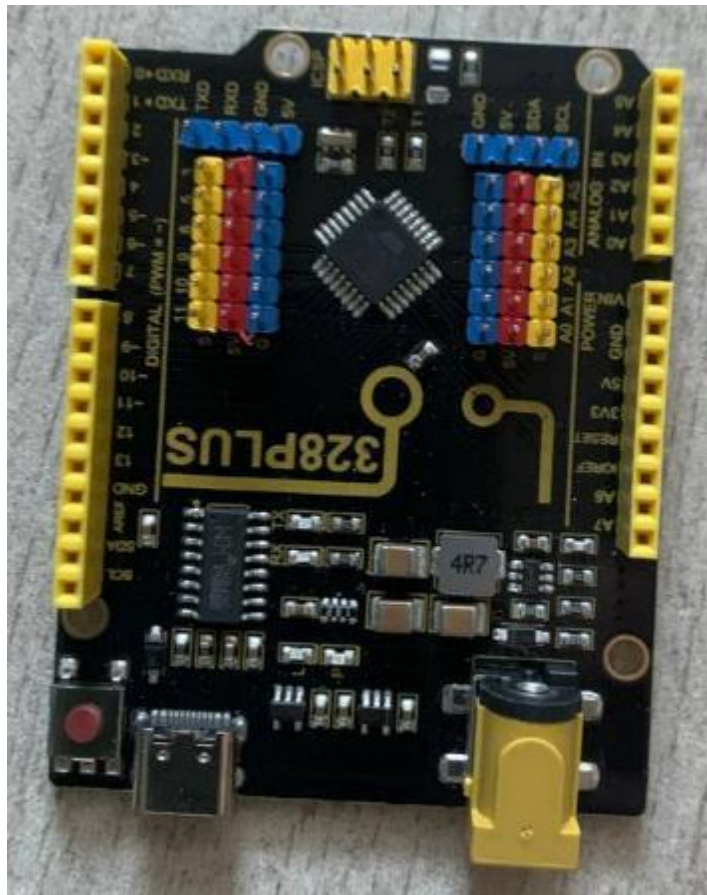


Рисунок 2.1 – Плата керування Keystudio 328 PLUS

Вона подібна до плати Arduino UNO R3, але має в собі деякі вдосконалення, які, значно посилюють його функції. Специфікація до плати Keystudio 328 PLUS представлено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Специфікація до плати Keystudio 328 PLUS

Параметри	Характеристики
Вид мікроконтролера	ATMEGA328PB
USB до послідовного чіпа	CH340C
Робоча напруга:	5 В
Зовнішнє живлення	DC 6-15 В (рекомендовано 9 В)
Цифрові входи/виводи	14 (D0-D13)
Канал ШІМ	6 (D3 D5 D6 D9 D10 D11)
Аналоговий вхідний канал (ADC)	8 (A0-A7)
Кожен порт вводу/виводу має вихідний струм постійного струму:	10 мА
Вихідна здатність порту 3,3 В:	max 150 мА
Флеш-пам'ять:	32 КБ (з яких 0,5 КБ використовується завантажувачем)
SRAM	2 КБ (ATMEGA328PB)
EEPROM	1 КБ (ATMEGA328PB)
Тактова частота	16 МГц
Вбудований світлодіодний контакт	D13

Джерело: [15]

2. Ємнісний датчик вологості ґрунту SVG – це пристрій, призначений для вимірювання вологості ґрунту на основі змін ємності між його електродами, фото представлено на рисунку 2.2. Основний принцип роботи такого датчика полягає у вимірюванні діелектричної проникності ґрунту, яка змінюється залежно від його вологості. Ємнісний датчик вологості ґрунту складається з двох електродів, які утворюють конденсатор. Між електродами знаходиться ґрунт, який виступає в ролі діелектрика. Коли вологість ґрунту змінюється, змінюється й діелектрична проникність матеріалу між електродами, що впливає на загальну ємність конденсатора. Ці зміни ємності можуть бути виміряні і використані для визначення рівня вологості ґрунту.



Рисунок 2.2 – Ємнісний датчик вологості ґрунту SVG

3. Модуль реле на 4 канали (рис. 2.3) – це електронний пристрій, який дозволяє керувати чотирма окремими реле за допомогою мікроконтролера або іншого керуючого пристрою. Кожне реле може вмикати або вимикати зовнішні електричні пристрої, що працюють на змінному або постійному струмі. Кожен канал має своє реле, яке складається з електромагнітного комутатора, здатного переключати високовольтні та високоструміві ланцюги. Підключення до мікроконтролера відбувається через цифрові виходи, які подають сигнал на керування реле. Модуль потребує живлення для роботи реле та інтерфейсу керування, зазвичай 5 В або 12 В постійного струму. Оптори для електричної ізоляції керуючих сигналів від високовольтної частини для захисту мікроконтролера та безпеки системи. Кожне з чотирьох реле може керувати окремою електричною ланкою. Підключення цифрових виходів мікроконтролера до відповідних входів на модулі реле. Керування здійснюється шляхом подачі логічного рівня (високого або низького) на ці входи.



Рисунок 2.3 – 4-канальний модуль реле

4. Дисплей I2C1602 LCD (рис. 2.4) – це рідкокристалічний дисплей (LCD) з роздільною здатністю 16 символів у 2 рядках, який використовує інтерфейс I2C для спрощення підключення до мікроконтролерів та зменшення кількості необхідних виводів. Він є потужним і зручним інструментом для відображення текстової інформації в мікроконтролерних проектах. Завдяки використанню I2C інтерфейсу, він значно спрощує процес підключення та програмування, роблячи його ідеальним вибором для широкого спектра застосувань у робототехніці, автоматизації та інших електронних системах.

5. Водяний погрузний насос помпа (рис. 2.5) – це невеликий електричний насос, призначений для перекачування води або інших рідин у різних проектах з мікроконтролерами, зокрема Arduino. Такі насоси зазвичай використовуються в системах автоматизованого поливу, фонтанах, акваріумах, проектах з охолодження та інших подібних застосуваннях.



Рисунок 2.4 – Рідкокристалічний дисплей I2C1602



Рисунок 2.5 – Водяний погрузний насос помпа

6. Силіковані трубки для поливу (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Силікоана трубка для води

2.2 Методика автоматизації системи поливу мікрогрін в домашніх умовах

Завдяки системі автоматичного керування та мікроконтролеру, вирощування мікрогрину в домашніх умовах більше не потребує ручної праці та може економити час, уникаючи необхідності щоденного ручного керування.

Існує багато факторів, які можуть впливати на вирощування рослин, в тому числі вологість середовища вирощування, температура повітря та інше. Дедалі популярнішим прикладом культивування рослин є мікрозелень – рослини, зібрані протягом 7-14 днів після посадки.

Різноманітні методи, включаючи методи штучного інтелекту, такі як мережі штучних термінів, нечітка логіка і генетичні алгоритми, можуть бути використані як методи автоматичного проектування зрошення.

В дослідженні [16] про зрошення на основі Інтернету речей, виявлено, що системи зменшують використання води до 40 %, зберігаючи або покращуючи врожайність.

Останніми роками вирощування мікрозелені в домашніх умовах набуло популярності завдяки її поживним властивостям і простоті вирощування. Однак їх ріст чутливий до умов навколишнього середовища та вимагає регулярного моніторингу, що може зайняти багато часу та бути складним для домашніх садівників. Щоб вирішити цю проблему, вчені пропонують рішення у вигляді

«розумного пророщувача мікрозелені» на основі Інтернету речей, який може «автоматизувати управління кліматичними параметрами та увімкнути дистанційне керування (моніторинг мікрозелені) через веб-панель» [17]. Ця система розміщена в структурі теплиці, яка пропонує ідеальне середовище для оптимального росту та може допомогти подолати труднощі вирощування в кімнатних умовах.

Запропонована система на основі Інтернету речей пропонує кілька переваг для вирощування мікрозелені, зокрема, моніторинг кліматичних параметрів в реальному часі, таких як температура, вологість і світло, які можуть забезпечити оптимальні умови для росту [18]. Система також забезпечує захист рослин шляхом моніторингу та контролю факторів, які можуть вплинути на здоров'я рослин, таких як шкідники та хвороби.

Система використовує датчики, елементи керування, мікроконтролер і модуль Wi-Fi для підключення до хмарної інформаційної системи. Мікроконтролер надсилає дані в хмарну систему, де вони зберігаються в базі даних. Потім дані можна переглянути на веб-сайті для подальшого аналізу.

Простіше кажучи, система автоматично збирає дані та вносить корективи на основі цих даних для контролю середовища для посадки. Зібрані дані в основному призначені для досліджень або майбутніх удосконалень системи, але їх також можна використовувати для ручного коригування, якщо це необхідно. Змінні керування регулюються автоматично за допомогою запрограмованої логіки в мікроконтролерах.

На дні ящика для вирощування буде вода і водяний насос для управління її кількістю. Додатково будуть встановлені датчики для моніторингу та контролю вологості, а також рівня вологості в системі, які будуть підключені до різних приводів.

Покрокові елементи, які включає в себе розробка обладнання представимо на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Елементи для розробки обладнання системи поливу мікрогрін

Коробка, в якій буде розміщена система IoT, що складається з мікроконтролера, модуля Wi-Fi, різні датчики, виконавчі механізми та інші необхідні електронні компоненти.

Для початку процедура передбачає розміщення насіння в лотку, а потім розміщення лотка в контейнері, що містить датчик, який визначає вологість ґрунту. Датчик використовується, щоб визначити, чи достатньо вологий ґрунт для підтримки росту насіння. Якщо ґрунт занадто сухий, вмикається двигун і розбризкує воду на рослини. Коли ґрунт стане достатньо вологим, двигун вимкнеться. Мікроконтролер – це невеликий комп'ютер, який слугуватиме «мозком» системи IoT, контролюючи та відстежуючи різні датчики.

Ріст рослин і рівень води в резервуарі вимірюються двічі на день за допомогою пари датчиків, а зібрані дані відображаються на приладовій панелі. Нечітка логіка використовує набір правил для керування системою поливу. На рисунку 2.8 представлена блок-схема дизайну IoT.

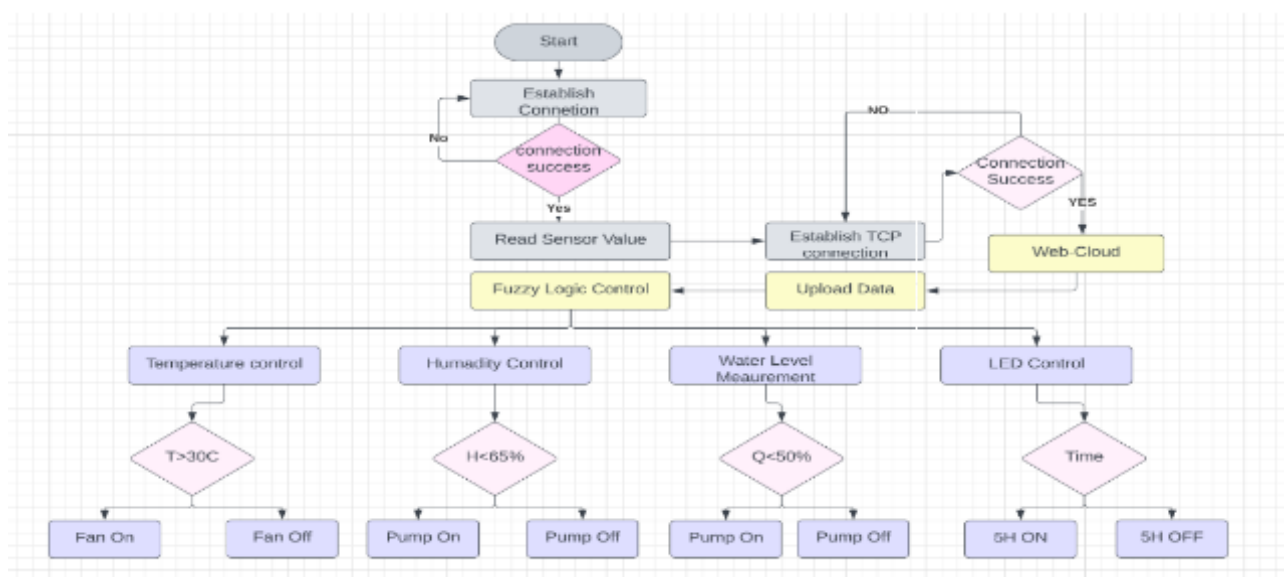


Рисунок 2.8 – Діаграма потоку даних [18]

Що стосується девайсів для вирощування мікрогрину, то ідея полягає в тому, щоб вирощувати мікрозелень у лотках, які стабільно зберігають вологе середовище для оптимального проростання.

Розробка програмного забезпечення буде розділена на дві частини:

- спрощення використовуваної мови;
- роблячи його доступним для місцевої аудиторії.

Складання програм автоматизації на мікроконтролері. На етапі проектування системи інформаційна модель, створена на етапі аналізу, перетворюється на модель, яка сумісна з технологією, яка використовується для реалізації системи. У контексті додатків IoT архітектуру системи можна розділити на три рівні: сенсорний, транспортний і прикладний рівень. Ця тривірнева структура особливо підходить для систем спостереження та контролю, і архітектура системи розроблена на основі цієї моделі. По суті, цей підхід передбачає розбиття системи на окремі рівні, які співпрацюють для досягнення запланованої функціональності. Система оснащена датчиками, які можуть вимірювати вологість ґрунту, що є важливим фактором для росту мікрозелені. Цей датчик підключений до бази даних, яка записує їх в реальному часі. Система здатна функціонувати на віддалених територіях, де здійснюється ручний моніторинг вологості ґрунту.

Блок-схему внутрішнього вертикального вирощування мікрогрин в домашніх умовах на основі IoT зображено на рисунку 2.9.

Інтерфейс мобільного додатка дозволить користувачам відстежувати стан рослин і керувати графіками поливу.

Отже, щоб дослідити оптимальні умови для вирощування мікрозелені, була застосована гідропонна система вирощування в контрольованому середовищі. Для поливу рослин, тоді як рівень вологи опускався нижче порогу, автоматично вмикався водяний насос. За рослинами спостерігали за допомогою ультразвукових датчиків.

Загалом ця система показує багатообіцяючі результати для ефективного та контрольованого вирощування мікрозелені, які можуть мати потенційне застосування в харчовій промисловості та сільському господарстві.

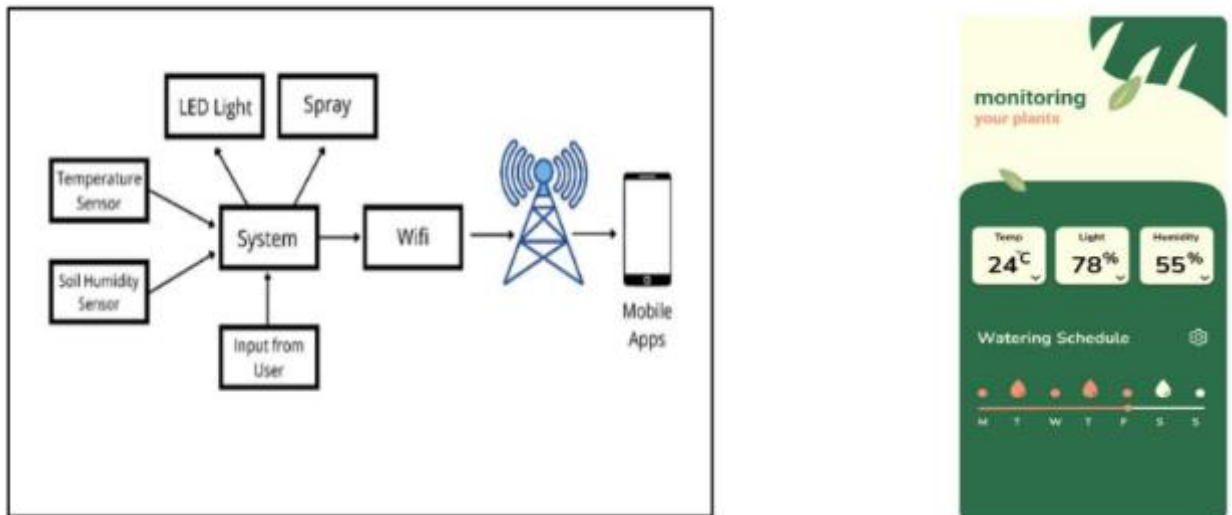


Рисунок 2.9 – Блок-схема внутрішнього вертикального вирощування мікрогрін та дизайн мобільного інтерфейсу [19]

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОЛИВУ МІКРОГРІН В ДОМАШНІХ УМОВАХ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА

3.1 Складання та підключення системи поливу мікрогрін на базі мікроконтролера

Після підготовки всі компонентів потрібно правильно підключити провoda згідно з схемою яка представлена на рисунку 3.1.

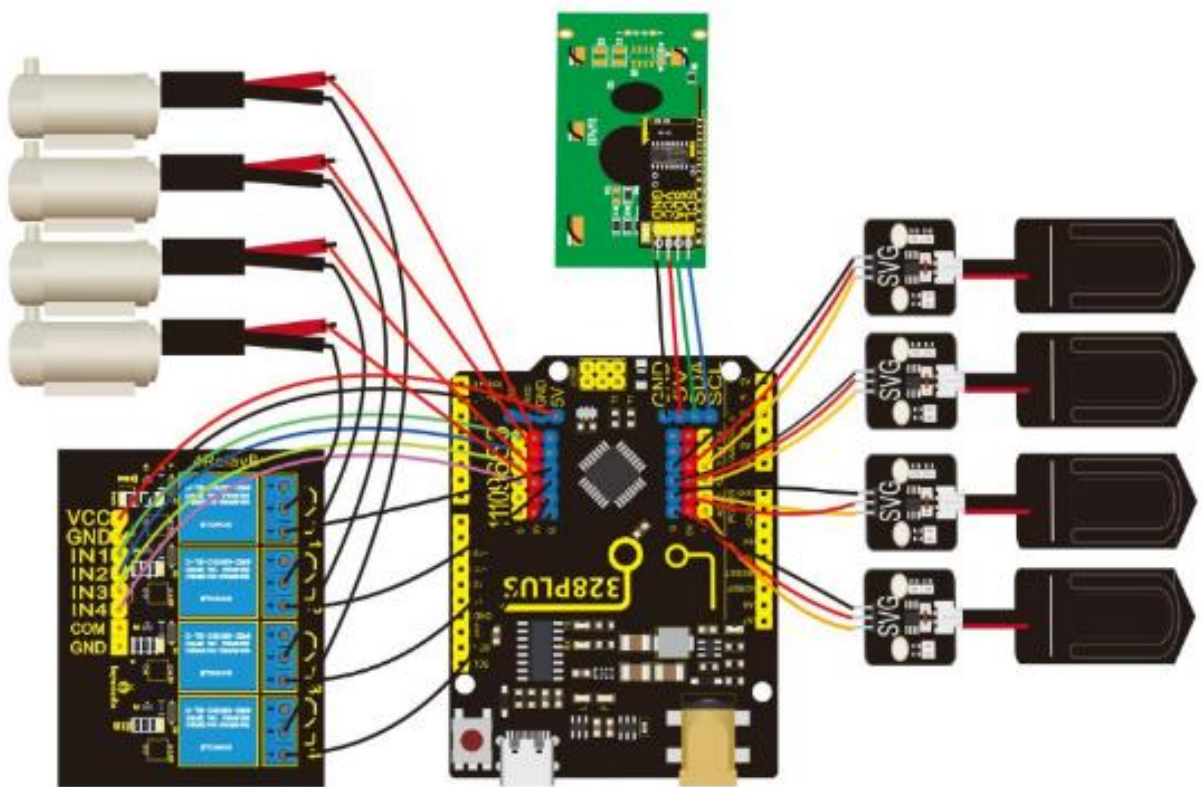


Рисунок 3.1 – Схема підключення системи поливу мікрогрін

Модуль реле на 4 канали приєднується до водяних погрузних насосів для керування подачі напруги до насосів, як на рисунку 3.2.

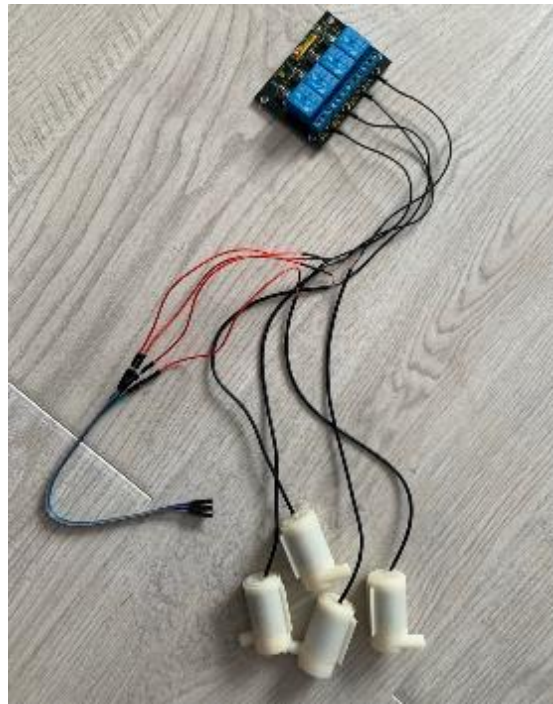


Рисунок 3.2 – З'єднання насосів до 4-ох каналного модуля реле

Для передачі даних з датчика вологості ґрунту SVG до плати керування Keyestudio 328 PLUS потрібно з'єднати їх проводами дюпонд, як представлено на рисунку 3.3.

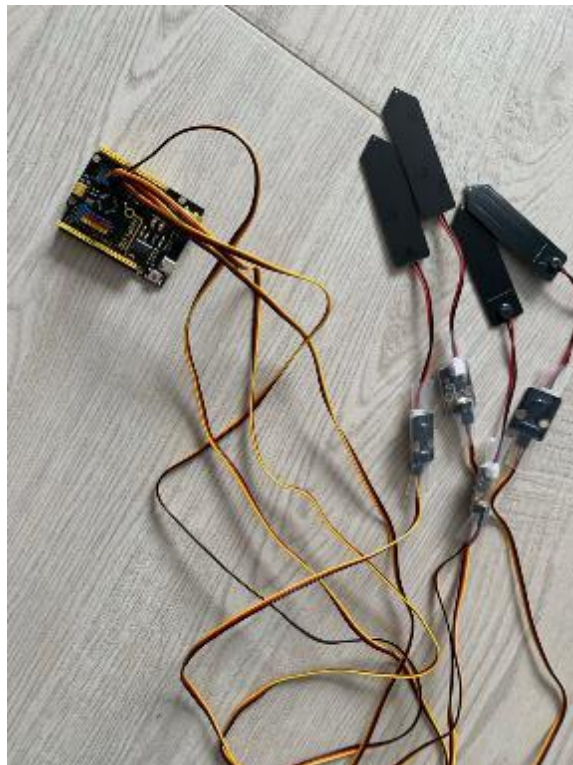


Рисунок 3.3 – З'єднання датчиків з платою керування

Далі потрібно приєднати LCD дисплей I2C1602 до плати керування керування Keyestudio 328 PLUS, як представлено на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – З'єднання плати керування з LCD дисплеєм

Далі з'єднується 4-канальний модуль реле з платою керування Keyestudio 328 PLUS (рис. 3.5).

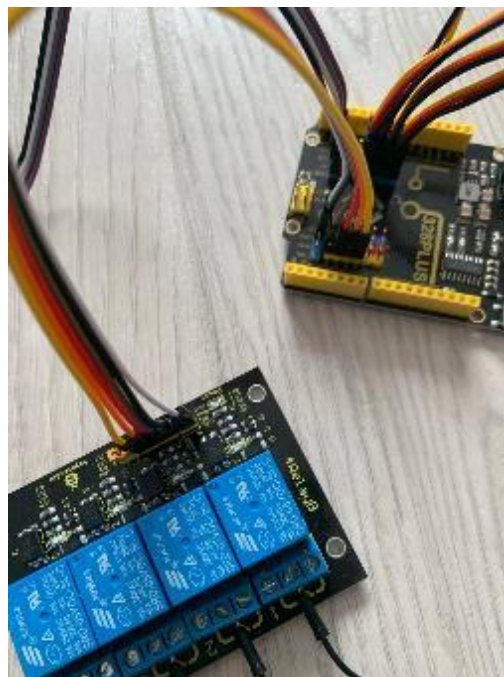


Рисунок 3.5 – З'єднання модуля реле з платою керування Keyestudio

Наступним кроком буде приєднання плати керування до водяних погрузних насосів, як нарисунку 3.6 для контролю об'ємів поливу мікрогрін.

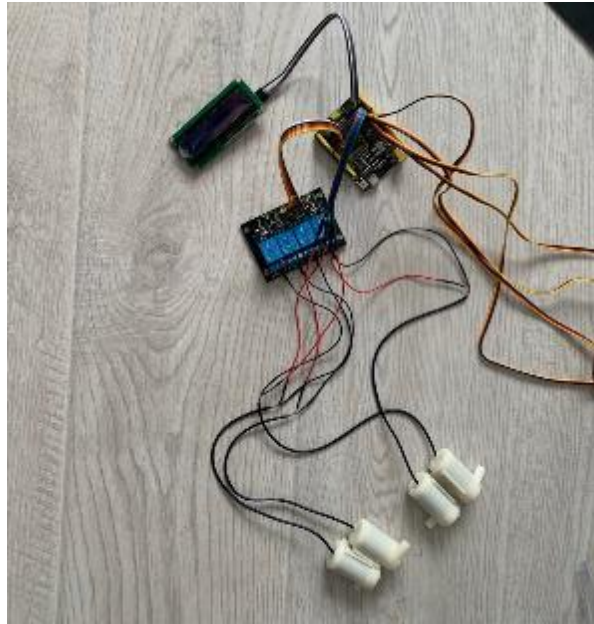


Рисунок 3.6 – З'єднання плати керування до водяних погрузних насосів

Далі з'єднуємо знову плату Keystudio 328 PLUS з 4-канальним модулем реле для заземлення, як представлено на рисунку 3.7



Рисунок 3.7 – Заземлення реле

3.2 Програмування плати Keyestudio 328 PLUS системи поливу мікрогрін

Після з'ясування всіх комплектуючих системи поливу потрібно запрограмувати мікроконтролер ATMEGA328PB, приєднавши плату Keyestudio 328 PLUS до ноутбука, як на рисунку 3.8 та відкрити середовище програмування мікроконтролерів Arduino IDE (рис. 3.9).

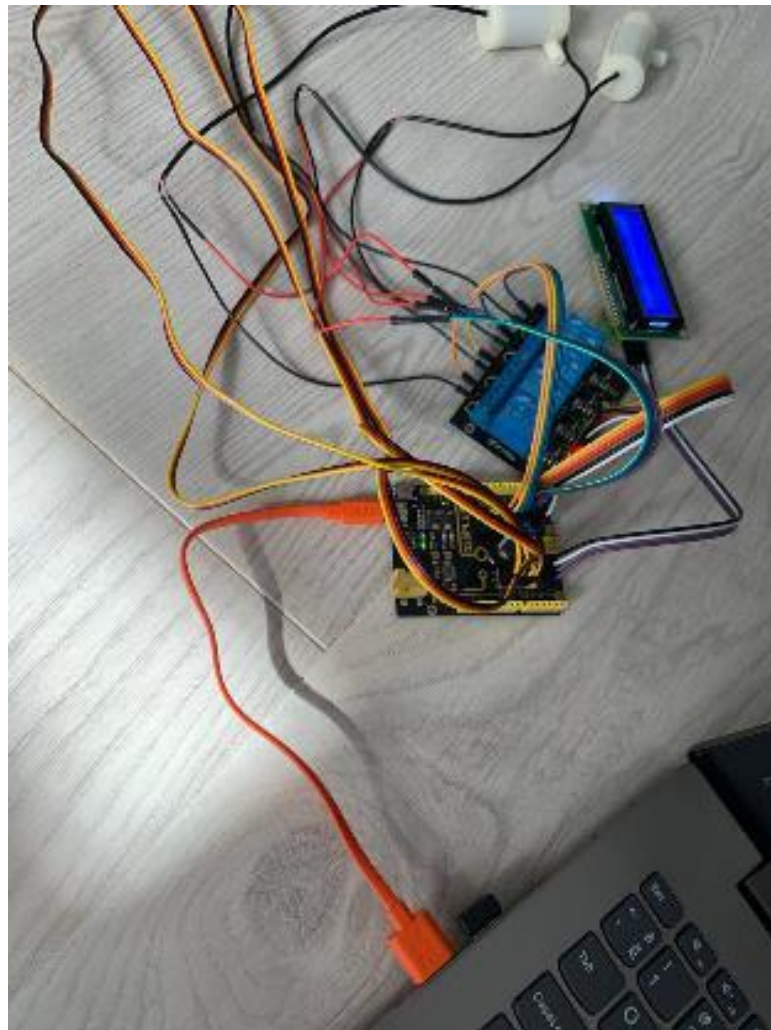


Рисунок 3.8 – Під'єднання плати Keyestudio 328 PLUS до ноутбука

Головною ідеєю системи є перекачка води насосами за допомогою релейних модулів, тобто качається вода за допомогою реле. Код прошивки для включення насосів через реле представлено лістингу 3.1



Рисунок 3.9 – Arduino IDE.

Лістинг 3.1 – Включення насосів через реле

```

#define IN1 3
#define IN2 5
#define IN3 6
#define IN4 9
void setup() {

    pinMode(IN1, OUTPUT);
    pinMode(IN2, OUTPUT);
    pinMode(IN3, OUTPUT);
    pinMode(IN4, OUTPUT);

}

void loop() {
    digitalWrite(IN1, HIGH);
    digitalWrite(IN2, HIGH);
    digitalWrite(IN3, HIGH);
    digitalWrite(IN4, HIGH);
    delay(3000);
    digitalWrite(IN4, LOW);
    digitalWrite(IN3, LOW);
    digitalWrite(IN2, LOW);
    digitalWrite(IN1, LOW);
    delay(1000);
}

```

Кінець лістингу 3.1

Після завантаження тестового коду можна побачите, що 4 реле вмикаються одночасно, водяні насоси починають качати воду і зупиняються через 3 секунди.

Датчик вологості ґрунту використовується для визначення значень вологості ґрунту, які можуть визначити, чи рослини мікрогрін відчайдушно потребують води. Зчитуються значення, які виявляються датчиками ґрунту. Можна зчитати значення 4 датчиків вологості ґрунту та відобразити їх на серійному моніторі Arduino IDE (лістинг 3.2).

Лістинг 3.2 – Зчитування значення датчиків вологості ґрунту

```
#define soilPin1 A0
#define soilPin2 A1
#define soilPin3 A2
#define soilPin4 A3
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(soilPin1, INPUT);
  pinMode(soilPin2, INPUT);
  pinMode(soilPin3, INPUT);
  pinMode(soilPin4, INPUT);
}
void loop() {
  int val1 = analogRead(soilPin1);
  int val2 = analogRead(soilPin2);
  int val3 = analogRead(soilPin3);
  int val4 = analogRead(soilPin4);
  Serial.print("SoilSensor 1 = ");
  Serial.print(val1);
  Serial.print(" ");
  Serial.print("SoilSensor 2 = ");
  Serial.print(val2);
  Serial.print(" ");
  Serial.print("SoilSensor 3 = ");
  Serial.print(val3);
  Serial.print(" ");
  Serial.print("SoilSensor 4 = ");
  Serial.println(val4)
}
```

Кінець лістингу 3.2

Після завантаження текстового коду можна відкрити серійний монітор ArduinoIDE, для відображення значень, які виявлені чотирма датчиками вологості ґрунту.

Наступним кроком, після керування водяним насосом і зчитуванням значень датчика вологості ґрунту, потрібно керувати реле, спостерігаючи за значенням, виявленим датчиком вологості ґрунту, щоб реалізувати простий пристрій автоматичного поливу мікрогрін, лістинг в додатку А.

Якщо завантажити тестовий код, та торкнутись і утримуйте рукою датчик вологості ґрунту, включається відповідне реле, і водяний насос качає воду. Після відпускання руки реле вимикається і водяний насос припиняє покачування.

Для керування дисплеєм LCD1602 та переглядом значень, які виявляються датчиками ґрунту на ArduinoIDESerialmonitor, можна додати дисплей LCD1602 для відображення значень вологості. Він буде використовуватись для відображення рядків символів (лістинг 3.3).

Лістинг 3.3 – Підключення дисплея

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display

void setup()
{
    lcd.init();
    lcd.init();
    // Print a message to the LCD.
    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(2,0);
    lcd.print("Dima Makarchuk");
    lcd.setCursor(2,1);
    lcd.print("Student");
}

void loop()
{
}
```

Кінець лістингу 3.3

Можна переглянути відображення «Dima Makarchuk» на першій лінії та «Student» на другій лінії. Для представлення значення вологості ґрунту датчика вологості S1 потрібно завантажити код (додаток Б). Таким чином, можемо

переглядати РК-дисплей 1602, показувати значення вологості ґрунту чотирьох датчиків, торкнутися датчика та спостерігати за дисплеєм 1602.

Код прошивки плати Keyestudio 328 PLUS для автоматичного поливу представлена в додатку В.

3.3 Випробування системи поливу

Після складання та програмування система поливу мікрогрін на базі мікроконтролера потрібно випробувати в домашніх умовах.

Дослідження проводилось з використанням лотків для вирощування мікрогрину (рис. 3.10) та в якості ґрунту було використано лляний коврик (рис. 3.11)



Рисунок 3.10 – Лоток для вирощування мікрогрину



Рисунок 3.11 – Лляний коврик

Після попередньої підготовки насіння та змочення лляного коврика водою відбувалось монтаж датчиків вологості (рис. 3.12) та висівання насіння (рис. 3.13).



Рисунок 3.12 – Монтаж датчиків вологості



Рисунок 3.13 – Висіваання насіння салату крез для мікрогріну

Далі занурюємо насоси в ємність з водою та підключаємо живлення до плати, як на рисунку 3.14.

Для перевірки датчика вологості потрібно торкнутись зони виявлення датчика, якщо руки вологі, значення на моніторі стають меншими, а це означає, що чим вологіший ґрунт, тим менше виміряне значення.

Вставляємо чотири датчики вологості ґрунту в чотири лотки з висадженим насінням і вставляємо під лляний коврик чотири трубки водяного насоса. Можна побачити, що дисплей LCD1602 показує значення вологості. Якщо лляний коврик достатньо вологий, підсвічування дисплея вимкнеться через 10 секунд, що може заощадити енергію. Якщо в ґрунті не вистачає води, засвітиться підсвічування, і водяні насоси перекачуватимуть воду в лотки. Через 3 с реле вимкнеться, водяний насос припинить відкачування та 5 с, після чого датчик вологості спрацює.

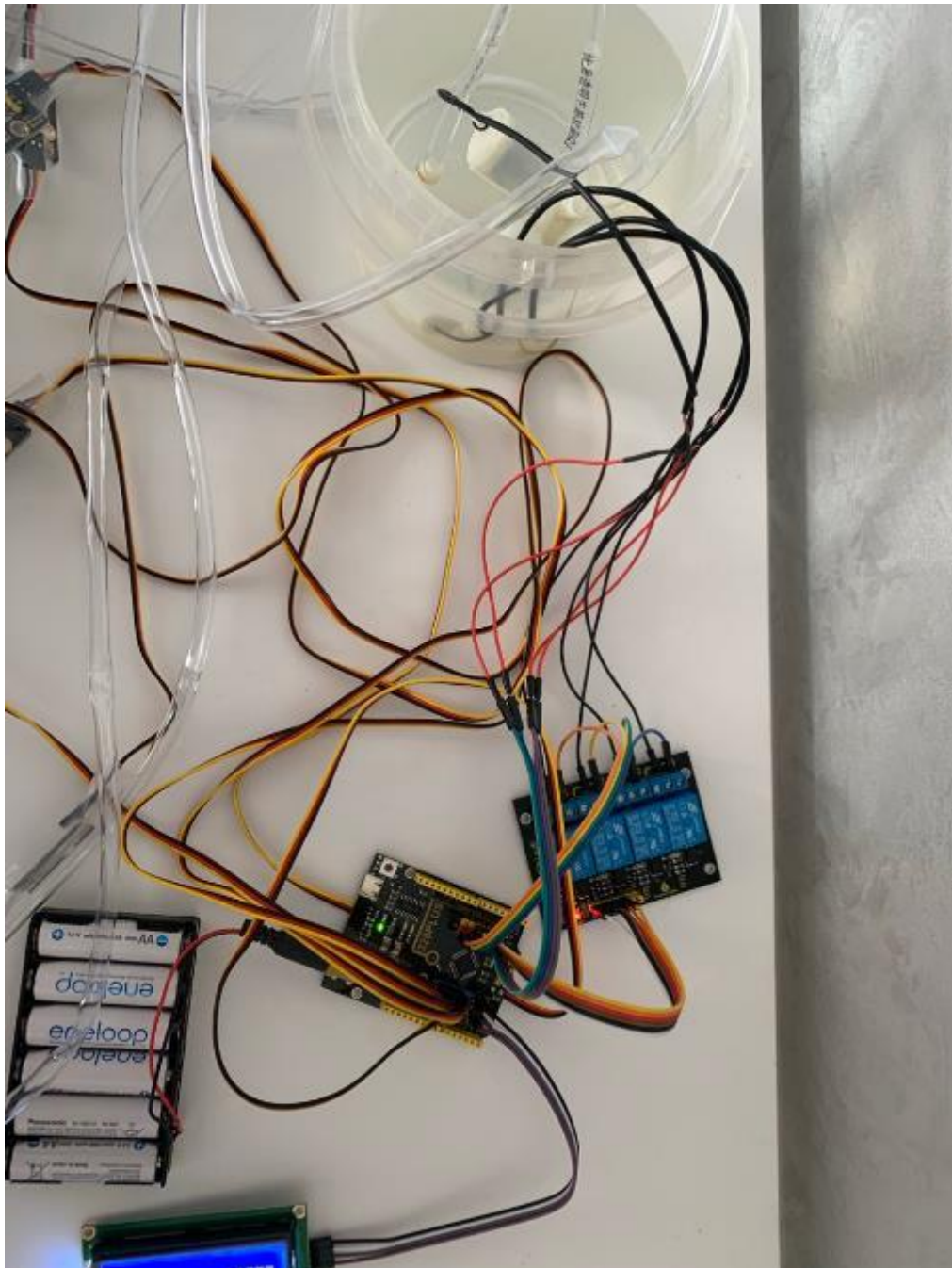


Рисунок 3.14 – Підключення плати до зовнішнього живлення

Для ексериментального дослідження було взяти насіння: гороху, соняшника, салату крез та базилік. Через 7 днів прослідковується перші врожаї мікрогрін базиліка та салату крез, а мікрогрін сонишника та гороху через 12-14 днів. На рисунку 3.15 представлено систему поливу мікрогрін в домашніх умовах після 14 днів вирощування.



Рисунок 3.15 – Система поливу мікрогрін в домашніх умовах

ВИСНОВКИ

Мікрогрін, або мікрозелень, останнім часом набуває все більшої популярності серед прихильників здорового харчування, фермерів, кухарів та навіть серед міських жителів, які прагнуть мати свіжу зелень у себе вдома. Ця популярність зумовлена високою поживною цінністю мікрогріну, його привабливим зовнішнім виглядом і швидким ростом. Однак, для успішного вирощування мікрогріну необхідно забезпечити оптимальні умови, зокрема правильний рівень вологості ґрунту. У цьому контексті автоматизована система поливу на базі мікроконтролера стає надзвичайно актуальною.

Вході дослідження було проведено огляд існуючих рішень технології автоматичного поливу, а саме використання сонячної енергії в зрошувальних системах, які мають велике значення для сільськогосподарської продукції та органічних культур у географічно ізольованих місцях. Така сонячна енергія допоможе там, де інвестиції в електропостачання будуть дорогими. Також існує рішення де керування сільськогосподарськими системами відбувається за допомогою високоточної технології IoT. Використана система IoT – це Arduino та хмара для відстеження даних у реальному часі, вона зосереджується на коливаннях вологості, які пов'язуються з даними про зміну температури за допомогою датчиків, і може контролювати систему поливу. Щоб забезпечити систему хмарними обчисленнями, рівень точності підвищився відповідно до використання системи господарями.

Було проведено аналіз методики автоматизації системи поливу мікрогрін в домашніх умовах для вирощування мікрозелені де були застосована гідропонна система вирощування в контрольованому середовищі. Для поливу рослин, лише тоді, як рівень вологи опускався нижче порогового значення, автоматично вмикався водяний насос. За рослинами спостерігали за допомогою ультразвукових датчиків. Ця система показує багатообіцяючі результати для ефективного та контрольованого вирощування мікрозелені, які можуть мати потенційне застосування в харчовій промисловості та сільському господарстві.

Було запрограмовано плату Keyestudio 328 PLUS для системи поливу мікрогрін для зв'язки всіх кооплектуючих та оптимальної роботи. Можна побачити, що дисплей показує значення вологості, якщо датчик вологості мокрий, підсвічування дисплея вимкнеться через 10 секунд. Якщо в ґрунті не вистачає води, засвітиться підсвічування, і водяні насоси перекачуватимуть воду. Через 3 с реле вимкнеться, водяний насос припинить відкачування та 5 с, після чого датчик вологості спрацює.

Здійснено випробування розробленої системи поливу мікрогрін в домашніх умовах, який показав хороші результати, а саме справність системи та реальну роботу. Було взяти насіння: гороху, соняшника, салату крез та базилік. Через 7 днів прослідковується перші врожаї мікрогрін базиліка та салату крез, а мікрогрін соняшника та гороху через 12-14 днів.

Використання автоматизованих систем поливу для вирощування мікрогрін вдома на базі мікроконтролерів має значний потенціал та відкриває нові можливості в різних аспектах.

Перспективи використання системи поливу мікрогрін в домашніх умовах на базі мікроконтролера є надзвичайно широкими та різноманітними. Вони охоплюють не лише підвищення ефективності та зручності вирощування, але й сприяють економії ресурсів, розвитку освітніх проектів, покращенню якості продукції та відкриттю нових бізнес-можливостей. Завдяки швидкому розвитку технологій автоматизації, такі системи можуть стати невід'ємною частиною сучасного життя, забезпечуючи комфорт, зручність та сталість у повсякденному житті.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Microgreens – food of the future. URL: <https://www.moravialab.cz/en/news/microgreens-food-of-the-future/> (дата звернення: 10.01.2024).
2. Мікрозелень гірчиці. URL: <https://megavita.com.ua/microgreens-mustard> (дата звернення: 10.01.2024).
3. Тепличне господарство вирощує на Одещині мікрозелень і харчові квіти. URL: <https://superagronom.com/news/8762-teplichne-gospodarstvo-viroschuye-na-odeschini-mikrozelen-i-harchovi-kviti> (дата звернення: 10.01.2024).
4. Prasojo I., Maselena A., Tanane O., Shahu N. Design of Automatic Watering System Based on Arduino. *Journal of Robotics and Control (JRC)*. Vol. 1. No 2. 2020. URL: <https://journal.umy.ac.id/index.php/jrc/article/view/7736> (дата звернення: 28.01.2024).
5. Syed Musthak Ahmed, B. Kovala, Vinit Kumar Gunjan. IoT Based Automatic Plant Watering System Through Soil Moisture Sensing – A Technique to Support Farmers' Cultivation in Rural India. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. Vol. 643. 2020. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-3125-5_28 (дата звернення: 28.01.2024).
6. Wei-Ling Hsu, Wen-Kai Wang, Wen-Hung Fan, Yan-Chyuan Shiau, Ming-Ling Yang, Dylan Josh Domingo Lopez. Application of Internet of Things in Smart Farm Watering System. *Sensors and Materials*. Vol. 33, № 1(3). 2021. URL: https://sensors.myu-group.co.jp/sm_pdf/SM2453.pdf (дата звернення: 30.01.2024).
7. Dinkar J. Gaikwad, Kalasare R.S., Jaswanth D.S., Sai Sarvani P., Sankar Pramanik. Morpho-Physiological Responses Associated with Hydroponically Grown Maize Fodder. *Indian Journal of Natural Sciences*. Vol.13. Issue 72. 2022. P. 228-232.
8. Niu G., Masabni J. Hydroponics. *Plant Factory Basics, Applications and Advances*. 2022. P. 153-166.
9. Ajit Dundappa Chachadi, Rajkumar G.R. Development of Automated Hydroponic System for Smart Agriculture. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Vol. 08. Issue 06. 2021. P. 1273 – 1278.

10. Датчик DHT11. URL: <https://arduino.ua/prod185-datchik-vlajnosti-i-temperatyri-dht11> (дата звернення: 01.02.2024).
11. Niswar M. Design and Implementation of an Automated Indoor Hydroponic Farming System based on the Internet of Things. *International Journal of Computing and Digital Systems*. Vol. 15. Issue 01. 2024. P. 337-346.
12. Lakshminarayana S., Prasee A.d, Santhi Thilagam P. Securing the IoT Application Layer from an MQTT Protocol Perspective: Challenges and Research Prospects. *IEEE Communications Surveys & Tutorials (Early Access)*. 2024. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10458418> (дата звернення: 11.02.2024).
13. Ribeiro de Sousa D., Caldana V.M. Node-RED for PLC Automation. *Proceedings of the 4th South American International Industrial Engineering and Operations Management Conference* (Lima, Peru, May 9-11, 2023). URL: https://www.researchgate.net/profile/Vitor-Caldana/publication/377439128_Node-RED_for_PLC_Automation/links/65a70c425582153a682be6e4/Node-RED-for-PLC-Automation.pdf (дата звернення: 13.02.2024).
14. Thomas L., Kumar M., Darshan S., Prashanth B.S. Towards Comprehensive Home Automation: Leveraging the IoT, Node-RED, and Wireless Sensor Networks for Enhanced Control and Connectivity. *Engineering Proceedings*. Vol. 59(1). 2023. URL: <https://www.mdpi.com/2673-4591/59/1/173> (дата звернення: 18.02.2024).
15. Keystudio 328 PLUS Control Board for arduino UNO Board. URL: <https://www.keystudio.com/products/keystudio-328-plus-control-board-for-arduino-uno-board> (дата звернення: 12.02.2024).
16. Jafar K. Lone, Renu Pandey, Gayacharan C. Microgreens on the rise: Expanding our horizons from farm to fork. *Journal Pre-proof*. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/378146836_Microgreens_on_the_rise_Expanding_our_horizons_from_farm_to_fork (дата звернення: 12.05.2024).
17. De la Fuente B., López-García G., Máñez V., Alegría A., Barberá R., Cilla A. Antiproliferative effect of bioaccessible fractions of four Brassicaceae microgreens on human colon cancer cells linked to their phytochemical composition.

Antioxidants. Vol. 9(5). 2020. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3921/9/5/368> (дата звернення: 02.05.2024).

18. Liu J., Niu Q., Wang L., Wang Y., Chen L. Research on smart greenhouse IoT technology based on Raspberry Pi. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 763(1). 2020. P.12048.

19. Kumar P., Kumar V., Tariyal R. Development of IOT based greenhouse for smart farming. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1493(1). 2020. P. 12110.

ДОДАТКИ

Додаток А

Зчитування значення датчиків вологості ґрунту

```
#define soilPin1 A0
#define soilPin2 A1
#define soilPin3 A2
#define soilPin4 A3
#define IN1 3
#define IN2 5
#define IN3 6
#define IN4 9

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(soilPin1, INPUT);
  pinMode(soilPin2, INPUT);
  pinMode(soilPin3, INPUT);
  pinMode(soilPin4, INPUT);
  pinMode(IN1, OUTPUT);
  pinMode(IN2, OUTPUT);
  pinMode(IN3, OUTPUT);
  pinMode(IN4, OUTPUT);
}

void loop() {
  int val1 = analogRead(soilPin1);
  int val2 = analogRead(soilPin2);
  int val3 = analogRead(soilPin3);
  int val4 = analogRead(soilPin4);
  Serial.print("SoilSensor 1 = ");
  Serial.print(val1); Serial.print(" ");
  Serial.print("SoilSensor 2 = ");
  Serial.print(val2);
  Serial.print(" ");
  Serial.print("SoilSensor 3 = ");
  Serial.print(val3);
  Serial.print(" ");
  Serial.print("SoilSensor 4 = ");
  Serial.println(val4); if(val1 < 420){
    digitalWrite(IN1, HIGH);
  }else{
    digitalWrite(IN1, LOW);
  }if(val2 < 420){
    digitalWrite(IN2, HIGH);
  }else{
    digitalWrite(IN2, LOW);
  }if(val3 < 420){
    digitalWrite(IN3, HIGH);
  }else{
    digitalWrite(IN3, LOW);
  }if(val4 < 420){
```

```
digitalWrite(IN4, HIGH);  
}else{  
digitalWrite(IN4, LOW);  
}  
}
```

Додаток Б

Код програми для відображення вологості ґрунту на дисплей

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // set the LCD address to 0x27 for a 16
chars and 2 line display
#define soilPin1 A0
#define soilPin2 A1
#define soilPin3 A2
#define soilPin4 A3

void setup()
{
  lcd.init(); // initialize the lcd
  lcd.init();
  // Print a message to the LCD.
  lcd.backlight();
}

void loop()
{
  int val1 = analogRead(soilPin1);
  int val2 = analogRead(soilPin2);
  int val3 = analogRead(soilPin3);
  int val4 = analogRead(soilPin4);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("S1:");
  lcd.setCursor(3,0);
  lcd.print(val1);
  lcd.setCursor(7,0);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(9,0);
  lcd.print("S2:");
  lcd.setCursor(12,0);
  lcd.print(val2);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("S3:");
  lcd.setCursor(3,1);
  lcd.print(val3);
  lcd.setCursor(7,1);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(9,1);
  lcd.print("S4:");
  lcd.setCursor(12,1);
  lcd.print(val4);
  delay(100);
}
```

Додаток В

Код програми для автоматичного поливу

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // set the LCD address to 0x27 for a 16
chars and 2 line display
#define soilPin1 A0
#define soilPin2 A1
#define soilPin3 A2
#define soilPin4 A3
#define IN1 3
#define IN2 5
#define IN3 6
#define IN4 9
int count, count_flag; void setup()
{
  lcd.init(); // initialize the lcd
  lcd.init();
  // Print a message to the LCD.
  lcd.backlight();
}void loop()
{
  pinMode(IN1, OUTPUT);
  pinMode(IN2, OUTPUT);
  pinMode(IN3, OUTPUT);
  pinMode(IN4, OUTPUT);
  int val1 = analogRead(soilPin1);
  int val2 = analogRead(soilPin2);
  int val3 = analogRead(soilPin3);
  int val4 = analogRead(soilPin4);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("S1:");
  lcd.setCursor(3,0);
  lcd.print(val1);
  lcd.setCursor(7,0);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(9,0);
  lcd.print("S2:");
  lcd.setCursor(12,0);
  lcd.print(val2);

  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("S3:");
  lcd.setCursor(3,1);
  lcd.print(val3);
  lcd.setCursor(7,1);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(9,1);
  lcd.print("S4:");
```

```
lcd.setCursor(12,1);
lcd.print(val4);
delay(200); count = count + 1;
if(count >= 50) //After 10 seconds, turn off the LCD1602 backlight
{ count = 50;
lcd.noBacklight();
}
if(val1 > 590){
lcd.backlight(); count = 0;
digitalWrite(IN1, HIGH); // Water pump 1
delay(3000); //Pumping time is 3 seconds digitalWrite(IN1, LOW); // Shut
down the pump
delay(5000); //Water penetration time 5 seconds
}else{
digitalWrite(IN1, LOW);
}
if(val2 > 590){
lcd.backlight(); count = 0;
digitalWrite(IN2, HIGH);
delay(3000);
digitalWrite(IN2, LOW);
delay(5000);
}else{
digitalWrite(IN2, LOW);
}
if(val3 > 590){
lcd.backlight(); count = 0;
digitalWrite(IN3, HIGH);
delay(3000);
digitalWrite(IN3, LOW);
delay(5000);
}else{
digitalWrite(IN3, LOW);
}
if(val4 > 590){
lcd.backlight(); count = 0;
digitalWrite(IN4, HIGH);
delay(3000);
digitalWrite(IN4, LOW);
delay(5000);
}else{
digitalWrite(IN4, LOW);
}
}
```