

BACHELOR THESIS

bachelor  
Education level

A cyber-physical system of automated plant watering based on a Raspberry Pi single-board computer system  
Topic name

QWCE.19005.04.01.01 ПЗ  
Code

Field of study 12 «Information technology»

Code, name

Major 123 «Computer Engineering»

Code, name

Education program «Computer Engineering and Programming »

Name

Author: student of IV course, group КІІН-19-1

Signature

Mapangera.B.

Initials, surname

Supervisor

Signature, date

Nicheporuk A.O.

Initials, surname

Regulatory controller

Signature, date

Lysenko S.M.

Initials, surname

Admitted to defense:  
Head of Computer Engineering  
and Information Systems  
Department

Signature

Hovorushchenko T.O.

Ініціали, прізвище

June «8», 2023

Khmelnyskyi 2023

# KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

Faculty INFORMATION TECHNOLOGIES

Department COMPUTER ENGINEERING AND INFORMATION SYSTEMS

Education level BACHELOR

Field of study 12 INFORMATION TECHNOLOGY

Major 123 COMPUTER ENGINEERING

Educatin program COMPUTER ENGINEERING AND PROGRAMMING

APPROVED

Head of department T.O. Hovorushchenko

“ 11 ” 01 2023 p.

## TASK FOR BACHELOR'S THESIS

Mapangera Bright

Surname, name, middle name of student

1. Thesis topic A cyber-physical system of automated plant watering based on a Raspberry Pi single-board computer system

Supervisor of thesis Nicheporuk A.O., associate professor of CEIS department

Surname, name, middle name, scientific degree

Approved by order of the rector of the university from 01.03.2023 p. № 5

2. Deadline for student submission of project (work) to the department 07.06.2023 p.

3. Source data for the project (work) Task for bachelor thesis

4. The content of the explanatory note (list of issues to be developed) \_\_\_\_\_

Analysis of known tools and solutions

Elementary base of the cyber physical system of the smart greenhouse for automation of plant watering \_\_\_\_\_

A cyber-physical system of automated plant watering based on a Raspberry Pi single-board computer system





5. List of graphic material (with indication of mandatory drawings) \_\_\_\_\_

Circuit Diagram \_\_\_\_\_

Flowchart of how Automated plant watering system works

Block diagram of the complete system \_\_\_\_\_

6. Consultants of sections of the bachelor thesis

Section	Surname, initials and position of the consultant	Signature, date	
		task issue	accepted the task
Regulatory control	Lysenko S.M., full professor of CEIS department		
Anti-plagiarism	Nicheporuk A.O., associate professor of CEIS department		

7. Issue date of the task «\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_.

**CALENDAR PLAN**

№	Name of the stages (sections) of bachelor thesis	The term of thesis stages	Note
1	Choosing a research direction and agreeing the topic of the thesis with the supervisor	11.01.2023	passed
2	Acquaintance with the subject area; formulation of the goal and objectives of the research; definition of the object and subject of research	01.02.2023	passed
3	Work on chapter 1 - analysis of known tools and solutions	01.03.2023	passed
4	Work on chapter 2 - analysis of known tools and solutions	01.04.2023	в passed иконано
5	Work on chapter 3 - analysis of known tools and solutions	30.04.2023	passed
6	Design of explanatory note according to requirements	25.05.2023	passed
7	Preliminary defense of bachelor thesis	26.05.2023	passed
8	Defence defense of bachelor thesis	June 2023	

**Student**

  
Signature

Mapangera B.

Initials, surname

**Supervisor**

  
Signature

Nicheporuk A.O.

Initials, surname



## ABSTRACT

Topic of bachelor thesis: « A cyber-physical system of automated plant watering based on a Raspberry Pi single-board computer system\_».

Author: *Mapangera Bright*

Supervisor: *Nicheporuk A.O.*

Explanatory note: *58 p., 26 fig., 4 tables, 4 appendices. 30 references.*

The graphic part: 3 schemas

Keywords CYBER-PHYSICAL SYSTEM, WATERING PLANT

Goal of thesis is to develop an irrigation system that is controlled by the moisture in the soil.

Agriculture is one of the most important industries when it comes to food production hence finding ways to reduce labor in the industry is very essential. For this industry to be productive it requires water and in some regions there's less natural rain than some other and that's why we have developed different types of irrigation systems that work and provide water according to the way we need. In this research specifically we are looking at an automated irrigation system.

Signature







Date

8.06.2023

## CONTENT

ABBREVIATIONS AND TERMS .....	3
INTRODUCTION .....	5
1 ANALYSIS OF KNOWN TOOLS AND SOLUTIONS .....	7
1.1 Principles of operation of automated plant watering systems .....	7
1.2 Analysis of known automated plant watering systems .....	11
1.3 Raspberry Pi 22 hardware and software platform .....	14
1.4 The Automated Raspberry Pi Irrigation System: Disadvantages and Solutions .....	16
1.5 Literature review .....	19
1.6 Statement Problem .....	20
2 Elementary base of the cyber physical system of the smart greenhouse for automation of plant watering .....	22
2.1 Cyber-Physical System and elementary base selection .....	22
2.2 Conclusions according to section 2 .....	33
3 A cyber-physical system of automated plant watering based on a Raspberry Pi single-board computer system .....	35
3.1 Breadboard connection and schematic diagram .....	35
3.2 Application of the framework for building the node-red web interface .....	38
3.3 Algorithms for implementing automatic watering .....	39
3.3.1 Flowchart of how Automated plant watering system works .....	40
3.4 Interface of a cyber-physical system of a smart greenhouse for automating plant watering .....	43
3.5 Setup of Weaved and the Raspberry Pi .....	46
3.6 Material cost .....	55
Conclusion .....	56
REFERENCE .....	59

					<b>QWCE. 19005.04.01.01 EN</b>			
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	A cyber-physical system of automated plant watering based on a Raspberry Pi single-board computer system	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Марангера В.						2	62
Перевір.	Nicheporuk A.							
Н.контр.	Lysenko S.M.			06.06				
Затверд.	Novosushchenko							ХНУ, Клім-19-1

Appendix A Code for programs .....	52
Appendix B Circuit Diagram .....	54
Appendix C Flowchart of Automated plant watering system works .....	55
Appendix D Block diagram of the complete system.....	56

## ABBREVIATIONS AND TERMS

OS – Operating system  
DC motor – Direct current motor  
LED – Light Emitting Diode  
VWC – Volumetric Water Content  
ALU – Arithmetic logic unit  
CPU – Central processing unit  
RAM – Random Access memory  
USB – Universal Serial Bus  
MHz – Megahertz  
GPS – Global position system  
TWT – Traveling-Wave tube  
SPI – Serial peripheral interface  
PCB – Printed circuit board  
IC – Integrated circuit  
GDP – Gross Domestic Product  
TWT – Traveling wave tube  
CPS – Cyber Physical Systems  
PLC – Programmable Logic Control

					QWCE. 19005.04.01.01 EN	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## INTRODUCTION

Agriculture is one of the most important industries when it comes to food production hence finding ways to reduce labor in the industry is very essential. For this industry to be productive it requires water and in some regions there's less natural rain than some other and that's why we have developed different types of irrigation systems that work and provide water according to the way we need. In this research specifically we are looking at an automated irrigation system.

With a self-watering system, it is possible to automatically irrigate the plant and keep it watered and healthy. Plants are very important for all living organisms because they provide both oxygen and carbon dioxide. Automating plant watering systems can have a significant impact on humankind in several ways. Firstly, it can improve the food security by ensuring that crops receive the right amount of water at the right time, which can help to increase yields and reduce waste. This is particularly important in areas where water is scarce or where manual labour is scarce or expensive. Automated plant watering systems can help to conserve water by reducing over-watering, which is a common problem with manual watering methods.

In addition, automating plant watering systems can also help to reduce the time and effort required for manual watering, which can be physically demanding and time-consuming. This can benefit farmers, gardeners, and other people who need to water plants regularly. Automated plant watering systems can also help to improve the health and growth of plants, which can be beneficial for both commercial and personal use. For example, in a commercial setting, an automated plant watering system can help to reduce the costs associated with manual labour and increase the efficiency of the operation. Furthermore, the use of Cyber Physical Systems (CPS) in automated plant watering systems can help to improve the sustainability of the system. CPS systems use sensors and actuators to monitor and control the system, which can help to reduce energy consumption and reduce the environmental impact of the system. CPS systems can also be programmed to respond to changes in the environment, such as changes in temperature or humidity, which can help to optimize the system and reduce waste.

					QWCE. 19005.04.01.01 EN	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		5

The use of Raspberry Pi as the control unit in a CPS for plant watering is also beneficial because it is a low-cost, low-power, and versatile computer that can run multiple programs and control multiple devices. The Raspberry Pi can be programmed to receive data from the sensors, process the data, and control the actuators to water the plants, which can help to improve the efficiency and sustainability of the system. In conclusion, automating plant watering systems and using a CPS system with a Raspberry Pi control unit can have a significant impact on human kind by improving food security, reducing manual labour, improving the health and growth of plants, and reducing energy consumption and environmental impact. These benefits can help to make the world a better place by improving the efficiency and sustainability of agriculture and horticulture.

The system also includes a web-based user interface, which allows farmers to remotely monitor and control the irrigation system from their smartphones or computers. This real-time monitoring and control feature helps farmers to respond quickly to changes in field conditions and prevent water wastage.

Since its development, the Raspberry Pi irrigation system has gained popularity among farmers and agricultural researchers as a cost-effective and efficient alternative to traditional irrigation systems. The system has been used in various settings, including large-scale commercial farms, small-scale family farms, and experimental research plots. Today, there are several open-source software platforms and hardware components available for building Raspberry Pi irrigation systems. These platforms include FarmBot, OpenFarm, and AgroHack. These platforms offer farmers and researchers an opportunity to develop customized and scalable irrigation systems that meet their specific needs and requirements.

The Raspberry Pi irrigation system is a relatively new technology that has emerged in response to the need for more efficient and sustainable agricultural practices. The system uses Raspberry Pi technology, machine learning algorithms, and environmental sensors to optimize water usage and reduce labor costs for farmers. While still relatively new, the Raspberry Pi irrigation system shows great potential to revolutionize the way we approach irrigation in agriculture. So, Goal and object of this thesis is to develop an irrigation system that is controlled by the moisture in the soil.

					QWCE. 19005.04.01.01 EN	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

# 1 ANALYSIS OF KNOWN TOOLS AND SOLUTIONS

## 1.1 Principles of operation of automated plant watering systems

Automated plant watering systems are an innovative solution to the age-old problem of keeping plants hydrated. These systems are designed to automatically water plants based on pre-determined settings or on-demand basis, thus removing the need for manual watering. The principles of operation of automated plant watering systems can be broken down into four main components:

- 1.The water source.
- 2.The delivery system.
- 3.The control system.
- 4.And the sensors.

**Water Source:** The water source is where the water is stored and where the watering system draws water from. The most common sources of water are from a tap, a rain barrel or a well. The water source is connected to the delivery system, which delivers the water to the plants. **Delivery System:** The delivery system is responsible for delivering the water from the water source to the plants. The two most common types of delivery systems are drip irrigation and sprinkler systems. Drip irrigation systems use a series of emitters to deliver water directly to the roots of the plants, while sprinkler systems spray water over a larger area (fig. 1.1).



Figure 1.1 – Water

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Drip irrigation systems use a series of tubes and emitters to deliver water directly to the roots of the plants, while sprinkler systems spray water over a larger area (fig. 1.2, 1.3).



Figure 1.2 – Well



Figure 1.3 – Rain barrel

Control System: The control system is the "brain" of the automated plant watering system. It determines when and how much water to deliver to the plants. It can be a simple timer-based system, where water is delivered on a predetermined schedule, or a more advanced system that uses sensors to detect when the plants need water. The control system can be operated manually or can be programmed to run automatically.

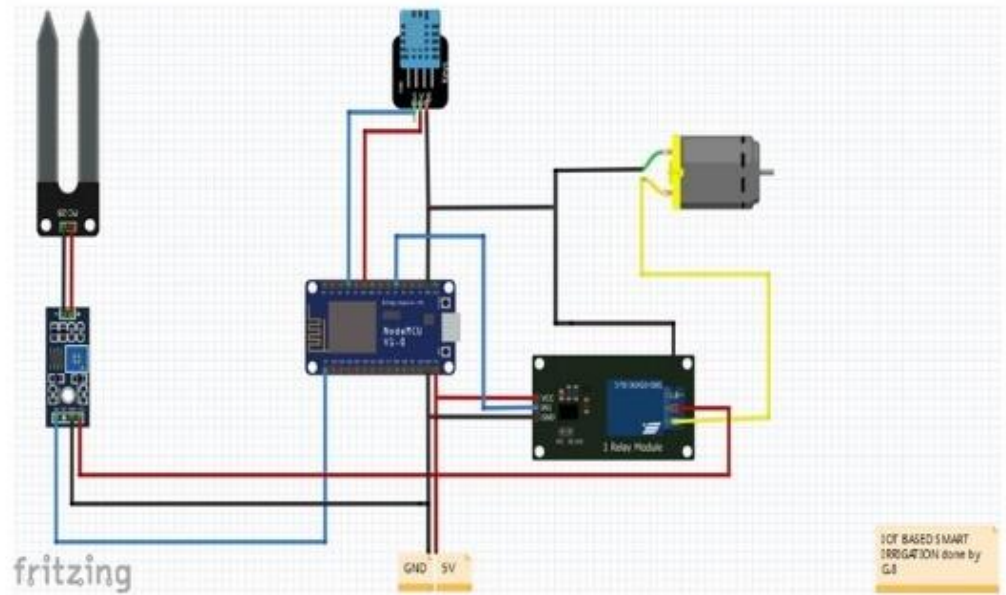


Figure 1.4 – Control system scema

Delivery System: The delivery system is responsible for delivering the water from the water source to the plants. The two most common types of delivery systems are drip irrigation and sprinkler systems. Drip irrigation systems use a series of tubes and emitters to deliver water directly to the roots of the plants, while sprinkler systems spray water over a larger area.



Figure 1.5 – Canal Delivery

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата



Figure 1.6 – Drip Delivery System



Figure 1.7 – Sprinkler Delivery system

Sensors: Sensors are a crucial component of the automated plant watering system. They detect when the plants need water by measuring soil moisture levels or other environmental factors. There are different types of sensors available, such as moisture sensors, rain sensors, temperature sensors, and light sensors. These sensors can be connected to the control system, which then uses the data to determine when and how much water to deliver to the plants. In addition to these four main components, there are other factors that can affect the operation of an automated plant watering system. These include the type of plant being watered, the soil type, the climate and weather conditions, and the size and layout of the garden or farm.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

The benefits of automated plant watering systems are numerous. They can save time and effort, reduce water waste, and help plants grow healthier and more efficiently. They can also be customized to fit the specific needs of each garden or farm. For example, if you have plants that require different amounts of water, you can program the system to deliver water at different rates to each plant.

## 1.2 Analysis of known automated plant watering systems

Automated plant watering systems have become increasingly popular in recent years, as they can help to save time and effort while ensuring that plants receive the right amount of water. In this section, we will analyze some of the most well-known automated plant watering systems available in the market.



Figure 1.8 – Rachio Smart Sprinkler Controller

The Rachio Smart Sprinkler Controller is a popular device that allows users to control their sprinkler system using a smartphone app. This device uses weather data and soil moisture sensors to optimize water usage and reduce wastage. It also features a customizable watering schedule, which can be adjusted based on the specific needs of different plants.



Figure 1.9 – Grobo Automated Indoor Garden

The Grobo Automated Indoor Garden is a self-contained system that can be used to grow a variety of plants, including herbs, fruits, and vegetables. This system uses a combination of sensors and automation to provide the right amount of water, light, and nutrients to plants, and can be controlled using a smartphone app. The Grobo system is ideal for small apartments or homes where space is limited.

The Blumat Automatic Watering System is a drip irrigation system that can be used to water plants in pots or containers. This system uses a ceramic cone and a water reservoir to deliver water directly to the roots of plants and can be customized to adjust the flow rate based on the specific needs of different plants. The Blumat system is ideal for balconies or small gardens and can be automated using a timer or other control system.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

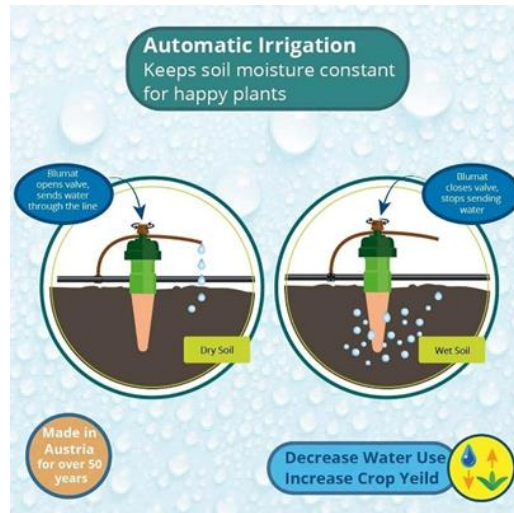


Figure 1.10 – Blumat Automatic Watering System

The Plant Link Wireless Plant Sensor is a device that can be used to monitor the moisture level of soil and the ambient temperature and humidity. This sensor can be placed in the soil near the roots of plants and can be used to provide real-time data about the health and hydration of plants. The Plant Link system can be controlled using a smartphone app and can be used to trigger an automated watering system when the soil moisture level drops below a certain threshold.

The Plant Link Wireless Plant Sensor is a device that can be used to monitor the moisture level of soil and the ambient temperature and humidity. This sensor can be placed in the soil near the roots of plants and can be used to provide real-time data about the health and hydration of plants. The Plant Link system can be controlled using a smartphone app and can be used to trigger an automated watering system when the soil moisture level drops below a certain threshold.



Figure 1.11 – The Plant Link Wireless Plant Sensor

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

### 1.3 Raspberry Pi 2 hardware and software platform

The Raspberry Pi is a low-cost, single-board computer that is well-suited for use in an automated irrigation system. The hardware of the Raspberry Pi includes the following components:

- Central Processing Unit (CPU): The Raspberry Pi is equipped with a Broadcom BCM2837B0, Cortex-Memory: The Raspberry Pi 4 Model B has 4GB of LPDDR4-3200 A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.5GHz.
- SDRAM (which is shared with GPU).
- Storage: The Raspberry Pi has a microSD card slot for loading an operating system and data storage.
- Connectivity: The Raspberry Pi includes Ethernet, 802.11ac wireless, Bluetooth 5.0, BLE, and two USB 3.0 ports.



Figure 1.12 – Raspberry Pi

The software platform for an automated irrigation system on the Raspberry Pi includes the following components:

- Operating System: A popular choice for the Raspberry Pi is the Raspbian operating system, which is based on the Debian Linux distribution.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

– Programming Language: Python is a popular choice for programming the Raspberry Pi due to its ease of use and extensive library support.

– Irrigation Control Software: A software application would be required to control the irrigation system based on inputs such as soil moisture levels, weather conditions, and plant needs. This could be custom-developed using Python or another programming language, or it could be a pre-existing application such as Home Assistant or Node-RED.

– Sensors: A variety of sensors are be used to gather data on soil, weather conditions, and other factors relevant to irrigation. These sensors need to be connected to the Raspberry Pi, either through the GPIO (General Purpose Input/Output) pins or through a separate interface such as an I2C or serial connection.

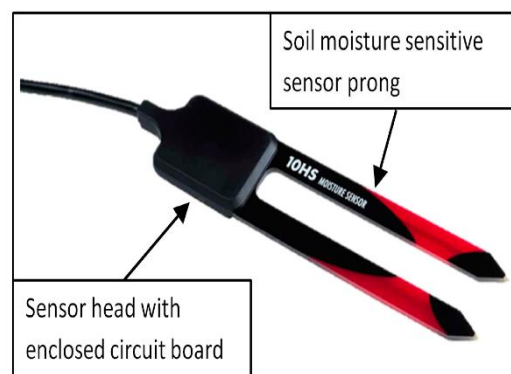


Figure 1.13 – Soil moisture sensor

– Actuators: The irrigation system itself must have controlled by actuators such as solenoid valves or motorized water pumps. These actuators are connected to the Raspberry Pi and controlled by the irrigation control software.

With these components in place, I used the Raspberry Pi to create a low-cost and customizable automated irrigation system that can be programmed to meet the specific needs of any garden or farm.

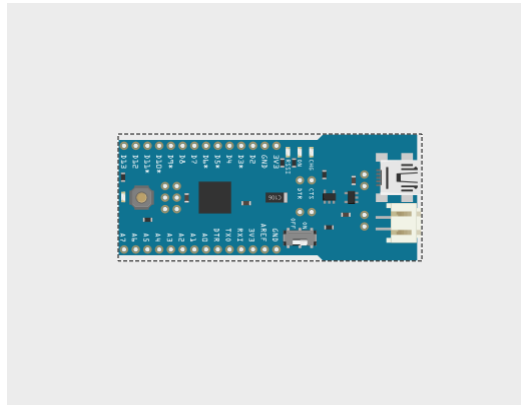


Figure 1.14 – Microcontroller

#### 1.4 The Automated Raspberry Pi Irrigation System: Disadvantages and Solutions

##### Challenges Faced in Irrigation Systems:

- Inefficient use of water resources: Traditional irrigation systems are notorious for their inefficient use of water resources, leading to water wastage, overwatering, and underwatering. Overwatering can result in soil erosion, waterlogging, and nutrient leaching, while underwatering can cause stunted growth, reduced yield, and plant stress.
- High energy costs: Traditional irrigation systems, such as flood irrigation, require a high amount of energy to pump water from its source to the fields. This results in high energy costs, which can be a significant financial burden for farmers.
- Labour-intensive: Traditional irrigation systems require a high level of manual labour, which can be both time-consuming and physically exhausting. This can result in reduced productivity, especially during peak agricultural seasons.
- Lack of real-time monitoring: Traditional irrigation systems provide limited or no real-time monitoring, making it challenging to identify and address issues such as leaks, blockages, and system failures. This can result in water wastage and damage to crops.

##### Disadvantages and Solutions

- Cost: The initial cost of installing an automated irrigation system can be expensive, leading many farmers to opt for traditional irrigation methods instead.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

However, the long-term benefits of automated irrigation systems, such as reduced water and energy usage, can outweigh the initial cost. Additionally, there are more affordable solutions, such as the automated Raspberry Pi irrigation system.

- Maintenance: Automated irrigation systems require regular maintenance, which can be time-consuming and costly. However, regular maintenance can help prevent system failures and prolong the lifespan of the system.

- Technical expertise: Automated irrigation systems require technical expertise to install and maintain, which can be a barrier for many farmers. However, there are many resources available, such as tutorials, guides, and support communities, that can help farmers overcome this barrier.

Environmental impact: Automated irrigation systems can have a negative environmental impact, particularly if they are not designed or used properly. For example, overwatering can lead to soil erosion, nutrient leaching, and water pollution. However, with proper system design and management, automated irrigation systems can reduce the overall environmental impact of crop irrigation.

#### The Automated Raspberry Pi Irrigation System

The automated Raspberry Pi irrigation system is a low-cost and customizable solution that can address many of the challenges faced by traditional irrigation systems. The Raspberry Pi is a single-board computer that can be used to control and monitor various irrigation components, such as sensors, valves, and pumps. The system can be programmed to adjust water delivery based on real-time soil moisture data, weather conditions, and other variables, resulting in more efficient water usage and improved crop health.

#### Benefits of the Automated Raspberry Pi Irrigation System

- Efficient use of water resources: The automated Raspberry Pi irrigation system is designed to optimize water usage by providing water only when and where it is needed. This results in reduced water wastage, improved crop health, and lower water bills for farmers.

- Reduced energy costs: The automated Raspberry Pi irrigation system uses sensors to measure soil moisture and other variables, allowing the system to operate

only when necessary. This results in reduced energy usage and lower energy bills for farmers.

– Time-saving: The automated Raspberry Pi irrigation system eliminates the need for manual labour, allowing farmers to focus on other important tasks. This results in increased productivity and reduced labour costs.

– Real-time monitoring: The automated Raspberry Pi irrigation system provides real-time monitoring, allowing farmers to identify and address issues such as leaks, blockages, and system failures promptly. This results in reduced water wastage and improved crop health.

– Customizable: The automated Raspberry Pi irrigation system is highly customizable, allowing farmers to tailor the system to their specific needs and preferences. This results in a more efficient and effective irrigation system that meets the unique requirements of their crops and fields.

– Scalable: The automated Raspberry Pi irrigation system is scalable, meaning that it can be easily expanded or modified as needed. This makes it a flexible solution that can grow with the farmer's business and evolving irrigation needs.

– Irrigation is a critical component of modern agriculture, but traditional irrigation methods are inefficient and time-consuming. The automated Raspberry Pi irrigation system offers a cost-effective and customizable solution that addresses many of the challenges faced by traditional irrigation systems. By optimizing water usage, reducing energy costs, and providing real-time monitoring and customization, the automated Raspberry Pi irrigation system can help farmers improve crop health, increase productivity, and reduce costs. While there may be initial costs and technical expertise required to set up and maintain the system, the long-term benefits make it a worthwhile investment for farmers looking to improve their irrigation practices and increase the efficiency and sustainability of their agricultural operations.

					QWCE. 19005.04.01.01 EN	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		18

## 1.5 Literature review

Literature review based on the interface of a cyber-physical system of a smart greenhouse for automating plant watering

Smart greenhouse systems that use cyber-physical systems to automate plant watering have become increasingly popular in recent years.

One study by Amatya et al. (2020) investigated the use of Internet of Things (IoT) technology in smart greenhouse systems for automated plant watering. They found that IoT-based systems were effective in reducing water usage and maintaining optimal soil moisture levels, which can lead to higher crop yields and lower water waste.

Another study by Sarker et al. (2019) focused on using machine learning algorithms to predict plant water needs in smart greenhouse systems. They found that machine learning algorithms could accurately predict plant water needs based on environmental data, which could lead to more efficient and targeted watering strategies.

Kachroudi et al. (2020) explored the use of wireless sensor networks in smart greenhouse systems for monitoring soil moisture and automating plant watering. They found that wireless sensor networks were effective in providing real-time data on soil moisture levels and automating irrigation, which could lead to significant water savings and improved crop yields.

In a study by Bonhomme et al. (2019), the authors developed a smart greenhouse system that used a cyber-physical approach to optimize plant growth and reduce water usage. They found that their system was able to maintain optimal soil moisture levels while using less water than traditional irrigation systems.

Overall, these studies demonstrate the effectiveness of smart greenhouse systems that use cyber-physical systems to automate plant watering. These systems have the potential to reduce water usage, increase crop yields, and improve the sustainability of agriculture.

## 1.6 Statement of problem

In modern agriculture, efficient water management is of paramount importance to ensure sustainable crop production and address the challenges of water scarcity. Traditional irrigation methods, which rely on manual intervention, often suffer from inherent inefficiencies and labor-intensive requirements. These systems lack precision and struggle to provide optimal water distribution, leading to issues such as overwatering or underwatering. As a result, substantial amounts of water are wasted, crop yields are compromised, and valuable resources are depleted.

To overcome these challenges, there is a pressing need for the development of an advanced automated irrigation system that can intelligently and precisely manage water usage in agricultural settings. Such a system would integrate cutting-edge technologies, including sensors, controllers, actuators, and data analytics, to achieve accurate and efficient water distribution tailored to the specific needs of crops. By utilizing real-time data on soil moisture levels, weather conditions, and crop water requirements, this automated system can optimize irrigation scheduling, minimize water waste, and enhance crop productivity.

Furthermore, the labor-intensive nature of traditional irrigation practices poses significant challenges for farmers, who face increasing demands and limited resources. By implementing an automated irrigation system, the reliance on manual labor can be significantly reduced, freeing up valuable time and resources for other essential farming tasks. The automation of irrigation processes also enables remote monitoring and control, allowing farmers to efficiently manage multiple fields and respond promptly to changing environmental conditions.

Therefore, the primary objective of this thesis is to design, develop, and implement an advanced automated irrigation system that addresses the shortcomings of traditional irrigation methods. Through the integration of intelligent sensing, precise control mechanisms, and data-driven decision-making, this system aims to optimize water usage, improve crop yields, and alleviate the labor burden associated with manual irrigation practices.

					QWCE. 19005.04.01.01 EN	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		20

The outcomes of this research will not only contribute to the advancement of agricultural practices but also have significant implications for sustainable water management in regions facing water scarcity. By implementing an automated irrigation system that optimizes water distribution and reduces water waste, farmers can minimize their environmental impact and contribute to the conservation of water resources.

All in all, this thesis seeks to address the pressing need for an advanced automated irrigation system that revolutionizes water management in agriculture. By harnessing the potential of emerging technologies, this system aims to achieve precision, efficiency, and sustainability in irrigation practices, enabling farmers to maximize crop productivity while minimizing water consumption and labor requirements.

					QWCE. 19005.04.01.01 EN	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 2 ELEMENTARY BASE OF THE CYBER PHYSICAL SYSTEM OF THE SMART GREENHOUSE FOR AUTOMATION OF PLANT WATERING

### 2.1 Cyber-Physical System and elementary base selection

A smart greenhouse is an agricultural production system that integrates advanced technologies such as the internet of things (IoT), artificial intelligence (AI), and automation to optimize plant growth and yield. The key goal of a smart greenhouse is to create a controlled environment that mimics the ideal conditions for plant growth while minimizing water and energy usage. A cyber-physical system (CPS) is the underlying technology that enables a smart greenhouse to operate seamlessly.

A cyber-physical system (CPS) is a system that combines physical and computational components to perform a specific task. In a smart greenhouse, a CPS is responsible for collecting data from various sensors, analysing the data using algorithms, and controlling the physical environment to optimize plant growth. The physical components of a CPS include sensors, actuators, and control systems, while the computational components include software, algorithms, and communication networks.

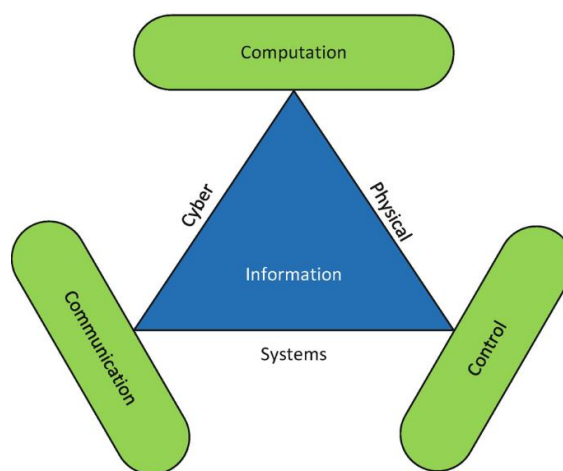


Figure 2.1 – Cyber-Physical System (CPS)

A cyber-physical system (CPS) is a system that combines physical and computational components to perform a specific task. In a smart greenhouse, a CPS is responsible for collecting data from various sensors, analysing the data using

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

algorithms, and controlling the physical environment to optimize plant growth. The physical components of a CPS include sensors, actuators, and control systems, while the computational components include software, algorithms, and communication networks.

### Sensors.

Sensors are the first line of defence in a smart greenhouse CPS. They are responsible for monitoring various environmental parameters such as temperature, humidity, light intensity, soil moisture, and carbon dioxide levels. These sensors provide continuous and accurate data to the CPS, which is then analysed to determine the best course of action.

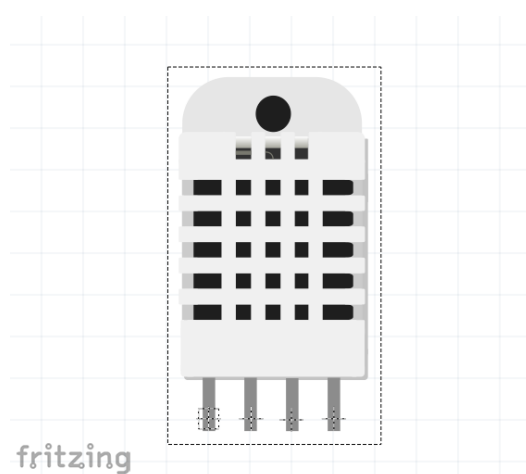


Figure 2.2 – DHT22 sensor

### Actuators

Actuators - are devices that control the physical environment in a smart greenhouse. They are responsible for turning on and off lights, opening and closing windows, adjusting the temperature and humidity, and controlling the irrigation system. Actuators work in tandem with the sensors to ensure that the physical environment in the greenhouse is always optimal for plant growth.

### Control System

A control system - is the brain of the CPS. It receives data from the sensors, processes the data using algorithms, and sends commands to the actuators to control the physical environment. The control system uses machine learning algorithms to

analyze the data and make predictions about the best course of action. Over time, the control system becomes more accurate and efficient, resulting in better plant growth and yield.

### Software and Algorithms

Software and algorithms are critical components of a CPS. The software is responsible for collecting and storing data, analysing the data using algorithms, and controlling the physical environment. The algorithms are designed to optimize the physical environment for plant growth based on the data collected from the sensors. Machine learning algorithms are used to make predictions about the best course of action, while optimization algorithms are used to minimize water and energy usage.

### Communication Networks

Communication networks are used to connect the various components of a CPS. The sensors, actuators, control system, and software all need to communicate with each other in real-time to ensure that the physical environment is optimal for plant growth. Wired and wireless communication networks are used to transmit data between the various components of the CPS.

### Automation of Plant Watering

One of the critical tasks in a smart greenhouse is the automation of plant watering. Proper watering is essential for plant growth, and an automated irrigation system can significantly reduce water usage and labour costs. The following are the steps involved in automating plant watering in a smart greenhouse:

#### 1. Soil Moisture Sensing

Soil moisture sensors are used to measure the water content in the soil. The sensors are placed in the root zone of the plants and provide real-time data on soil moisture levels. The data is then transmitted to the control system for analysis.

#### 2. Irrigation Scheduling

The control system uses machine learning algorithms to analyse the soil moisture data and determine the optimal irrigation schedule for the plants. The algorithm takes into account factors such as plant type, growth stage, and weather conditions to determine the best time to irrigate the plants.

					QWCE. 19005.04.01.01 EN	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		24

Table 2.1 – Contacts of the digital light sensor

Pin		Description
1	VCC	Power
2	GND	Ground

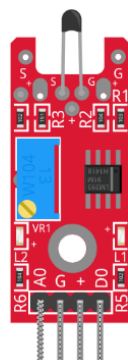


Figure 2.3 – Light sensor

A digital light sensor is an electronic device that measures the intensity of light and converts it into a digital signal. In the context of a smart greenhouse, a digital light sensor can be used to measure the intensity of light in the greenhouse and provide feedback to the control system. This information can be used to adjust the lighting system in the greenhouse, ensuring that plants receive the right amount of light for optimal growth. The digital light sensor can be integrated into the cyber-physical system of the smart greenhouse and communicate with other components such as the irrigation system, heating and cooling systems, and ventilation system to provide a comprehensive control system for the greenhouse.



Figure 2.4– Temperature and humidity sensor AM2320

Table 2.2 – Pin Assignment for Temperature and humidity sensor AM2320

Pin	Name	Description
1	VDD	Power supply(3.1-5.5V)
2	SDA	Serial data, bidirectional port
3	GND	Ground
4	SCL	Serial clock input port (single bus ground)

Table 2.3 – Terms and descriptions of the humidity sensor

Term	Description
Transmitter	Send data to the device bus
Receptor	Device receiving data from the bus
Host computer	Transmit clock signal generating device initialization and termination sent
Slave	The device addressed by the host
Multi-master	At the same time there is more than one host attempts to control the bus, but do not destroy the message
Arbitration	There is a multiple hosts at the same time try to control the bus, but only allows it a control bus and make the message is not destroyed in the process
Synchronous	Two or more devices in the process of synchronizing the clock signal

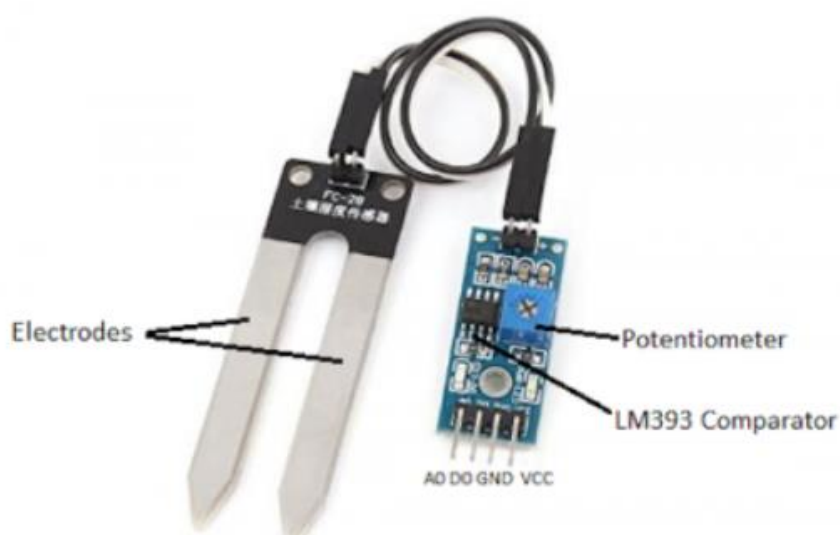


Figure 2.5 – Soil moisture sensor

The soil moisture sensor consists of two probes that are used to measure the volumetric content of water. The two probes allow the current to pass through the soil, which gives the resistance value to measure the moisture value.

When there is water, the soil will conduct more electricity, which means that there will be less resistance. Dry soil conducts electricity poorly, so when there is less water, then the soil will conduct less electricity, which means that there will be more resistance.

This sensor can be connected in analog and digital modes. First, we will connect it in analog mode, and then digital.

Specifications and characteristics

The specifications of the FC-28 soil moisture sensor are as follows:

- Input Voltage: 3.3-5V.
- Output Voltage: 0-4.2V.
- Input Current: 35mA.
- Output Signal: both analog and digital.

Pin-out:

The FC-28 soil moisture sensor has four pins:

- VCC: Power.
- A0: Analog Output.
- D0: Digital Output.
- GND: Ground.

The module also contains a potentiometer, which will set the threshold value. This threshold value will be compared by the LM393 comparator. The output LED will light up and down according to this threshold value.

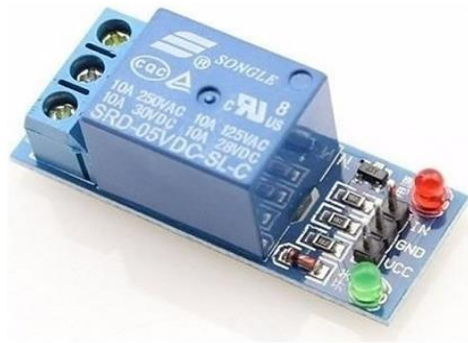


Fig 2.6 - Relay

The relay is a crucial component within the automated irrigation system, serving as a switch controlled by the central control unit to regulate the flow of electrical power to various devices. Its primary function is to enable or disable the power supply to devices such as solenoid valves or electric pumps based on commands received from the central control unit.

The relay employs a switching mechanism, typically either electromagnetic or solid-state, which allows it to control the power supply to connected devices. This switching mechanism ensures that the relay can handle the high-voltage power supply required by the devices in the system.

Control signals or commands are sent from the central control unit to the relay, usually in the form of low-voltage signals or specific voltage levels. Upon receiving the appropriate control signal, the relay switches the power supply to the connected devices on or off, based on the commands from the central control unit.

To ensure system protection and safety, the relay often incorporates various features. These may include surge protection, guarding against power fluctuations or transients, and overload protection to prevent excessive current flow.

Relays are designed to be reliable and durable, capable of withstanding harsh environmental conditions. They are often enclosed in protective casings to shield them from dust, moisture, and other external factors. The quality standards and certifications that the relay adheres to may vary depending on the specific manufacturer and model.

Interfacing with the central control unit and other components of the automated irrigation system, the relay plays a critical role in enabling precise control and automation. Without the relay, the system would not be able to efficiently regulate the power supply to devices, thereby compromising the overall effectiveness of the irrigation system.

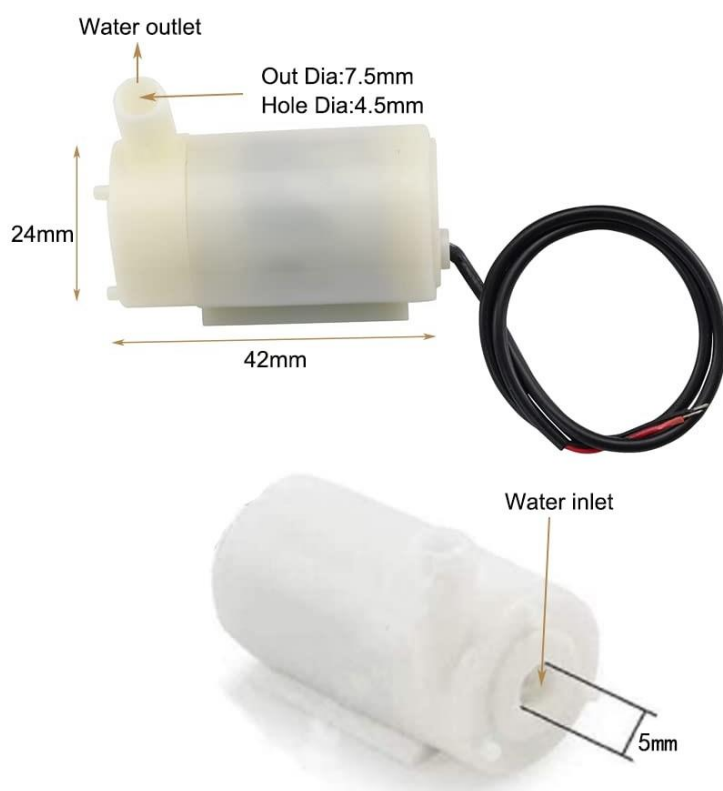


Fig 2.7 – Water pump

The pump is a crucial component of an automated irrigation system, responsible for supplying water to the irrigation network. It plays a vital role in ensuring the efficient and reliable distribution of water to the desired areas. The following important details about the pump highlight its significance within the system:

The pump types used in automated irrigation systems include centrifugal pumps, submersible pumps, or vertical turbine pumps. Each type offers specific advantages and is selected based on factors such as the water source, required pressure, and flow rate.

Drawing water from a designated source, such as a well, river, or reservoir, the pump's design and specifications depend on the characteristics of the water source, including the depth of the well or the flow rate of the river.

Typically powered by electricity, the pump can also utilize alternative power sources like solar energy or diesel generators. The power requirements of the pump vary based on the system's size and the desired flow rate.

The flow rate, measured in gallons per minute (GPM) or liters per second (L/s), determines the volume of water delivered to the irrigation network, while the pressure generated by the pump, measured in pounds per square inch (PSI) or bars, ensures proper water distribution throughout the system. Integration with the central control unit allows the pump to be regulated and automated according to predetermined irrigation schedules, sensor inputs (such as water level or pressure), or other specified parameters. This automation optimizes water usage and ensures timely irrigation.

Regular maintenance is crucial for the pump's longevity and performance. Tasks such as cleaning, lubrication, and periodic inspections should be conducted. Additionally, incorporating sensors or monitoring systems provides real-time data on pump performance, facilitating early detection of potential issues.

Energy efficiency is an important consideration for pumps in automated irrigation systems. Selecting pumps with high-efficiency motors and optimizing system design helps minimize energy consumption and reduce operational costs.

Compliance with relevant regulations and standards is essential. Depending on the region or country, there may be specific regulations governing the use and installation of pumps in irrigation systems. Adhering to these regulations ensures safety, reliability, and environmental sustainability.

In conclusion, the pump in an automated irrigation system serves the critical role of supplying water to the irrigation network. Its type, power source, flow rate, pressure, control and automation capabilities, maintenance requirements, energy efficiency, and compliance with regulations are all vital considerations when designing and analyzing an efficient irrigation system.



Figure 2.8 – Switch

The switch is an integral component within an automated irrigation system, functioning as a control mechanism for activating or deactivating various system functions. It facilitates the manual or automated control of electrical circuits, allowing the system to turn on or off specific devices or processes. The following key details about the switch underscore its significance within the system:

Various types of switches are employed in automated irrigation systems, including toggle switches, push-button switches, rotary switches, or electronic switches. The selection of the switch type is contingent upon factors such as the specific application, user interface requirements, and system design.

The switch offers both manual and automated control capabilities. Manual switches allow users to manually activate or deactivate devices as needed, providing a hands-on approach to system operation. Automated switches, often integrated with the central control unit, enable the system to control the switch based on predefined parameters or schedules, enhancing the system's automation capabilities.

Control signals are received by the switch from the central control unit or other components. These control signals can be in the form of low-voltage digital signals, specific voltage levels, or communication protocols. The switch interprets these signals and accordingly activates or deactivates the associated electrical circuit.

By controlling the flow of electrical power to specific devices or circuits within the irrigation system, the switch acts as an intermediary between the power supply and the devices. It allows for the selective activation or deactivation of electrical circuits as commanded by the central control unit, enabling precise control of system functions.

Safety features are often integrated into switches to safeguard the system and its users. For instance, switches may incorporate overload protection mechanisms to prevent excessive current flow or short circuits. Additionally, switches may possess protective enclosures to shield against environmental factors such as dust, moisture, or accidental contact.

User-friendly interfaces are incorporated into switches, providing visual feedback and assisting users in understanding the current state of the system. These interfaces may include indicator lights or labels that convey essential information regarding the system's status. User-friendly interfaces aid in the effective operation of the system and facilitate troubleshooting or maintenance activities.

Switches need to be compatible with the overall system design and electrical specifications. They should be capable of handling the voltage and current requirements of the connected devices or circuits within the irrigation system.

Reliability and durability are key considerations in the design of switches. They are engineered to endure frequent use and function reliably in diverse environmental conditions. High-quality switches ensure consistent performance and contribute to the overall reliability of the automated irrigation system.

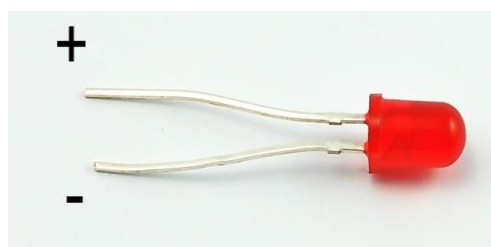


Figure 2.9 – Led light

In conclusion, the switch in an automated irrigation system serves as a crucial control mechanism for activating or deactivating system functions. Its ability to enable both manual and automated control, compatibility with control signals, circuit control capabilities, protective features, user interface considerations, integration within the system, and reliability all underscore its significance within the automated irrigation system.



moisture levels, which can lead to improved plant growth and reduced water usage. The system is able to monitor the moisture levels in the soil and adjust watering accordingly, ensuring that plants receive the appropriate amount of water without wasting any.

The implications of these findings are significant for smart greenhouse systems and plant watering. By automating the watering process, growers can reduce water usage, improve plant growth and yield, and save time and labor. This can lead to more sustainable and efficient agriculture practices, which is especially important in regions where water resources are limited or under stress.

The study also contributes to the existing knowledge base by demonstrating the effectiveness of cyber-physical systems for plant watering in a smart greenhouse. The interface that was developed can be applied to different types of plants and greenhouse setups, allowing for customization and flexibility. The results also highlight the importance of real-time monitoring and control of plant watering to ensure optimal plant growth and resource use.

In terms of future research, the study opens up opportunities to further optimize the interface and control system. For example, machine learning algorithms could be incorporated to predict plant water needs and adjust watering accordingly. The system could also be integrated with other smart greenhouse technologies, such as lighting and temperature control, to create a fully automated and optimized environment for plant growth.

Practical applications of the study's findings could include the development of commercial smart greenhouse systems that incorporate the cyber-physical interface for automated plant watering. This could be especially useful for small-scale farmers and urban agriculture, where space and water resources are limited. Overall, the study's findings have significant implications for improving the sustainability and efficiency of plant growth in smart greenhouse systems.



- Control of high-power circuits: Relays can switch and control high-power loads such as motors, pumps, and heaters, based on a low-power signal from a controller or sensor.
- Safety: Relays can provide a safe way to isolate the high-power circuit from the control circuit, which can protect the controller or user from high voltages, currents, or short circuits.
- Automation: Relays can be used in automated systems, such as industrial control, HVAC, lighting, and automotive applications, to control various loads and sensors.

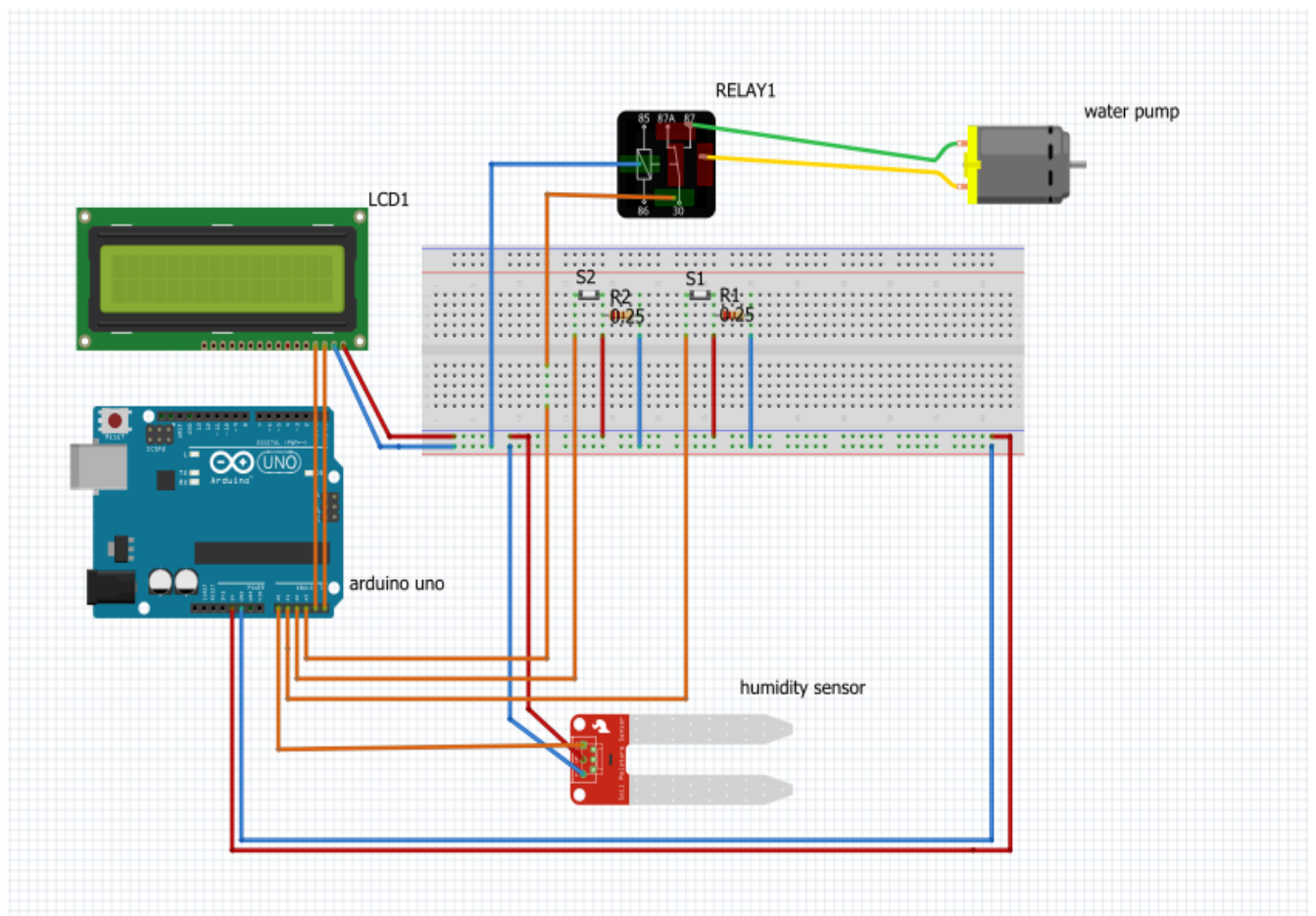


Figure 3.1 – Breadboard connection of the system components of the irrigation system

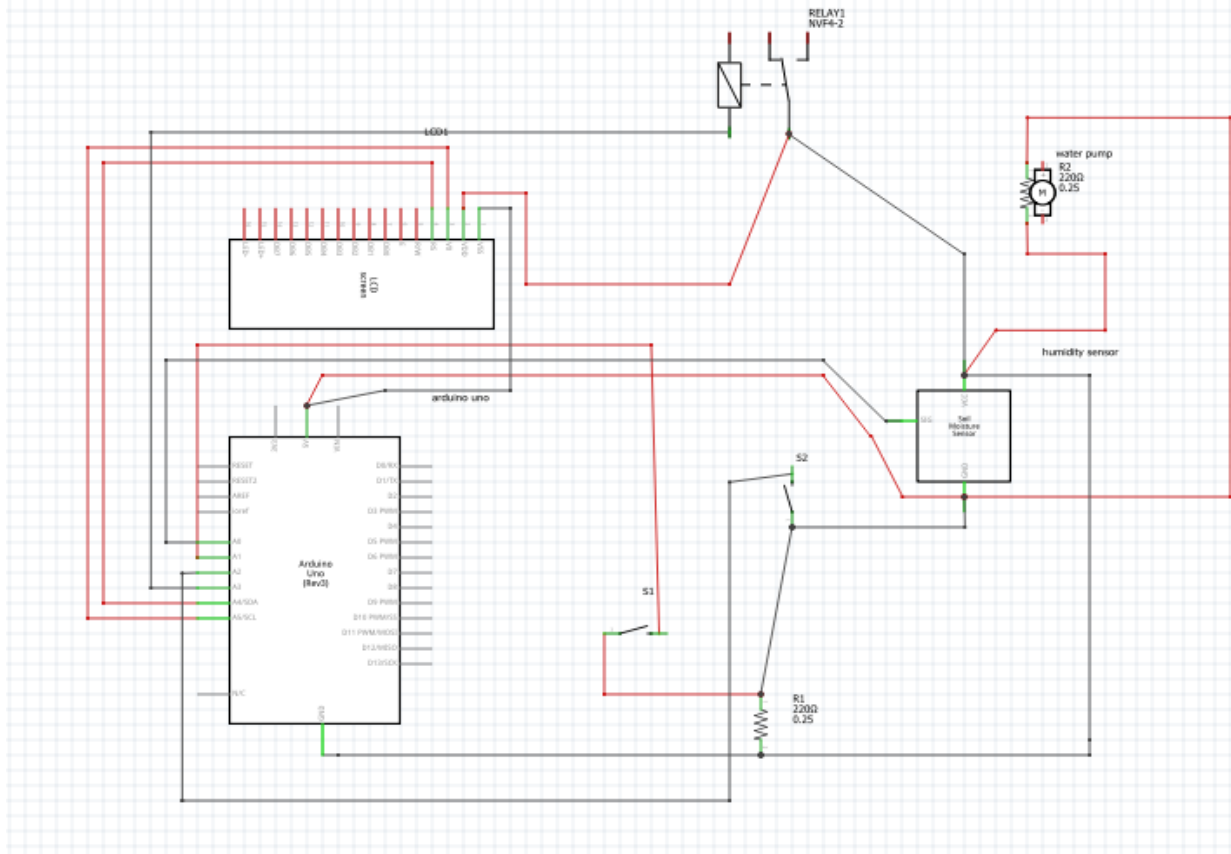


Figure 3.2 – The schematic diagram of the interconnection of the irrigation system

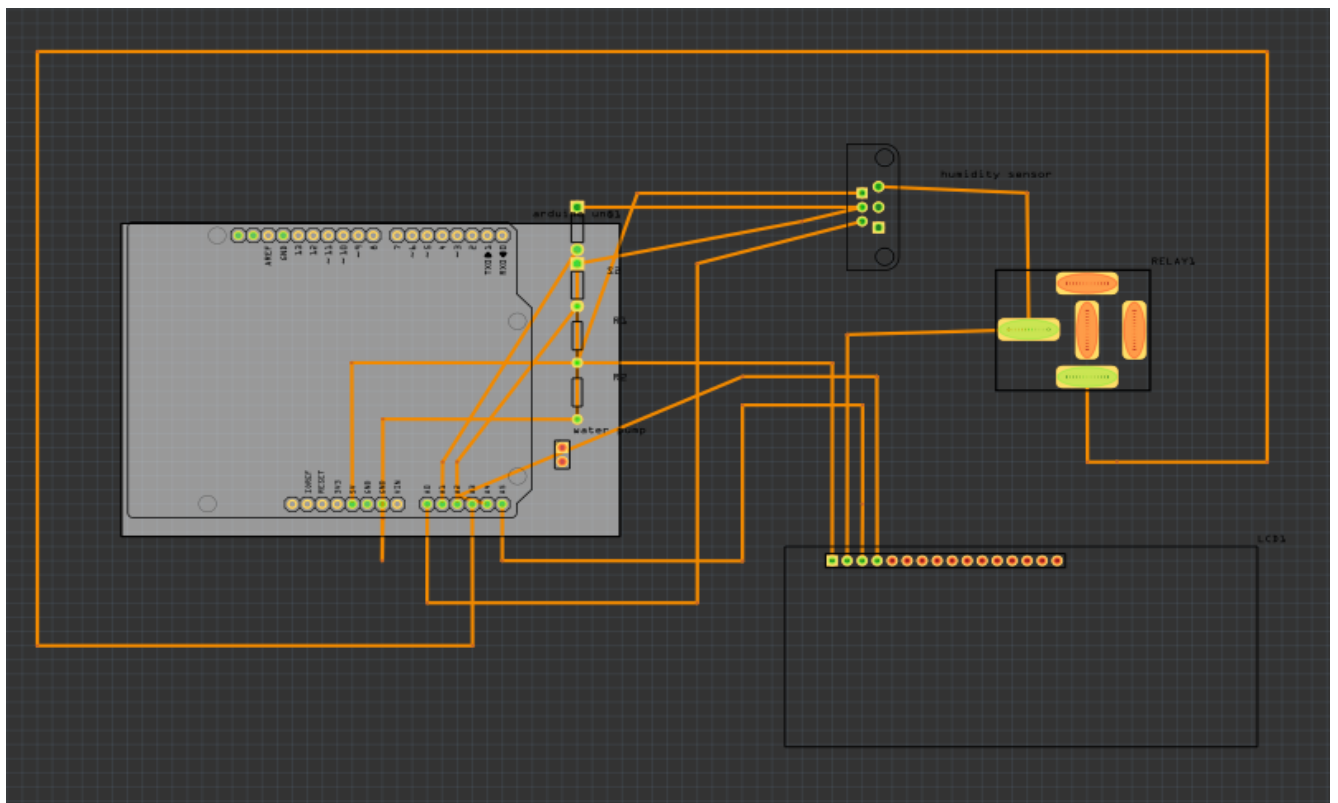


Figure 3.3 – PCB Diagram of the irrigation system

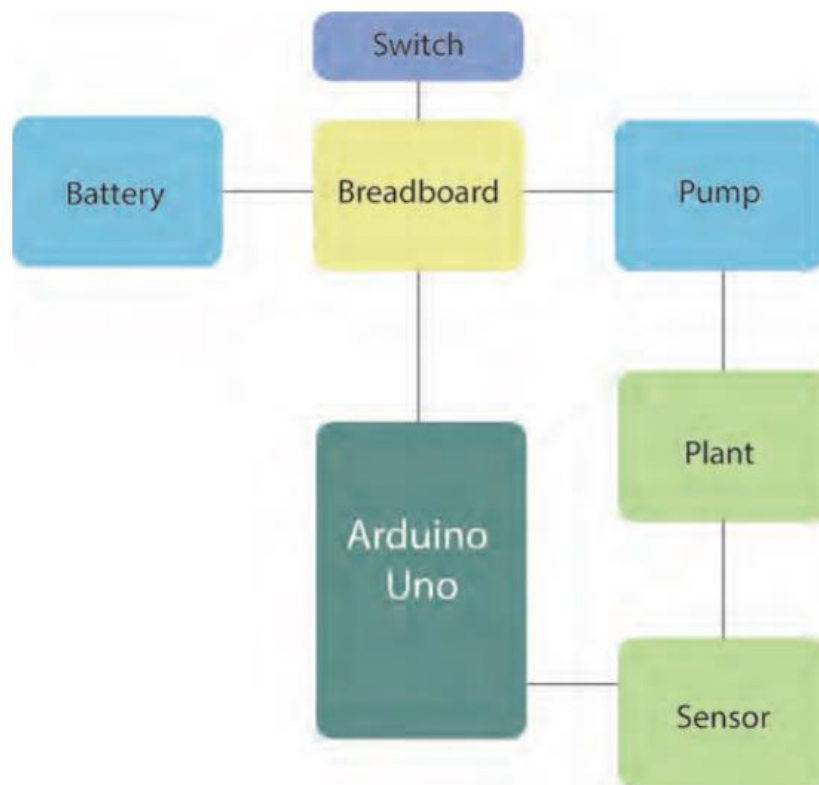


Figure 3.4 – Block diagram

### 3.2 Application of the framework for building the node-red web interface

A Node-RED web user interface builder. uibuilder aims to provide an easy-to-use way to create dynamic web interfaces using any (or no) front end libraries for convenience. uibuilder is rather the opposite of Node-RED's Dashboard. Whereas Dashboard is designed to make it very easy to create a UI but trades that off with some limitations, uibuilder is designed to let you do anything you can think of with any framework (or none) but at the trade-off of having to write your own front-end code. uibuilder should generally also be a lot faster and more resource efficient in use than Dashboard though that obviously depends on what front-end libraries and frameworks you choose to use.

The purpose of uibuilder is to:

- Support an easy method for creating and delivering data-driven web apps.
- Be a conduit between Node-RED and a front-end (browser) UI web app.



made from corrosion resistant material which can be stuck into soil sample. Voltage levels corresponding to the wet and dry status of the soil sample were computed by measuring the resistance between the moisture probes and matching them to output voltage of a comparator circuit.

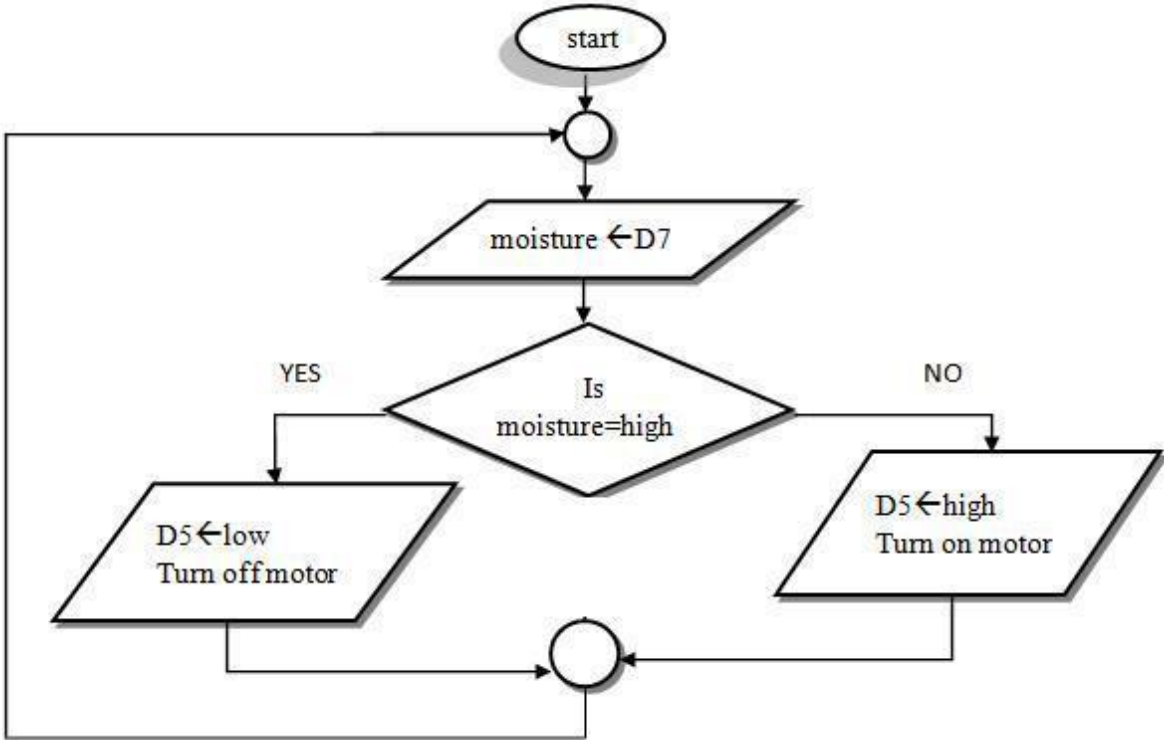


Figure 3.5 – Flowchart of how the moisture sensor works

3.3.1 Flowchart of how Automated plant watering system works

Explanation of the complete Flowchart on how the system works in steps.

1. Start: The system is turned on and begins to operate.
2. Moisture Sensor Readings: Moisture sensors are placed in the soil to measure the moisture levels. The readings are taken and processed by the microcontroller.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

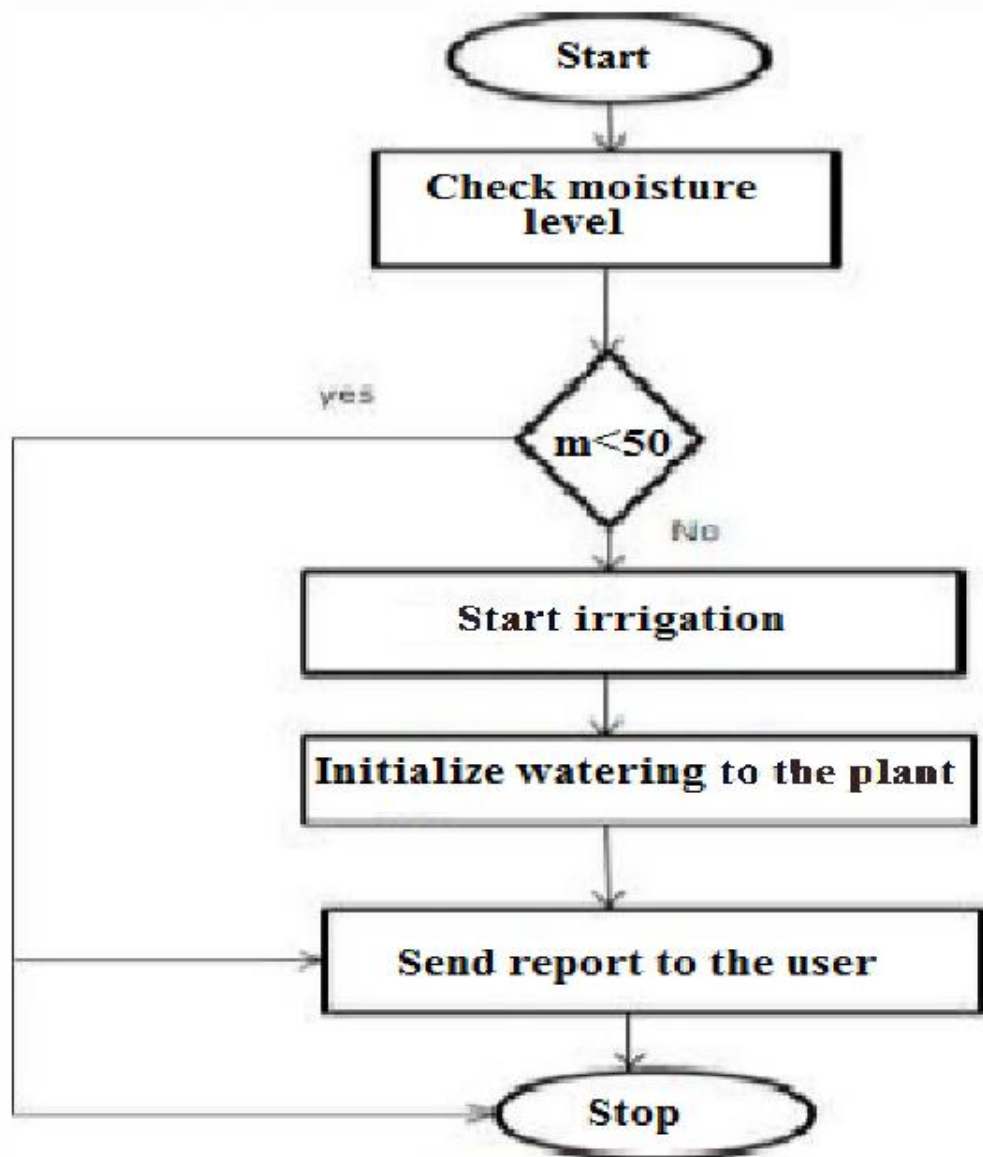


Figure 3.6 – Flowchart of how Automated plant watering system works.

3. Decision: Based on the readings from the moisture sensors, the microcontroller decides whether the soil is dry and needs water or if it is moist and doesn't need water.

4. Watering: If the soil is dry, the microcontroller activates the water pump or valve to release water into the soil.

5. Timer: The microcontroller runs a timer to determine the length of time that the water pump or valve should remain activated.

6. End: The water pump or valve is turned off and the system enters a dormant state until the next reading from the moisture sensors.

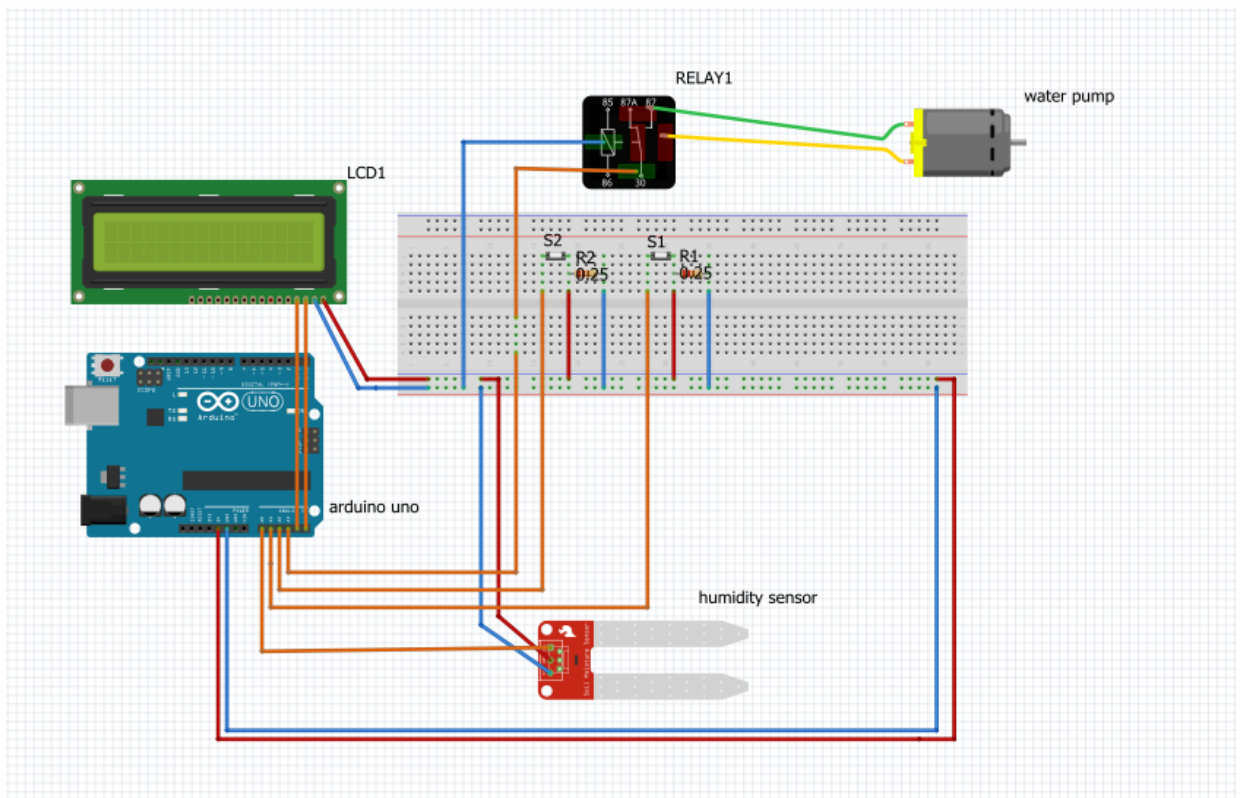


Figure 3.7 – Complete interconnection of components (Fritzing)

The proposal of this project was to provide an automatic water distribution and irrigation system with the help of moisture and a temperature sensor. And reduce the water consumption using this procedure and the new matrix system.

Application include: 1. This could be mainly employed in indoor agriculture and also for vertical agriculture. 2. This kind of mechanism may be used in all sorts of agriculture fields and mostly all kinds of plants. 3. This method could also be used in homes to automatically water the plants when an individual is not at home. 4. The data collected by this method could be used in data analysis to find out how fast moisture depletion takes place and which section requires more water. 5. Therefore, the applications of the method are multiple.

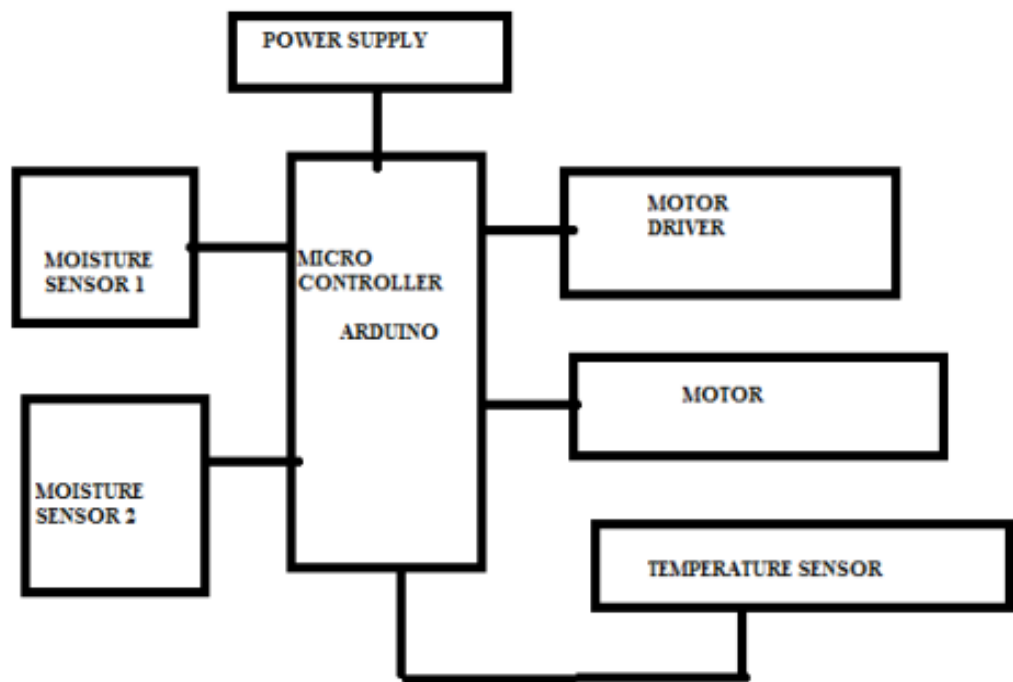


Figure 3.8 – Simple Block diagram of the complete system

This project provides a significant increase in the advantages to traditional irrigation methods. It provides the water to the soil based on the moisture content of the soil thereby reducing water wastage. It uses a matrix system to reduce both water consumption and excess pipelines. Thus, this is a complete improvement to the traditional agricultural irrigation methods and to previous automated method.

### 3.4 Interface of a cyber-physical system of a smart greenhouse for automating plant watering

The interface of a cyber-physical system of a smart greenhouse for automating plant watering is a crucial component of the overall system that enables users to remotely monitor and control the watering of plants in a greenhouse. This system integrates physical devices such as sensors, valves, and pumps with software and network technologies to create a seamless, automated system for managing plant watering. The interface serves as the point of interaction between the user and the cyber-physical system, providing real-time information about the greenhouse

environment, allowing the user to control the watering system, and providing alerts and notifications if any issues arise. The interface can be designed using user interface design principles and human-computer interaction principles to ensure that it is easy to use and effective for its intended purpose. Overall, the interface plays a critical role in enabling users to remotely manage and monitor a smart greenhouse, improving the efficiency of plant watering, and ultimately leading to more successful plant growth.

The stages involved in the interface of a cyber-physical system of a smart greenhouse for automating plant watering include:

1. Data collection.
2. Data processing and analysis.
3. Decision making.
4. Watering.
5. User interface.
6. User feedback.
7. Maintenance.

Explanatory:

1. Data collection: Gathering data from sensors about the greenhouse environment, including temperature, humidity, and soil moisture levels.

2. Data processing and analysis: Processing and analysing the data to determine the appropriate watering schedule for the plants.

3. Decision making: Making decisions about when to water the plants based on the processed data and any pre-set parameters.

4. Watering: Activating the watering system, including pumps and valves, to distribute water to the plants.

5. User interface: Displaying the status of the system and any alerts or notifications, as well as providing the user with the ability to make changes to the system settings.

6. User feedback: Collecting feedback from the user about the system's performance, including any issues or suggestions for improvements.

7. Maintenance: Monitoring the system for any maintenance needs, such as replacing sensors or repairing equipment.

### Circuit Diagram:

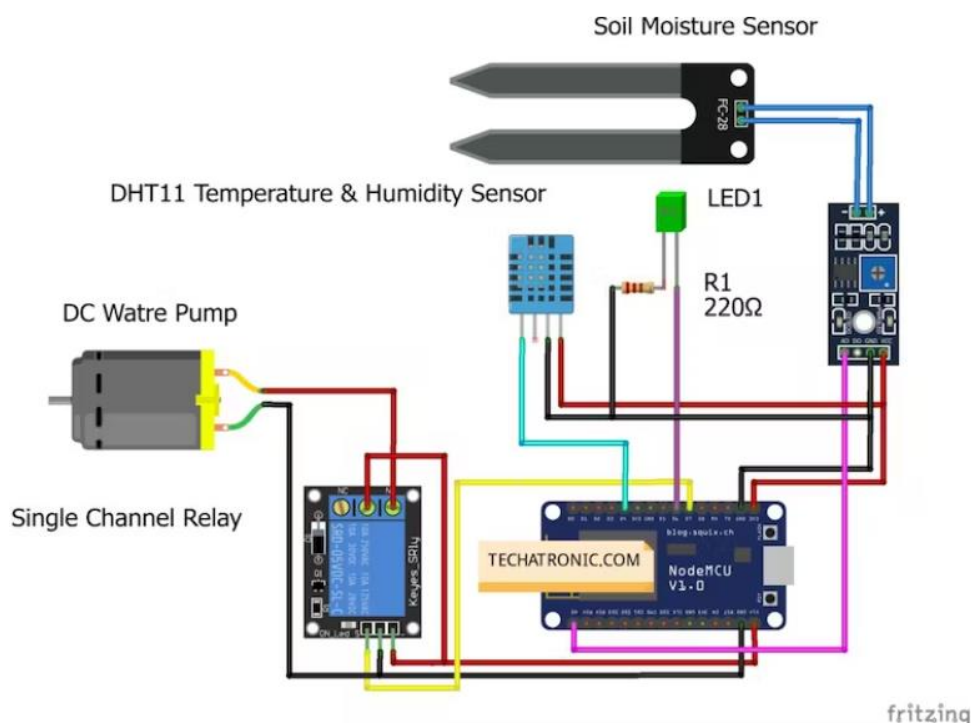


Figure 3.9 – Circuit Diagram

The requirements for each aspect is as mentioned:

1. Real-time monitoring: The interface should be able to display real-time information about the greenhouse. To achieve this, sensors need to be installed throughout the greenhouse to monitor temperature, humidity, soil moisture level, and the status of the watering system. These sensors are connected to a microcontroller or gateway, which transmits the data to the cloud. The interface then retrieves this data from the cloud and displays it in an easy-to-understand format, such as graphs or charts.

2. Control of the watering system: The interface should allow the user to control the watering system. To achieve this, a motorized valve is installed in the water supply line, and this valve can be controlled by a microcontroller or other device. The user can then control the valve using buttons or sliders on the interface. Additionally, a water pump may also be installed, which can be controlled in the same way.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

3. Alarms and notifications: The interface should be able to alert the user if there are any issues with the system. To achieve this, the interface can be set up to monitor the data from the sensors, and if any readings fall outside of the expected range, an alarm or notification is triggered. These alerts can be in the form of pop-up messages, email notifications, or text messages.

4. Historical data: The interface should provide the user with access to historical data. To achieve this, the data from the sensors needs to be stored in a database, such as a time-series database. The interface can then retrieve this data from the database and display it in the form of graphs or tables.

5. User management: The interface should have user management features. To achieve this, the interface needs to have a user authentication and authorization system in place. This could involve using a username and password.

- authentication methods such as biometrics. Different users can then be assigned different levels of access based on their role or responsibility.

- Mobile access: The interface should be accessible through mobile devices. To achieve this, the interface needs to be designed using responsive web design principles, which allows the interface to adjust to different screen sizes. Additionally, the interface should be accessible through a mobile app, which can be downloaded from app stores.

### 3.5 Setup of Weaved and the Raspberry Pi

Weaved is a cloud-based service that allows you to remotely access your Raspberry Pi from anywhere with an internet connection. This can be useful if you need to monitor or control your Raspberry Pi from a remote location or if you want to create a network of interconnected devices.

The Raspberry Pi is a series of small, single-board computers designed and developed by the Raspberry Pi Foundation in the United Kingdom. The purpose of the Raspberry Pi is to provide an affordable and accessible platform for teaching computer science and programming, as well as for hobbyist and DIY projects.

1. Remote Access: Weaved provides remote access to your devices from anywhere with an internet connection. With Weaved, you can securely access your

devices, such as Raspberry Pi, Linux computers, and IoT devices, remotely from any location using a web browser or mobile app.

2. **Secure IoT Connectivity:** Weaved provides a secure and reliable platform to connect your IoT devices to the cloud. It allows you to securely connect your IoT devices to cloud services and share data with other devices over the internet.

3. **Remote Management:** Weaved offers remote management services for your devices. With remote management, you can remotely monitor and manage your devices, such as firmware upgrades, software updates, and device configurations, without needing physical access to the device.

4. **IoT Gateway:** Weaved offers an IoT Gateway service that enables you to securely connect your IoT devices to the cloud. The IoT Gateway provides secure communication between your IoT devices and cloud services, making it easier to manage and control your devices from anywhere with an internet connection.

5. **Remote Debugging:** Weaved provides remote debugging services for your devices. With remote debugging, you can remotely diagnose and fix issues with your devices without needing physical access to the device.

Overall, Weaved offers a range of services to remotely access and manage your devices over the internet, making it easier to control and monitor your devices from anywhere with an internet connection.

How to connect Raspberry Pi to the internet:

1. Connect your Raspberry Pi to your local network using an Ethernet cable or a Wi-Fi dongle.

2. If you are using an Ethernet cable, plug one end into the Ethernet port on your Raspberry Pi and the other end into your router.

3. If you are using a Wi-Fi dongle, plug it into one of the USB ports on your Raspberry Pi and configure the Wi-Fi settings to connect to your local network.

4. Once your Raspberry Pi is connected to your local network, you should be able to access the internet through your router.

5. You can test your internet connection by opening a web browser and navigating to a website.

					QWCE. 19005.04.01.01 EN	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		47



```
***** Protocol Selection Menu *****
*
* 1) SSH on default port 22
* 2) Web (HTTP) on default port 80
* 3) WebIOPi on default port 8000
* 4) VNC on default port 5901
* 5) Custom (TCP)
*
*****

Please select from the above options (1-5):
2
You have selected: 2.

The default port for Web (http) is 80.
Would you like to continue with the default port assignment? [y/n] y
We will install Weaved services for the following:

Protocol: web
Port #: 80
Service name: Weavedweb80

Please enter your Weaved Username (email address):
█
```

Figure 3.11 – Make the Weaved Software Executable.

```
***** Protocol Selection Menu *****
*
* 1) SSH on default port 22
* 2) Web (HTTP) on default port 80
* 3) WebIOPi on default port 8000
* 4) VNC on default port 5901
* 5) Custom (TCP)
*
*****

Please select from the above options (1-5):
2
You have selected: 2.

The default port for Web (http) is 80.
Would you like to continue with the default port assignment? [y/n] y
We will install Weaved services for the following:

Protocol: web
Port #: 80
Service name: Weavedweb80

Please enter your Weaved Username (email address):
█
```

Figure 3.12 – Choose a Service.

When we first start, we will be asked to install one of the Weaved services: SSH on port 22, Web (http) on port 80, WebIOPi on port 8000, VNC on port 5091 (tested with tightvncserver), or A custom TCP service on your port of choice....

In this example, we'll choose the second option, http on port 80.

```
*****
CONGRATULATIONS! You are now registered with Weaved.
Your registration information is as follows:

Device alias:
weaved_tutorial_4_pi

Device UID:
16:00:00:05:40:00:00:00

Device secret:
*****

The alias, Device UID and Device secret are kept in the License File:
/etc/weaved/services/Weavedweb80.conf

If you delete this License File, you will have to re-run the installer.

*****

Starting and stopping your service can be done by typing:
"sudo /usr/bin/Weavedweb80.sh start|stop|restart"
pi@raspberrypi ~ $
```

Figure 3.13 – Enter Your Weaved Login Information

Now we Enter in the information we setup in Step 1.

Be sure: not your Raspberry Pi login information, but the information for your weaved account (which we setup in Step 1!).

```
We will now register your device with the Weaved backend services.
Please provide an alias for your device:
weaved_tutorial_4_pi
```

Figure 3.14 – Setup of Weaved and the Raspberry Pi



```
sudo apt-get install apache2 -y
```

Your current list of devices

train_station	inactive (71.163.23.159/192.168.1.19)	Delete
weaved_tutorial_4_pi	active (50.202.78.174/10.2.11.63)	Connect   Delete
80:00:00:05:46:00:07:B3	inactive (71.163.23.159/192.168.1.19)	Delete

Figure 3.17 – Check That the New Device Is Online.

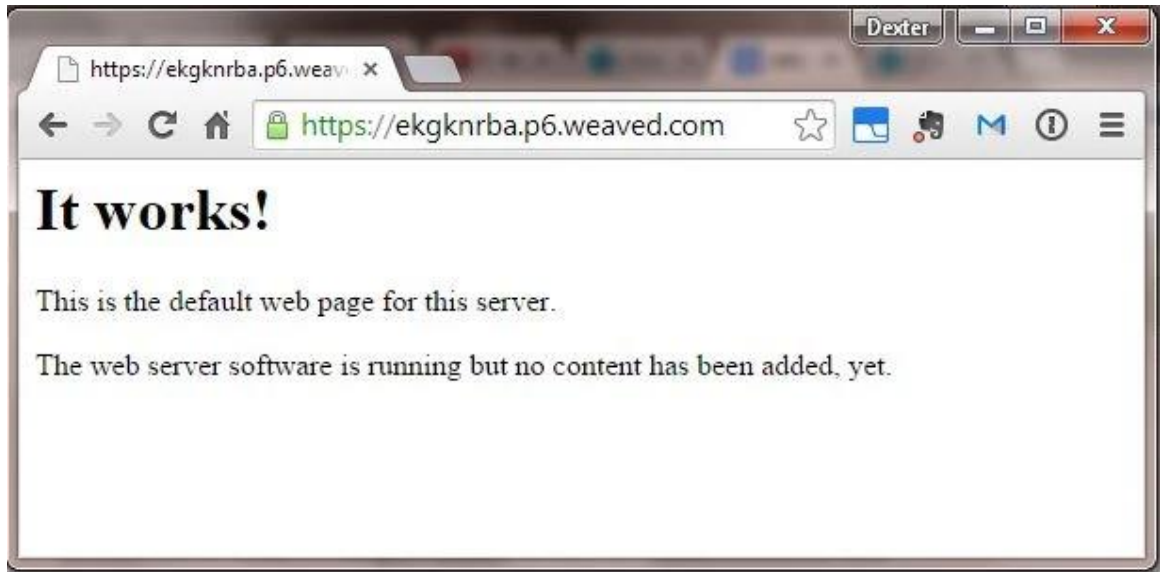


Figure 3.18 – Check Out Website

In the weaved developer console, click “Connect” and a new window will be opened up.

It works! If we type in the address you see after https:// in the browser below, you can see it in your mobile phone, or from anywhere on the internet

Properties and characteristics of weave include:

Overview: Provide a brief overview of Weaved and its features, including its cross-platform compatibility, remote access, encryption, authentication, flexibility, scalability, cost-effectiveness, integration with other technologies, simple installation and configuration, and support.

**Architecture:** Describe the architecture of Weaved, including its components, modules, and layers. Explain how Weaved works and how it communicates with remote devices.

**Design and implementation:** Discuss the design and implementation of Weaved, including its software design, programming languages, algorithms, data structures, and tools. Provide examples of how Weaved can be used in different applications.

**Performance:** Evaluate the performance of Weaved, including its latency, throughput, scalability, and reliability. Compare its performance to other similar technologies, and analyse its strengths and weaknesses.

**Security:** Analyse the security of Weaved, including its encryption, authentication, access control, and other security mechanisms. Discuss potential security threats and vulnerabilities, and propose solutions to mitigate them.

**User experience:** Evaluate the user experience of Weaved, including its ease of use, accessibility, usability, and user satisfaction. Conduct user studies and surveys to collect feedback from users, and analyze the results.

**Impact:** Discuss the impact of Weaved on the field of IoT and remote access technology, and its potential applications in various domains. Analyze its strengths, weaknesses, opportunities, and threats, and propose future research directions.

**Comparison with other technologies:** Compare Weaved with other similar technologies, including their features, performance, security, and user experience. Analyze their similarities and differences, and explain why Weaved is a better choice for certain applications.

**Limitations and future work:** Discuss the limitations of Weaved, including its performance limitations, scalability limitations, and security limitations. Propose future work to address these limitations and improve the functionality of Weaved.

**Conclusion:** Summarize the key findings of your thesis project and provide a conclusion. Discuss the significance of your research and its potential impact on the field of IoT and remote access technology.

Advantages of using Weaved on a Raspberry Pi system include:

– Ease of use: Weaved provides a simple and user-friendly way to remotely access and manage a Raspberry Pi system. The software is easy to install and configure, and requires no technical expertise.

– Cross-platform compatibility: Weaved supports multiple operating systems, including Linux, Windows, and Mac, making it easy to use across different platforms.

– Security: Weaved uses encryption to ensure that data transmitted between the Raspberry Pi and remote devices is secure. It also provides authentication mechanisms to prevent unauthorized access.

– Flexibility: Weaved can be used for a wide range of applications, including home automation, IoT device management, and remote access to data and applications.

– Cost-effective: Weaved is an affordable solution that requires no additional hardware or infrastructure.

Disadvantages of using Weaved on a Raspberry Pi system include:

– Dependency on cloud servers: Weaved relies on cloud servers to establish the remote connection between the Raspberry Pi and remote devices. This could potentially create a single point of failure if the cloud servers go down.

– Limited customization: Weaved provides a limited set of customization options, which may not be sufficient for advanced users who require more control over their remote access solution.

– Performance limitations: Weaved may not provide optimal performance for certain applications, such as those that require low latency or high bandwidth.

– Data privacy concerns: Weaved transmits data over the internet, which could potentially expose sensitive information to hackers or other third parties.

– Subscription-based model: Weaved requires a subscription to access certain features and functionalities, which could become expensive over time for users with multiple Raspberry Pi systems or a large number of devices

### 3.6 Material cost

The cost of the materials of the proposed cyber-physical automatic irrigation system was estimated (Table 3.1).

Table 3.1 – Material cost

Name	Cost
Raspberry Pi	\$180 (current market price)
Soil moisture sensor	\$5(current Amazon price)
Water pump	\$15(Amazon)
Relay Module	\$20(Amazon)
Transistor	\$2(Amazon)
Diode (1N4007)	\$2 (Amazon)
Capacitor (100uF)	\$10(Amazon)
Resistor (220 ohm, 10k ohm)	\$10(Amazon)
Led light	\$1 (Amazon)
Breadboard	\$12(Amazon)
Power Supply (12V DC Power Adapter)	\$5 (Amazon)
solenoid valve	\$6 (Amazon)
Total cost	\$350

## CONCLUSION

Automated plant watering systems based on a Raspberry Pi single-board computer system have become increasingly popular in recent years. These systems offer numerous advantages over traditional irrigation methods, including improved efficiency, reduced water consumption, and enhanced crop yields. In my project, we conducted research on the development and implementation of a Raspberry Pi-based automated plant watering system, with the aim of evaluating its performance and identifying areas for improvement.

To develop our automated plant watering system, we used a Raspberry Pi 4 single-board computer and a range of sensors and actuators, including a moisture sensor, a water pump, and a solenoid valve. We programmed the system using Python and developed a user interface web framework. We then tested the system by measuring the moisture levels of different types of plants and comparing the results to manual watering.

Our tests showed that the Raspberry Pi-based automated plant watering system was able to maintain optimal soil moisture levels for a range of different plant types. The system was able to accurately detect changes in moisture levels and adjust the watering accordingly, resulting in more consistent and effective irrigation compared to manual watering. We also found that the system was able to save water by delivering only the amount of water that was needed, reducing water waste and improving sustainability.

Our research suggests that the use of a Raspberry Pi-based automated plant watering system has the potential to revolutionize the way we irrigate plants and manage water resources. By automating the irrigation process, we can reduce the need for manual labor and ensure that plants receive the right amount of water at the right time. This can lead to improved crop yields and reduced water consumption, which is especially important in areas with limited water resources.

However, there are also some challenges associated with the use of Raspberry Pi-based automated plant watering systems. These include issues related to power supply,

					QWCE. 19005.04.01.01 EN	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		56

connectivity, and data management. To address these challenges, it is important to carefully design the system and choose components that are compatible with the Raspberry Pi platform.

In conclusion, our research has shown that the use of a Raspberry Pi-based automated plant watering system offers numerous advantages for growers and farmers. By automating the irrigation process, we can improve the efficiency and sustainability of agricultural practices, while also reducing the need for manual labor. However, it is important to carefully design and implement these systems to ensure their effectiveness and reliability. With further research and development, it is possible to create more advanced systems that can adapt to changing environmental conditions and deliver even greater benefits. Overall, the use of a Raspberry Pi-based automated plant watering system shows great potential for improving the efficiency and sustainability of agriculture, and we look forward to seeing its continued development in the future.

In conclusion, this thesis has explored the interface of a cyber-physical system for automating plant watering in a smart greenhouse. The study has demonstrated that the system is effective in maintaining optimal soil moisture levels, which can lead to improved plant growth and reduced water usage. The results of the study have implications for improving the sustainability and efficiency of plant growth in smart greenhouse systems.

The main contributions of this study include the development and evaluation of a cyber-physical interface for plant watering, which can be customized and integrated with other smart greenhouse technologies. The study has also highlighted the importance of real-time monitoring and control of plant watering for optimal plant growth and resource use.

However, the research also had some limitations. Firstly, the study was conducted on a small scale, and therefore the results may not be generalizable to larger systems. Additionally, the study did not incorporate machine learning algorithms for plant water needs prediction and adjustment.

Future work in this area could include the development of machine learning algorithms to predict plant water needs and adjust watering accordingly. Further

research could also be conducted on the scalability and commercialization of the cyber-physical interface, as well as its integration with other smart greenhouse technologies.

In summary, this thesis has provided valuable insights into the interface of a cyber-physical system for automating plant watering in a smart greenhouse. The findings have implications for improving the sustainability and efficiency of plant growth in smart greenhouse systems, and future work could further optimize and scale up the system.

					QWCE. 19005.04.01.01 EN	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



12. Null L., Lobur Y. Essentials of Computer Organization and Architecture, *Jones & Bartlett Learning*; 5th edition, 2018. – 744 p.
13. Kravets A.G., Bolshakov A.A., M.V. Shcherbakov Cyber-Physical Systems: Industry 4.0 Challenges (Studies in Systems, Decision and Control, 260). *Springer*; 1st ed., 2020. 349 p.
14. Rea P., Ottaviano E., Machado J. and Antosz K. Design, Applications, and Maintenance of Cyber-Physical Systems, *Engineering Science Reference*, 2021. 314 p.
15. Li B. S. X., Wan B., Wang C., Zhou X., Chen X. Definitions of predictability for cyber physical systems, *Journal of Systems Architecture*. 2016.
16. Raspberry Pi, URL: <https://www.raspberrypi.org/>
17. Poliakov, M., Larionova, T. Control Systems with programmable logic controllers, Remote and virtual tools in engineering: *textbook, general editorship* Dr.Ing.Karsten Henke. Zaporizhzhya: Dike Pole, 2016. 250 p.
18. Barrett S.F. Microchip AVR® Microcontroller Primer: Programming and Interfacing. *Morgan & Claypool Publishers*, 2019. 374 p.
19. Papazoglou P. M. An Educational Guide to the AVR Microcontroller Programming: AVR Programming::Demystified (Assembly Language). *CreateSpace Independent Publishing Platform*, 2018. 274 p.
20. Nicheporuk A., Nicheporuk A., Sachenko A., A System for Detecting Anomalies and Identifying Smart Home Devices Using Collective Communication, *CEUR-WS*. Vol. 2853. Pp. 386-397.
21. Molly Edmonds & Nathan Chandler, How Smart Homes Work, URL: <https://home.howstuffworks.com/smart-home.htm>
22. Bhattacharjee S. Practical Industrial Internet of Things Security. Birmingham, United Kingdom: Packt Publishing Ltd 2018. 324 p.
23. Kumar V., R. Chawda Research paper on smart home, *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 2020. Vol. 5. Issue 3. pp. 530-532.
24. Atzori L., Iera A., and Morabito G., The Internet of Things: A Survey, *Computer Networks*. Vol. 54. no 15. 2010. pp. 2787–2805.

25. Cho M.E., Kim, M.J. Smart Homes Supporting the Wellness of One or Two-Person Households, *Sensors*. 2022. 22, 7816.
26. Yanagida K. Ueda Y., Go K., Takahashi K., Hayakawa S., Yamazaki K., Structured Scenario-Based Design Method, *In Proceedings of the 1st International Conference on Human Centered Design*, San Diego, CA, USA, 19–24 July 2009, pp. 374–380
27. Kishita Y., Mizuno Y., Fukushige S., Umeda Y. Scenario structuring methodology for computer-aided scenario design: An application to envisioning sustainable futures, *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 2020. 160. 120207
28. Rhee J.H., Ma J.H., Seo J., Cha S.H., Review of applications and user perceptions of smart home technology for health and environmental monitoring, *J. Comput. Des. Eng.* No 9. 2022, pp. 857–889.
29. Tiwari P., Garg V., Agrawal R. Changing World: Smart Homes Review and Future. *In Smart IoT for Research and Industry*, Springer International Publishing: Cham, Germany, 2022, pp. 145-160.
30. Hosseini S. S., Non-intrusive load monitoring through home energy management systems: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 79, 2017, pp. 1266-1274.

## Appendix A Code for programs

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

# Set GPIO mode and pins
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
pump_pin = 18
moisture_pin = 17

# Set up pump relay
GPIO.setup(pump_pin, GPIO.OUT)
GPIO.output(pump_pin, GPIO.HIGH)

# Set up moisture sensor
GPIO.setup(moisture_pin, GPIO.IN)

# Define a function to turn on the water pump
def water_plants():
    GPIO.output(pump_pin, GPIO.LOW)
    time.sleep(5)
    GPIO.output(pump_pin, GPIO.HIGH)

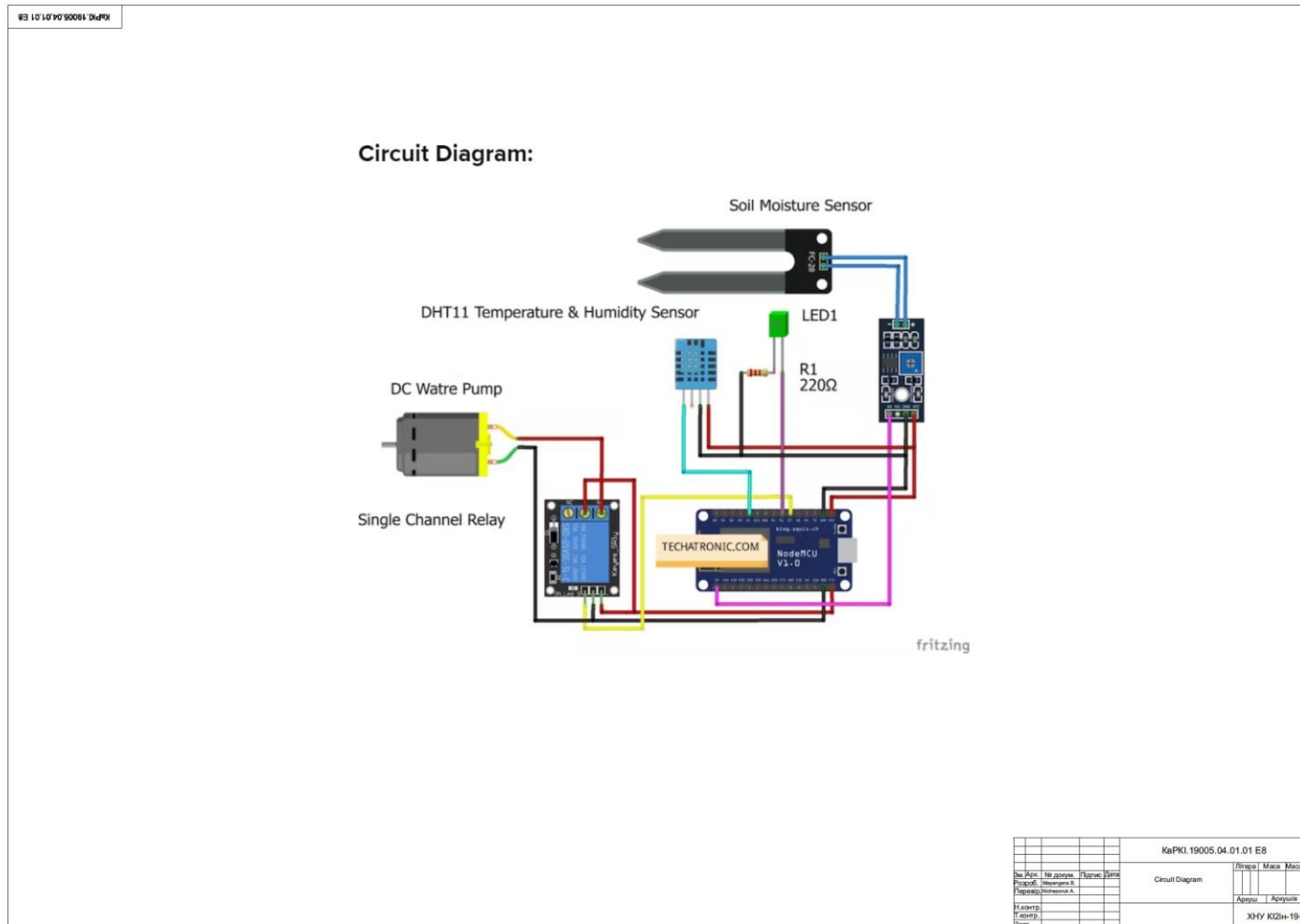
# Define a function to read the moisture level
def read_moisture():
    moisture = GPIO.input(moisture_pin)
    return moisture

# Main loop
```

```
while True:
    moisture_level = read_moisture()
    if moisture_level == 1:
        print("Soil is dry, watering plants...")
        water_plants()
    else:
        print("Soil is moist, no need to water.")
    time.sleep(60) # Check moisture level every minute
```

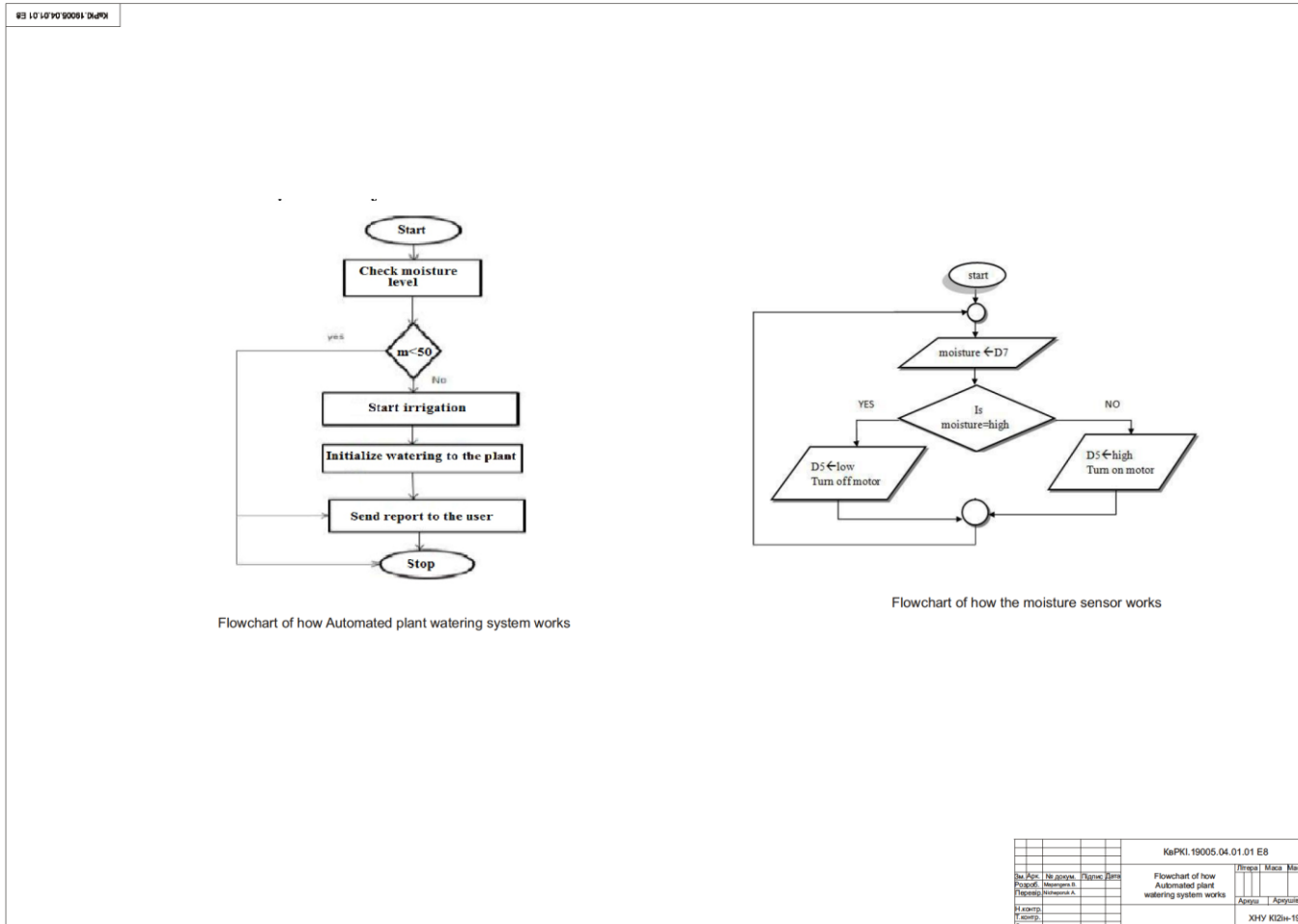
This code reads the moisture level from the sensor every minute. If the soil is dry, it turns on the water pump for 5 seconds to water the plants. If the soil is moist, it doesn't water the plants.

## Appendix B Circuit Diagram



## Appendix C

### Flowchart of how Automated plant watering system works





КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Кіберфізична система автоматизованого поливу рослин на основі одноплатної комп'ютерної системи Raspberry Pi

Назва теми

КВРКІ.19005.04.01.01 ПЗ

Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Виконав: студент IV курсу, група КІн-19-1

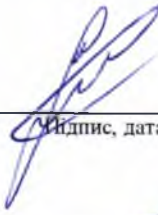


Підпис

Б. Мапангера

Ініціали, прізвище

Керівник




Підпис, дата

А.О. Нічепорук

Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

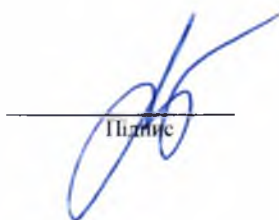


Підпис, дата

С.М. Лисенко

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри комп'ютерної  
інженерії та інформаційних  
систем



Підпис

Т.О. Говорущенко

Ініціали, прізвище

« 8 » червня 2023 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Мапангера Брайт

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система автоматизованого поливу рослин на основі одноплатної комп'ютерної системи Raspberry Pi

Керівник проекту (роботи) Нічепорук А.О., доцент кафедри КІІС.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 01.03.2021 р. № 5

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 07.06.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

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

Аналіз відомих інструментів та рішень

Вибір елементної бази

Реалізація кіберфізичної системи автоматизованого поливу рослин на базі одноплатної комп'ютерної системи Raspberry Pi





5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

Схема електрична принципова

Структурна схема

Блок-схема роботи автоматизованої системи поливу рослин

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 11 » 01 2023 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	11.01.2023	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2023	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих засобів та рішень	01.03.2023	виконано
4	Робота над розділом 2 – Вибір елементної бази кіберфізичної системи автоматизованого поливу	01.04.2023	виконано
5	Робота над розділом 3 – Проектування та реалізація кіберфізичної системи автоматизованого поливу	30.04.2023	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	26.05.2023	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2023	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2023 року	

Студент



Підпис

Мапангера Б.

Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи)



Підпис

Нічепорук А.О.

Ініціали, прізвище



## АНОТАЦІЯ

Тема бакалаврської роботи: «Кіберфізична система автоматизованого поливу рослин на основі одноплатної комп'ютерної системи Raspberry Pi».

Автор: *Мапангера Брайт*

Науковий керівник: *Нічепорук А.О.*

Пояснювальна записка: 58 с., 26 рис., 4 таблиці, 4 додатки. 30 джерел.

Графічна частина: 3 схеми

Ключові слова : КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ПОЛИВ РОСЛИН

Метою дипломної роботи є розробка системи поливу на основі рівня вологості ґрунту.

Сільське господарство є однією з найважливіших галузей, коли справа доходить до виробництва продуктів харчування, тому пошук шляхів скорочення робочої сили в галузі є дуже важливим. Щоб ця галузь була продуктивною, їй потрібна вода, а в деяких регіонах менше природних дощів, ніж у деяких інших, і тому були розроблені різні типи іригаційних систем, які забезпечують потреби у воді. У цьому дослідженні ми розглядаємо автоматизовану систему зрошення.

Підпис студента







Дата

6.06.2023

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....	3
ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ІНСТРУМЕНТІВ ТА РІШЕНЬ .....	8
1.1 Принципи роботи автоматизованих систем поливу рослин .....	8
1.2 Аналіз відомих автоматизованих систем поливу рослин.....	12
1.3 Апаратно-програмна платформа Raspberry Pi 22 .....	15
1.4 Автоматизована система зрошення Raspberry Pi: недоліки та рішення ....	18
1.5 Огляд літератури .....	21
1.6 Постановка задачі.....	22
2 ЕЛЕМЕНТАРНА БАЗА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗУМНОЇ ТЕПЛИЦІ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОЛИВУ РОСЛИН.....	24
2.1 Вибір кіберфізичної системи та елементарної бази.....	24
2.2 Висновки згідно розділу 2 .....	36
3 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПОЛИВУ РОСЛИН НА БАЗІ ОДНОПЛАТНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ RASPBERRY PI.....	38
3.1 Макетне з'єднання і принципова схема.....	38
3.2 Застосування фреймворку для побудови Node red веб-інтерфейсу.....	42
3.3 Алгоритми реалізації автоматичного поливу .....	43
3.3.1 Блок-схема роботи автоматизованої системи поливу рослин.....	44
3.4 Інтерфейс кібер-фізичної системи розумної теплиці для автоматизації поливу рослин .....	46
3.5 Налаштування Weaved і Raspberry Pi.....	50
3.6 Оцінка вартості проекту.....	58
ВИСНОВКИ .....	58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....	64

					КВРКІ. 19005.04.01.01 ПЗ			
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Кіберфізична система автоматизованого поливу рослин на базі одноплатної комп'ютерної системи Raspberry	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Мапангера Б.						2	58
Перевір.	Нічепорук А.							
Н.контр.	Лисенко С.М.							
Затвер.	Говорухина О.			08.09				ХНУ, КІІн-19-1

Додаток А Програмний код.....	52
Додаток Б Копія креслення «Принципова схема» .....	54
Додаток В Копія креслення «Блок-схема роботи автоматизованої системи поливу рослин» .....	55
Додаток Г Копія креслення «Структурна схема системи» .....	56

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		3

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ОС – Операційна система

LED – світлодіод

VWC – об'ємний вміст води

АЛУ – Арифметична логічна одиниця

CPU – Центральний процесор

RAM – оперативна пам'ять

USB – універсальна послідовна шина

МГц – мегагерц

GPS – Глобальна позиційна система

TWT – трубка з мандрівною хвилею

SPI – послідовний периферійний інтерфейс

PCB – друкована плата

IC – інтегральна мікросхема

ВВП – валовий внутрішній продукт

TWT – трубка біжучої хвилі

CPS – Кіберфізичні системи

ПЛК – програмоване логічне управління

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Сільське господарство є однією з найважливіших галузей, коли справа доходить до виробництва продуктів харчування. Тому пошук шляхів скорочення робочої сили в галузі є дуже важливим. Щоб ця галузь була продуктивною, їй потрібна вода, а в деяких регіонах менше природних дощів, ніж у деяких інших, і тому ми розробили різні типи іригаційних систем, які працюють і забезпечують водою відповідно до потреби. У цьому дослідженні конкретно ми розглядаємо автоматизовану систему зрошення.

При системі самостійного поливу можна автоматично зрошувати рослину і підтримувати його поливанням і здоровим. Рослини дуже важливі для всіх живих організмів, оскільки забезпечують як кисень, так і вуглекислий газ. Автоматизація систем поливу рослин може мати значний вплив на людство кількома способами. По-перше, це може поліпшити продовольчу безпеку, забезпечивши, щоб культури отримували потрібну кількість води в потрібний час, що може допомогти збільшити врожайність і зменшити відходи. Це особливо важливо в районах, де води не вистачає або де ручна праця дефіцитна або дорога. Автоматизовані системи поливу рослин можуть допомогти зберегти воду, скоротивши надмірний полив, що є поширеною проблемою ручних методів поливу.

Крім того, автоматизація систем поливу рослин також може допомогти скоротити час і зусилля, необхідні для ручного поливу, який може бути фізично складним і трудомістким. Це може принести користь фермерам, садівникам та іншим людям, яким потрібно регулярно поливати рослини. Автоматизовані системи поливу рослин також можуть допомогти поліпшити здоров'я і ріст рослин, що може бути корисним як для комерційного, так і для особистого використання. Наприклад, в комерційних умовах автоматизована система поливу рослин може допомогти знизити витрати, пов'язані з ручною працею, і підвищити ефективність операції. Крім того, використання кіберфізичних систем (CPS) в автоматизованих системах поливу рослин може допомогти підвищити стійкість системи. Системи CPS використовують датчики та виконавчі механізми для моніторингу та

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

управління системою, що може допомогти зменшити споживання енергії та зменшити вплив системи на навколишнє середовище. Системи CPS також можуть бути запрограмовані на реагування на зміни в навколишньому середовищі, такі як зміни температури або вологості, що може допомогти оптимізувати систему і зменшити відходи.

Використання Raspberry Pi, як блоку управління в CPS для поливу рослин, також корисно, оскільки це недорогий, малопотужний та універсальний комп'ютер, який може запускати кілька програм та керувати кількома пристроями. Raspberry Pi може бути запрограмований на отримання даних від датчиків, обробку даних та управління виконавчими механізмами для поливу рослин, що може допомогти підвищити ефективність та стійкість системи. На закінчення, автоматизація систем поливу рослин та використання системи CPS з блоком управління Raspberry Pi може мати значний вплив на людство, покращуючи продовольчу безпеку, скорочуючи ручну працю, покращуючи здоров'я та ріст рослин, а також зменшуючи споживання енергії та вплив на навколишнє середовище. Ці переваги можуть допомогти зробити світ кращим шляхом підвищення ефективності та стійкості сільського господарства та садівництва.

Система також включає веб-інтерфейс користувача, який дозволяє фермерам віддалено контролювати та керувати системою зрошення зі своїх смартфонів або комп'ютерів. Ця функція моніторингу та контролю в режимі реального часу допомагає фермерам швидко реагувати на зміни польових умов та запобігати втраті води.

З моменту свого розвитку система зрошення Raspberry Pi завоювала популярність серед фермерів та сільськогосподарських дослідників як економічно ефективна та недорога альтернатива традиційним системам зрошення. Система використовувалася в різних умовах, включаючи великомасштабні комерційні ферми, невеликі сімейні ферми та експериментальні дослідницькі ділянки. Сьогодні існує кілька програмних платформ з відкритим вихідним кодом та апаратних компонентів, доступних для побудови іригаційних систем Raspberry Pi. До таких платформ належать FarmBot, OpenFarm та AgroHack. Ці платформи

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

пропонують фермерам та дослідникам можливість розробляти індивідуальні та масштабовані системи зрошення, які відповідають їхнім конкретним потребам та вимогам.

Іригаційна система Raspberry Pi є відносно новою технологією, яка з'явилася у відповідь на потребу в більш ефективних і стійких сільськогосподарських методах. Система використовує технологію Raspberry Pi, алгоритми машинного навчання та датчики навколишнього середовища для оптимізації використання води та зменшення витрат на оплату праці для фермерів. Незважаючи на те, що іригаційна система Raspberry Pi все ще відносно нова, вона демонструє великий потенціал для революції в підході до зрошення в сільському господарстві. Отже, мета і завдання цієї дипломної роботи полягає в розробці системи поливу на основі рівня вологості ґрунту.

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк.
						7
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ІНСТРУМЕНТІВ ТА РІШЕНЬ

## 1.1 Принципи роботи автоматизованих систем поливу рослин

Автоматизовані системи поливу рослин є інноваційним рішенням одвічної проблеми підтримки рослин гідратованими. Ці системи призначені для автоматичного поливу рослин на основі заздалегідь визначених налаштувань або на вимогу, таким чином усуваючи необхідність ручного поливу. Принципи роботи автоматизованих систем поливу рослин можна розбити на чотири основні складові:

1. Джерело води.
2. Система доставки.
3. Система управління.
4. Датчики.

Джерело води: Джерело води – це місце, де зберігається вода і звідки система поливу бере воду (рис. 1.1). Найпоширеніше джерело води – вода із крана, дощової бочки або колодязя. Джерело води підключається до системи доставки, яка доставляє воду до рослин. Система доставки: Система доставки відповідає за доставку води від джерела води до заводів. Два найпоширеніших типи систем доставки - це системи крапельного зрошення та дощування. Системи крапельного зрошення використовують серію випромінювачів для доставки води безпосередньо до коріння рослин, в той час як спринклерні системи розпорошують воду на більшій площі.



Рисунок 1.1 – Джерело води

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Системи крапельного зрошення використовують серію трубок і випромінювачів для доставки води безпосередньо до коріння рослин, в той час як спринклерні системи розпорошують воду на більшій площі (рис. 1.2 та рис.1.3).



Рисунок 1.2 – Свердловина



Рисунок 1.3 – Дощова бочка

Система управління: Система управління є «мозком» автоматизованої системи поливу рослин. Вона визначає, коли і скільки води доставляти рослинам. Це може бути проста система на основі таймера, де вода подається за заданим графіком, або більш складніша система, яка використовує датчики для виявлення, ситуації коли рослинам потрібна вода. Система управління може керуватись вручну або може бути запрограмована на автоматичний запуск.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

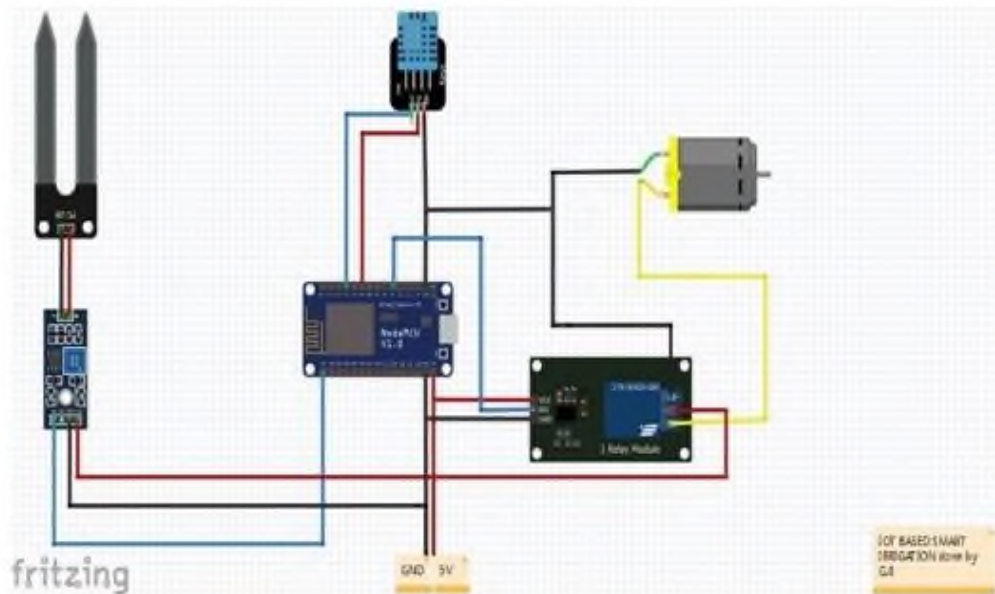


Рисунок 1.4 – Система управління

Система доставки: Система доставки відповідає за доставку води від джерела води до заводів. Два найпоширеніших типи систем доставки – це системи крапельного зрошення та дощування. Системи крапельного зрошення використовують серію трубок і випромінювачів для доставки води безпосередньо до коріння рослин, в той час як спринклерні системи розпорошують воду на більшій площі.



Рисунок 1.5 – Подача каналів

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата



Рисунок 1.6 – Система крапельної подачі



Рисунок 1.7 – Система подачі дощувальних установок

Датчики: Датчики є найважливішим компонентом автоматизованої системи поливу рослин. Вони визначають, коли рослинам потрібна вода, вимірюючи рівень вологості ґрунту або інші фактори навколишнього середовища. Доступні різні типи датчиків, зокрема такі як датчики вологості, дощу, температури та датчики освітленості. Ці датчики можуть бути підключені до системи управління, яка потім використовує дані, щоб визначити, коли і скільки води доставляти до рослин. Крім цих чотирьох основних компонентів, існують також й інші характеристики, які можуть вплинути на роботу автоматизованої системи поливу рослин. До них

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

відносяться тип рослин, що зрошується, тип ґрунту, клімат і погодні умови, а також розмір і планування саду або ферми.

Переваги автоматизованих систем поливу рослин численні. Вони можуть заощадити час і зусилля, зменшити витрати води та допомогти рослинам рости здоровішими. Їх також можна налаштувати відповідно до конкретних потреб кожного саду чи ферми. Наприклад, якщо у вас є рослини, яким потрібна різна кількість води, ви можете запрограмувати систему на доставку води з різними нормами до кожної рослини.

## 1.2 Аналіз відомих автоматизованих систем поливу рослин

Автоматизовані системи поливу рослин стають все більш популярними в останні роки, оскільки вони можуть допомогти заощадити час і зусилля, забезпечуючи при цьому правильне отримання рослинами amount of water. У цьому розділі ми розберемо деякі з найбільш відомих автоматизованих систем поливу рослин, доступних на ринку.



Рисунок 1.8 – Розумний контролер дощування Rachio

Розумний спринклерний контролер Rachio – популярний пристрій, який дозволяє користувачам керувати своєю спринклерною системою за допомогою

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ

Арк.  
12

програми для смартфона. Цей пристрій використовує метеодані та датчики вологості ґрунту для оптимізації використання води та зменшення втрат. Він також має налаштований графік поливу, який можна регулювати на основі конкретних потреб різних рослин.



Рисунок 1.9 – Автоматизований критий сад Grobo

Автоматизований критий сад Grobo - це автономна система, яку можна використовувати для вирощування різноманітних рослин, включаючи трави, фрукти та овочі. Ця система використовує комбінацію датчиків і автоматики, щоб забезпечити потрібну кількість води, світла і поживних речовин рослинам, і може управлятися за допомогою програми для смартфона. Система Grobo ідеально підходить для невеликих квартир або будинків, де простір обмежений.

Система автоматичного поливу Blumat - це система крапельного поливу, яку можна використовувати для поливу рослин в горщиках або контейнерах. Ця система використовує керамічний конус і резервуар для доставки води безпосередньо до коріння рослин і може бути налаштована для регулювання швидкості потоку на основі конкретних потреб різних рослин. Система Blumat ідеально підходить для балконів або невеликих Blumat Automatic Water System: Автоматична система поливу Blumat - це система крапельного поливу, яку

						КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

можна використовувати для поливу рослин в горщиках або контейнерах. Ця система використовує керамічний конус і резервуар для доставки води безпосередньо до коріння рослин і може бути налаштована для регулювання швидкості потоку на основі конкретних потреб різних рослин. Система Blumat ідеально підходить для балконів або невеликих садів і може бути автоматизована за допомогою таймера або іншої системи управління.

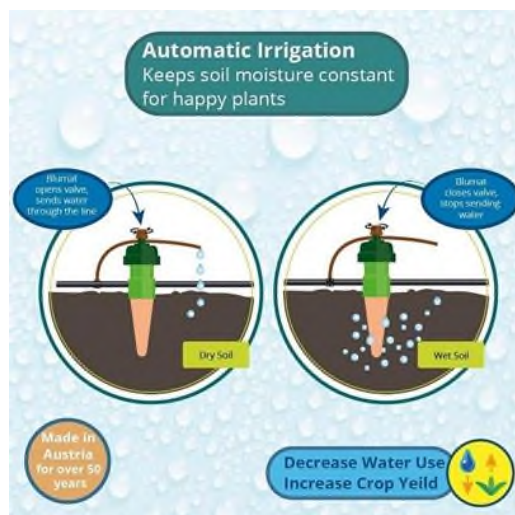


Рисунок 1.10 – Система автоматичного поливу Blumat

Бездротовий датчик рослин Plant Link - це пристрій, який можна використовувати для контролю рівня вологості ґрунту, температури навколишнього середовища та вологості. Цей датчик може бути розміщений у ґрунті біля коренів рослин і може бути використаний для надання даних про здоров'я та зволоження рослин у режимі реального часу. Системою Plant Link можна керувати за допомогою програми для смартфона і використовувати для запуску автоматизованої системи поливу, коли рівень вологості ґрунту опускається нижче певного порогу.

Бездротовий датчик рослин Plant Link - це пристрій, який можна використовувати для контролю рівня вологості ґрунту, температури навколишнього середовища та вологості. Цей датчик може бути розміщений у ґрунті біля коренів рослин і може бути використаний для надання даних про здоров'я та зволоження рослин у режимі реального часу. Системою Plant Link

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

можна керувати за допомогою програми для смартфона і використовувати для запуску автоматизованої системи поливу, коли рівень вологості ґрунту опускається нижче певного порогу.



Рисунок 1.11 – Бездротовий датчик рослинного зв'язку

### 1.3 Raspberry Pi 22 апаратно-програмна платформа

Raspberry Pi – це недорогий одноплатний комп'ютер, який добре підходить для використання в автоматизованій системі зрошення. Апаратне забезпечення Raspberry Pi включає наступні компоненти:

- Центральний процесор (ЦП): Raspberry Pi оснащений Broadcom BCM2837B0, Cortex-пам'ять: Raspberry Pi 4 Model B має 4GB LPDDR4-3200 A53 (ARMv8) 64-розрядний SoC @ 1.5GHz.
- SDRAM (спільно використовується з графічним процесором).
- Raspberry Pi має слот для карт пам'яті microSD для завантаження операційної системи та зберігання даних.
- Зовнішні порти: Raspberry Pi включає Ethernet, бездротовий 802.11ac, Bluetooth 5.0, BLE та два порти USB 3.0.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата



Рисунок 1.12 – Raspberry Pi

Програмна платформа для автоматизованої системи зрошення на Raspberry Pi включає наступні компоненти:

– Операційна система: Популярним вибором для Raspberry Pi є операційна система Raspbian, яка базується на дистрибутиві Debian Linux.

– Мова програмування: Python є популярним вибором для програмування Raspberry Pi завдяки простоті використання та широкій підтримці бібліотеки.

– Програмне забезпечення для контролю зрошення: Програмне забезпечення буде потрібно для управління системою зрошення на основі таких вхідних даних, як рівень вологості ґрунту, погодні умови та потреби рослин. Це може бути спеціально розроблено з використанням Python або іншої мови програмування, або це може бути вже існуюча програма, така як Home Assistant або Node-RED.

– Датчики: Різноманітні датчики використовуються для збору даних про ґрунт, погодні умови та інші фактори, що мають відношення до зрошення. Ці датчики повинні бути підключені до Raspberry Pi, або через контакти GPIO (загальний вхід / вихід), або через окремий інтерфейс, такий як I2C або послідовне з'єднання.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

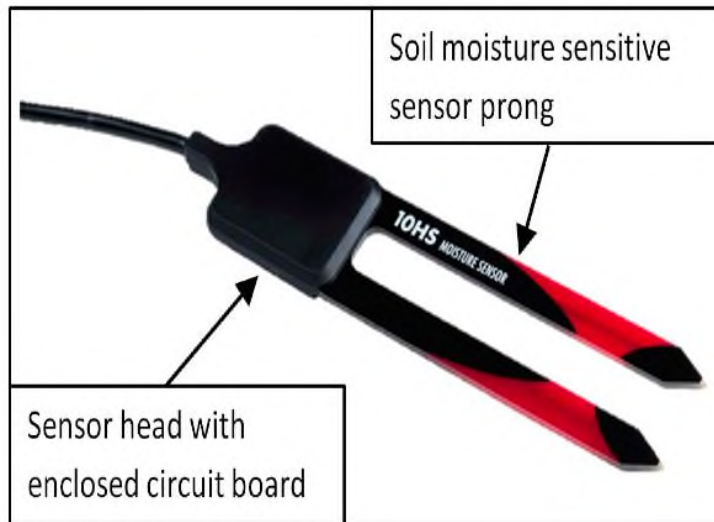


Рисунок 1.13 – Датчик вологості ґрунту

– Приводи: сама система зрошення повинна управлятися приводами, такими як електромагнітні клапани або водяні насоси з моторизованими двигунами. Ці приводи підключені до Raspberry Pi і управляються програмним забезпеченням для управління зрошенням.

Маючи ці компоненти, було використано одноплатну комп'ютерну систему Raspberry Pi для створення недорогої та налаштованої автоматизованої системи зрошення, яку можна запрограмувати для задоволення конкретних потреб будь-якого саду чи ферми.

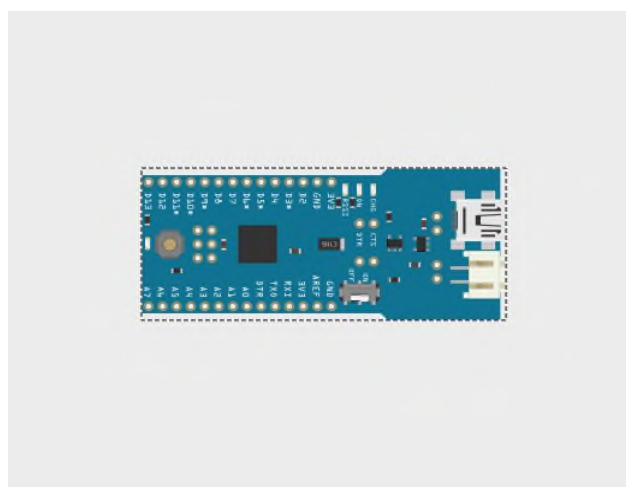


Рисунок 1.14 – Мікроконтролер

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

## 1.4 Автоматизована система зрошення Raspberry Pi: недоліки та рішення

Проблеми, з якими стикаються системи поливу:

– Неефективне використання водних ресурсів: Традиційні іригаційні системи відомі своїм неефективним використанням водних ресурсів, що призводить до втрат води, надмірного поливу та недостатнього поливу. Надмірний полив може призвести до ерозії ґрунту, заболочування та вимивання поживних речовин, тоді як недостатній полив може спричинити затримку росту, зниження врожайності та стрес рослин.

– Високі витрати на енергію: Традиційні іригаційні системи, такі як паводкове зрошення, вимагають великої кількості енергії для перекачування води з її джерела на поля. Це призводить до високих витрат на електроенергію, що може стати значним фінансовим тягарем для фермерів.

– Трудомісткі: Традиційні іригаційні системи вимагають високого рівня ручної праці, який може бути як трудомістким, так і фізично виснажливим. Це може призвести до зниження продуктивності, особливо в пікові сільськогосподарські сезони.

– Відсутність моніторингу в режимі реального часу: Традиційні іригаційні системи забезпечують обмежений моніторинг або взагалі не забезпечують моніторинг у режимі реального часу, що ускладнює виявлення та вирішення таких проблем, як витіки, засмічення та збої системи. Це може призвести до втрати води та пошкодження сільськогосподарських культур.

Можна виділити наступні недоліки систем поливу:

– Вартість: Початкова вартість установки автоматизованої системи зрошення може бути дорогою, що змушує багатьох фермерів замість цього вибирати традиційні методи зрошення. Однак довгострокові переваги автоматизованих систем зрошення, такі як скорочення споживання води та енергії, можуть переважити початкові витрати. Крім того, є більш доступні рішення, такі як автоматизована система зрошення Raspberry Pi.

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк. 18
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

– Технічне обслуговування: Автоматизовані системи зрошення вимагають регулярного обслуговування, яке може бути трудомістким і дорогим. Однак регулярне технічне обслуговування може допомогти запобігти збоєм системи та продовжити термін служби системи.

– Технічна експертиза: Автоматизовані системи зрошення вимагають технічних знань для встановлення та обслуговування, що може бути бар'єром для багатьох фермерів. Однак існує багато доступних ресурсів, таких як навчальні посібники, посібники та спільноти підтримки, які можуть допомогти фермерам подолати цей бар'єр.

Вплив на навколишнє середовище: автоматизовані іригаційні системи можуть мати негативний вплив на навколишнє середовище, особливо якщо вони не розроблені або не використовуються належним чином. Наприклад, надмірний полив може привести до ерозії ґрунту, вимивання поживних речовин, забруднення води. Однак при правильному проектуванні та управлінні системою автоматизовані системи зрошення можуть зменшити загальний вплив зрошення сільськогосподарських культур на навколишнє середовище.

Автоматизована система зрошення Raspberry Pi.

Автоматизована система зрошення Raspberry Pi – це недороге та настроюване рішення, яке може вирішити багато проблем, з якими стикаються традиційні системи зрошення. Raspberry Pi - це одноплатний комп'ютер, який можна використовувати для управління та моніторингу різних компонентів зрошення, таких як датчики, клапани та насоси. Система може бути запрограмована для регулювання доставки води на основі даних про вологість ґрунту в режимі реального часу, погодних умов та інших змінних, що призводить до більш ефективного використання води та покращення здоров'я сільськогосподарських культур.

Перевагами автоматизованої системи зрошення Raspberry Pi є:

– Ефективне використання водних ресурсів: Автоматизована система зрошення Raspberry Pi призначена для оптимізації використання води, забезпечуючи водою лише тоді і там, де це необхідно. Це призводить до



реального часу, автоматизована система зрошення Raspberry Pi може допомогти фермерам покращити здоров'я сільськогосподарських культур, підвищити продуктивність та зменшити витрати. Незважаючи на те, що для створення та підтримки системи можуть знадобитися початкові витрати та технічні знання, довгострокові переваги роблять її вигідною інвестицією для фермерів, які прагнуть покращити свою практику зрошення та підвищити ефективність та стійкість своїх сільськогосподарських операцій.

### 1.5 Огляд літератури

Розумні тепличні системи, які використовують кіберфізичні системи для автоматизації поливу рослин, стають все більш популярними в останні роки.

Автори Amatyа et al. (2020) досліджували використання технології Інтернету речей (IoT) в розумних тепличних системах для автоматизованого поливу рослин. Вони виявили, що системи на основі IoT ефективні у зменшенні використання води та підтримці оптимального рівня вологості ґрунту, що може призвести до підвищення врожайності сільськогосподарських культур та зниження відходів води.

Інше дослідження, представлене авторами Sarker et al. (2019), було зосереджено на використанні алгоритмів машинного навчання для прогнозування потреб рослин у воді в розумних тепличних системах. Вони виявили, що алгоритми машинного навчання можуть точно прогнозувати потреби рослин у воді на основі екологічних даних, що може призвести до більш ефективних і цілеспрямованих стратегій поливу.

Kachroudi et al. (2020) досліджували використання бездротових сенсорних мереж у розумних тепличних системах для моніторингу вологості ґрунту та автоматизації поливу рослин. Вони виявили, що бездротові сенсорні мережі ефективні для надання в режимі реального часу даних про рівень вологості ґрунту та автоматизації зрошення, що може призвести до значної економії води та підвищення врожайності сільськогосподарських культур.

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

У дослідженні Vonhomme et al. (2019) автори розробили розумну тепличну систему, яка використовувала кіберфізичний підхід для оптимізації росту рослин та зменшення використання води. Вони виявили, що їх система здатна підтримувати оптимальний рівень вологості ґрунту, використовуючи при цьому менше води, ніж традиційні іригаційні системи.

В цілому, ці дослідження демонструють ефективність розумних тепличних систем, які використовують кіберфізичні системи для автоматизації поливу рослин. Ці системи мають потенціал для скорочення використання води, підвищення врожайності сільськогосподарських культур та підвищення стійкості сільського господарства.

### 1.6 Постановка задачі

У сучасному сільському господарстві ефективне управління водними ресурсами має першорядне значення для забезпечення сталого рослинництва та вирішення проблем дефіциту води. Традиційні методи зрошення, які спираються на ручне втручання, часто страждають від властивої неефективності та трудомістких вимог. Цим системам не вистачає точності і вони намагаються забезпечити оптимальний розподіл води, що призводить до таких проблем, як надмірний або недоводний полив. В результаті значна кількість води витрачається даремно, врожайність сільськогосподарських культур ставиться під загрозу, а цінні ресурси виснажуються.

Для подолання цих проблем існує нагальна потреба в розробці передової автоматизованої системи зрошення, яка може розумно і точно управляти використанням води в сільськогосподарських умовах. Така система буде інтегрувати передові технології, включаючи датчики, контролери, виконавчі механізми та аналіз даних, для досягнення точного та ефективного розподілу води з урахуванням конкретних потреб сільськогосподарських культур. Використовуючи дані в режимі реального часу про рівень вологості ґрунту, погодні умови та потреби сільськогосподарських культур, ця автоматизована

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

система може оптимізувати планування зрошення, мінімізувати витрати води та підвищити продуктивність сільськогосподарських культур.

Крім того, трудомісткий характер традиційних методів зрошення створює значні проблеми для фермерів, які стикаються зі зростаючими вимогами та обмеженими ресурсами. Впроваджуючи автоматизовану систему зрошення, залежність від ручної праці може бути значно зменшена, вивільняючи дорогоцінний час і ресурси для інших важливих сільськогосподарських завдань. Автоматизація процесів зрошення також дозволяє здійснювати віддалений моніторинг і контроль, що дозволяє фермерам ефективно управляти декількома полями і оперативно реагувати на зміну умов навколишнього середовища.

Тому основною метою цієї дисертації є проектування, розробка та впровадження вдосконаленої автоматизованої системи зрошення, яка усуває недоліки традиційних методів зрошення. Завдяки інтеграції інтелектуального зондування, точних механізмів управління та прийняття рішень на основі даних, ця система спрямована на оптимізацію використання води, підвищення врожайності сільськогосподарських культур та полегшення трудового навантаження, пов'язаного з практикою ручного зрошення.

Результати цього дослідження не тільки сприятимуть розвитку сільськогосподарської практики, але й матимуть значні наслідки для сталого управління водними ресурсами в регіонах, що стикаються з дефіцитом води. Впроваджуючи автоматизовану систему зрошення, яка оптимізує розподіл води та зменшує водні відходи, фермери можуть мінімізувати свій вплив на навколишнє середовище та сприяти збереженню водних ресурсів.

Загалом, ця теза спрямована на вирішення нагальної потреби в передовій автоматизованій системі зрошення, яка революціонізує управління водними ресурсами в сільському господарстві. Використовуючи потенціал нових технологій, ця система спрямована на досягнення точності, ефективності та стійкості в практиці зрошення, дозволяючи фермерам максимізувати продуктивність сільськогосподарських культур, мінімізуючи споживання води та потреби в робочій силі.

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк. 23
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 2. ЕЛЕМЕНТАРНА БАЗА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗУМНОЇ ТЕПЛИЦІ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОЛИВУ РОСЛИН

### 2.1 Кіберфізична система та вибір елементної бази

Розумна теплиця – це система сільськогосподарського виробництва, яка об'єднує передові технології, такі як інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI) та автоматизацію для оптимізації росту рослин та врожайності. Ключовою метою розумної теплиці є створення контрольованого середовища, яке імітує ідеальні умови для росту рослин, мінімізуючи використання води та енергії. Кіберфізична система (CPS) є базовою технологією, яка дозволяє розумній теплиці працювати безперебійно.

Кіберфізична система (CPS) - це система, яка поєднує фізичні та обчислювальні компоненти для виконання конкретного завдання. У розумній теплиці CPS відповідає за збір даних з різних датчиків, аналіз даних за допомогою алгоритмів і контроль фізичного середовища для оптимізації росту рослин (рис. 2.1). Фізичні компоненти CPS включають датчики, виконавчі механізми та системи управління, тоді як обчислювальні компоненти включають програмне забезпечення, алгоритми та мережі зв'язку.

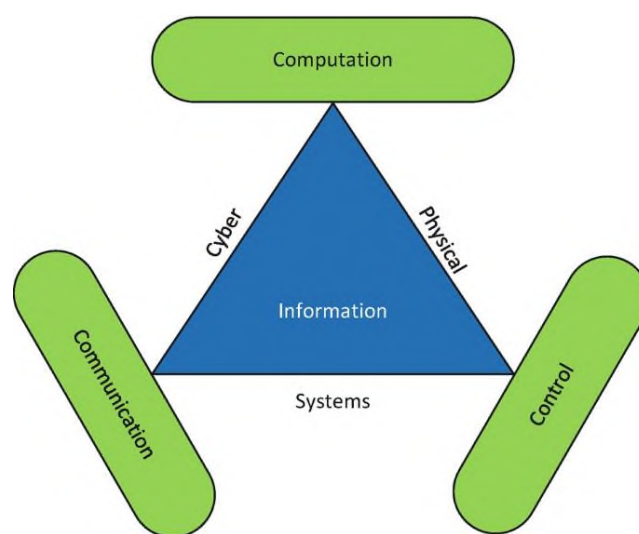


Рисунок 2.1 – Кіберфізична система (КПС)

Кіберфізична система (CPS) є системою, яка поєднує фізичні та обчислювальні компоненти для виконання конкретного завдання. У розумній теплиці CPS відповідає за збір даних з різних датчиків, аналіз даних за допомогою алгоритмів і контроль фізичного середовища для оптимізації росту рослин. Символічні фізичні компоненти CPS включають датчики, виконавчі механізми та системи управління, тоді як обчислювальні компоненти включають програмне забезпечення, алгоритми та мережі зв'язку.

Датчики. Датчики є першою лінією захисту в розумній теплиці CPS. Вони відповідають за моніторинг різних параметрів навколишнього середовища, таких як температура, вологість, інтенсивність освітлення, вологість ґрунту і рівень вуглекислого газу. Ці датчики надають безперервні та точні дані до CPS, які потім аналізуються для визначення найкращого курсу дій.

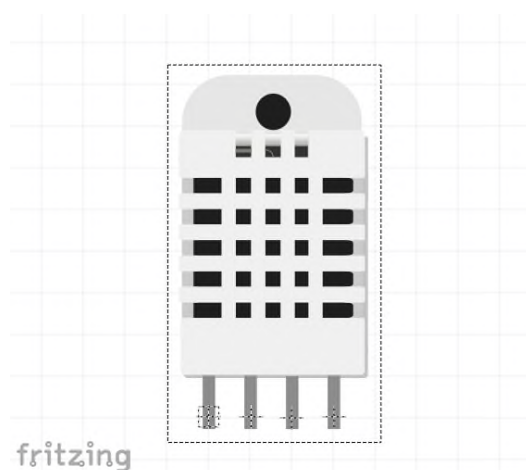


Рисунок 2.2 – Датчик DHT22

Приводи або виконавчі механізми. Виконавчі механізми - це пристрої, які контролюють фізичне середовище в розумній теплиці. Вони відповідають за включення і виключення освітлення, відкриття і закриття вікон, регулювання температури і вологості, управління системою поливу. Виконавчі механізми працюють в парі з датчиками, щоб гарантувати, що фізичне середовище в теплиці завжди оптимальна для росту рослин.

Система управління. Система управління - це «мозок КФС». Він отримує дані від датчиків, обробляє дані за допомогою алгоритмів і посилає команди

виконавчим механізмам для управління фізичним середовищем. Система управління використовує алгоритми машинного навчання для аналізу даних і складання прогнозів щодо найкращого курсу дій. З часом control system becomes more accurate and efficient, resulting in better plant growth and yield.

Програмне забезпечення та алгоритми. Програмне забезпечення та алгоритми є критичними компонентами CPS. Програма відповідає за збір та зберігання даних, аналіз даних за допомогою алгоритмів та управління фізичним середовищем. Алгоритми призначені для оптимізації фізичного середовища для росту рослин на основі даних, зібраних з датчиків. Алгоритми машинного навчання використовуються для прогнозування найкращого курсу дій, тоді як алгоритми оптимізації використовуються для мінімізації використання води та енергії.

Мережі зв'язку. Мережі зв'язку використовуються для підключення різних компонентів КПС. Датчики, виконавчі механізми, система управління та програмне забезпечення повинні спілкуватися один з одним у режимі реального часу, щоб забезпечити оптимальне фізичне середовище для росту рослин. Дротові і бездротові мережі зв'язку використовуються для передачі даних між різними компонентами КПС.

Автоматизація поливу рослин. Одним з найважливіших завдань в розумній теплиці є автоматизація поливу рослин. Правильний полив має важливе значення для росту рослин, а автоматизована система зрошення може значно зменшити споживання води та витрати на оплату праці. Нижче наведено кроки, пов'язані з автоматизацією поливу рослин в розумній теплиці:

– Чутливість ґрунту до вологи. Датчики вологості ґрунту використовуються для вимірювання вмісту води в ґрунті. Датчики розміщуються в кореневій зоні рослин і надають в режимі реального часу дані про рівень вологості ґрунту. Потім дані передаються в систему управління для аналізу.

– Планування зрошення. Система управління використовує алгоритми машинного навчання для аналізу даних про вологість ґрунту та визначення

						КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

оптимального графіка поливу рослин. Алгоритм враховує такі фактори, як тип рослини, стадія росту і погодні умови, щоб визначити найкращий час для поливу рослин.

Таблиця 2.1 – Призначення контактів датчика освітленості

Пін		Опис:
1	VCC	Живлення
2	GND	Заземлення



Рисунок 2.3 – Датчик освітленості

Цифровий датчик освітленості – це електронний пристрій, який вимірює інтенсивність світла і перетворює його в цифровий сигнал (рис. 2.3). У контексті розумної теплиці цифровий датчик освітленості може використовуватися для вимірювання інтенсивності світла в теплиці та забезпечення зворотного зв'язку з системою управління. Цю інформацію можна використовувати для регулювання системи освітлення в теплиці, забезпечення рослинам потрібної кількості світла для оптимального росту. Цифровий датчик світла може бути інтегрований в кіберфізичну систему розумної теплиці і взаємодіяти з іншими компонентами, такими як система зрошення, системи опалення та охолодження, а також система вентиляції, щоб забезпечити комплексну систему управління теплицею.



Рисунок 2.4 – Датчик температури і вологості AM2320

Таблиця 2.2 – Призначення контактів для датчика температури і вологості AM2320

Pin	Name	Description
1	VDD	Power supply(3.1-5.5V)
2	SDA	Serial data, bidirectional port
3	GND	Ground
4	SCL	Serial clock input port (single bus ground)

Таблиця 2. 3 – Сутності датчика вологості

Term	Description
Transmitter	Send data to the device bus
Receptor	Device receiving data from the bus
Host computer	Transmit clock signal generating device initialization and termination sent
Slave	The device addressed by the host
Multi-master	At the same time there is more than one host attempts to control the bus, but do not destroy the message
Arbitration	There is a multiple hosts at the same time try to control the bus, but only allows it a control bus and make the message is not destroyed in the process
Synchronous	Two or more devices in the process of synchronizing the clock signal

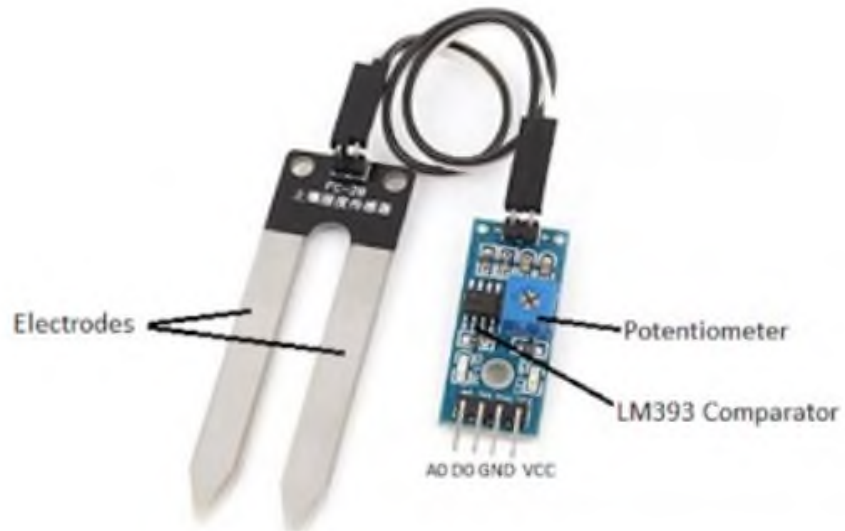


Рисунок 2.5 – Датчик вологості ґрунту

Датчик вологості ґрунту складається з двох щупів, які використовуються для вимірювання об'ємного вмісту води (рис. 2.5). Два щупа дозволяють струму проходити через ґрунт, що дає значення опору для вимірювання значення вологості.

Коли буде вода, ґрунт буде проводити більше електрики, а значить, буде менше опору. Сухий ґрунт погано проводить електрику, тому коли води менше, то ґрунт буде проводити менше електрики, а значить, буде більше опору.

Цей датчик можна підключати в аналоговому і цифровому режимах. Спочатку ми будемо підключати його в аналоговому режимі, а потім цифровому.

Технічні характеристики і характеристики

Технічні характеристики датчика вологості ґрунту FC-28 наступні:

- Вхідна напруга: 3,3 -5 В.
- Вихідна напруга: 0 - 4,2 В.
- Вхідний струм: 35мА.
- Вихідний сигнал: як аналоговий, так і цифровий.

Датчик вологості ґрунту FC-28 має чотири контакти:

- VCC: Живлення.
- A0: Analog Output.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

- D0: Цифровий вихід.
- GND: Земля.

Модуль також містить потенціометр, який буде встановлювати порогове значення. Це порогове значення буде порівнюватися компаратором LM393. Світлодіод на виході буде світитися вгору і вниз відповідно до цього порогового значення.



Рисунок 2.6 – Модуль реле

Реле є найважливішим компонентом в автоматизованій системі поливу, що слугує перемикачем, керованим центральним блоком управління для регулювання подачі електроенергії на різні пристрої. Його основною функцією є включення або відключення живлення таких пристроїв, як електромагнітні клапани або електронасоси на основі команд, отриманих від центрального блоку управління.

Реле використовує комутаційний механізм, як правило, електромагнітний або твердотільний, що дозволяє йому керувати подачею живлення підключених пристроїв. Цей механізм комутації гарантує, що реле може впоратися з високовольтним джерелом живлення, необхідним для пристроїв у системі.

Керуючі сигнали або команди надходять від центрального блоку управління до реле, як правило, у вигляді низьковольтних сигналів або специфічних рівнів напруги. Після отримання відповідного керуючого сигналу реле вмикає або вимикає живлення підключених пристроїв, спираючись на команди центрального блоку управління.

									КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк. 30
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата						

Для забезпечення захисту і безпеки системи реле часто включає в себе різні функції. Вони можуть включати захист від перенапруги, захист від коливань потужності або перехідних процесів, а також захист від перевантаження для запобігання надмірному потоку струму.

Реле спроектовані так, щоб бути надійними і довговічними, здатними витримувати суворі умови навколишнього середовища. Вони часто укладені в захисні кожухи, щоб захистити їх від пилу, вологи та інших зовнішніх факторів. Стандарти якості та сертифікати, яких дотримується реле, можуть відрізнятися залежно від конкретного виробника та моделі.

Взаємодіючи з центральним блоком управління та іншими компонентами автоматизованої системи зрошення, реле відіграє вирішальну роль у забезпеченні точного управління та автоматизації. Без реле система не змогла б ефективно регулювати подачу живлення пристроїв, тим самим ставлячи під загрозу загальну ефективність системи поливу.

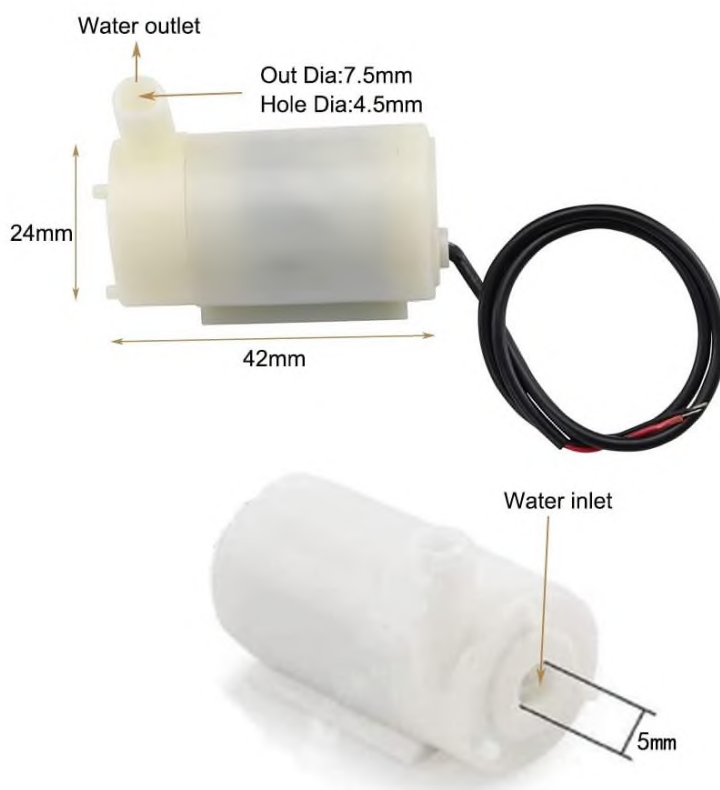


Рисунок 2.7 – Водяний насос

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Насос є компонентом автоматизованої системи поливу, що відповідає за подачу води в зрошувальну мережу. Він відіграє життєво важливу роль у забезпеченні ефективного та надійного розподілу води до бажаних районів. Наступні важливі деталі насоса підкреслюють його значення в системі:

Типи насосів, що використовуються в автоматизованих системах зрошення, включають відцентрові насоси, заглибні насоси або вертикальні турбінні насоси. Кожен тип пропонує конкретні переваги і вибирається на основі таких факторів, як джерело води, необхідний тиск і швидкість потоку.

Забір води здійснюється із призначеного джерела, наприклад колодязя, річки або водосховища, конструкція насоса і технічні характеристики залежать від характеристик джерела води, включаючи глибину колодязя або швидкість течії річки.

Як правило, насос працює від електрики, також може використовувати альтернативні джерела енергії, такі як сонячна енергія або дизельні генератори. Вимоги до потужності насоса варіюються залежно від розміру системи та бажаної швидкості потоку.

Пропускна здатність, що вимірюється в галонах на хвилину (GPM) або літрах в секунду (л / с), визначає обсяг води, що подається в зрошувальну мережу, тоді як тиск, що створюється насосом, вимірюється в фунтах на квадратний дюйм (PSI) або барах, забезпечує належний розподіл води по всій системі. Інтеграція з центральним блоком управління дозволяє регулювати та автоматизувати насос відповідно до заданих графіків поливу, входів датчиків (таких як рівень або тиск води) або інших заданих параметрів. Така автоматика оптимізує споживання води і забезпечує своєчасне зрошення.

Регулярне технічне обслуговування має вирішальне значення для довговічності та продуктивності насоса. Слід проводити такі завдання, як очищення, змащення, періодичні огляди. Крім того, включення датчиків або систем моніторингу надає дані в режимі реального часу про продуктивність насоса, полегшуючи раннє виявлення потенційних проблем.

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		32

Енергоефективність є важливим фактором для насосів в автоматизованих системах зрошення. Вибір насосів з високоефективними двигунами та оптимізація конструкції системи допомагає мінімізувати споживання енергії та зменшити експлуатаційні витрати.

Дотримання відповідних норм і стандартів має важливе значення. Залежно від регіону або країни можуть існувати конкретні нормативні акти, що регулюють використання і установку насосів в зрошувальних системах. Дотримання цих правил забезпечує безпеку, надійність та екологічну стійкість.

Як висновок слід відзначити, що насос в автоматизованій системі поливу виконує найважливішу роль подачі води в зрошувальну мережу. Його тип, джерело живлення, витрата, тиск, можливості управління та автоматизації, вимоги до технічного обслуговування, енергоефективність та дотримання норм є життєво важливими факторами при розробці та аналізі ефективної системи зрошення.



Рисунок 2.8 – Перемикач

Перемикач є невід'ємним компонентом в рамках автоматизованої системи поливу, функціонуючи як керуючий механізм для активації або деактивації різних функцій системи. Вона полегшує ручне або автоматизоване управління електричними ланцюгами, дозволяючи системі включати або вимикати певні пристрої або процеси. Наступні ключові деталі комутатора підкреслюють його значимість в системі:

В автоматизованих системах зрошення використовуються різні типи вимикачів, включаючи тумблери, кнопкові вимикачі, поворотні вимикачі або електронні вимикачі. Вибір типу комутатора залежить від таких факторів, як конкретна програма, вимоги до інтерфейсу користувача та дизайн системи.

Перемикач пропонує можливості як ручного, так і автоматизованого управління. Ручні перемикачі дозволяють користувачам вручну активувати або деактивувати пристрої за потреби, забезпечуючи практичний підхід до роботи системи. Автоматизовані перемикачі, часто інтегровані з центральним блоком управління, дозволяють системі керувати комутатором на основі заздалегідь визначених параметрів або графіків, розширюючи можливості автоматизації системи.

Керуючі сигнали приймаються перемикачем від центрального блоку управління або інших компонентів. Ці керуючі сигнали можуть бути у вигляді низьковольтних цифрових сигналів, специфічних рівнів напруги або протоколів зв'язку. Перемикач інтерпретує ці сигнали і відповідно активує або деактивує пов'язану електричну ланцюг.

Керуючи надходженням електроенергії на конкретні пристрої або ланцюги всередині зрошувальної системи, вимикач виступає посередником між джерелом живлення і пристроями. Це дозволяє селективно активувати або деактивувати електричні ланцюги за командою центрального блоку управління, що дозволяє точно контролювати функції системи.

Функції безпеки часто інтегруються в комутатори для захисту системи та її користувачів. Наприклад, вимикачі можуть включати механізми захисту від перевантаження для запобігання надмірного протікання струму або короткого замикання. Крім того, перемикачі можуть мати захисні корпуси для захисту від факторів навколишнього середовища, таких як пил, волога або випадковий контакт.

Зручні інтерфейси вбудовані в комутатори, забезпечуючи візуальний зворотний зв'язок і допомагаючи користувачам зрозуміти поточний стан системи. Ці інтерфейси можуть включати світлові індикатори або мітки, які передають важливу інформацію про стан системи. Зручні інтерфейси допомагають ефективно працювати системі та полегшують усунення несправностей або технічне обслуговування.

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк. 34
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Перемикачі повинні бути сумісні із загальною конструкцією системи та електричними характеристиками. Вони повинні бути здатні обробляти вимоги до напруги та струму підключених пристроїв або ланцюгів у зрошувальній системі.

Надійність і довговічність є ключовими міркуваннями при проектуванні перемикачів. Вони спроектовані таким чином, щоб витримувати часте використання і надійно функціонувати в різноманітних умовах навколишнього середовища. Високоякісні вимикачі забезпечують стабільну роботу і сприяють загальній надійності автоматизованої системи поливу.



Рисунок 2.9 – Світлодіодне підсвічування

На закінчення, перемикач в автоматизованій системі зрошення служить найважливішим механізмом управління для активації або деактивації функцій системи. Його здатність забезпечувати як ручне, так і автоматизоване управління, сумісність з сигналами управління, можливості управління ланцюгом, захисні функції, міркування щодо інтерфейсу користувача, інтеграція в систему та надійність підкреслюють його важливість в автоматизованій системі зрошення.

Світлодіодне світло є життєво важливим компонентом автоматизованої системи зрошення, забезпечуючи освітлення та візуальні індикатори для різних функцій системи. Світлодіоди, або світлодіоди, пропонують ряд переваг перед традиційними джерелами світла.

Наступна інформація висвітлює ключові аспекти світлодіодного світла:

Тривалий термін служби: Світлодіодні ліхтарі мають значно більший термін служби в порівнянні з традиційними світильниками. Вони можуть працювати



рослин та зменшення використання води. Система здатна контролювати рівень вологи в ґрунті та відповідно регулювати полив, гарантуючи, що рослини отримують відповідну кількість води, не витрачаючи її.

Наслідки цих висновків є значними для розумних тепличних систем та поливу рослин. Автоматизуючи процес поливу, виробники можуть зменшити споживання води, покращити ріст рослин та врожайність, а також заощадити час та працю. Це може призвести до більш стійких та ефективних методів ведення сільського господарства, що особливо важливо в регіонах, де водні ресурси обмежені або перебувають у стресовому стані.

Дослідження також сприяє поповненню існуючої бази знань, демонструючи ефективність кіберфізичних систем для поливу рослин в розумній теплиці. Розроблений інтерфейс може бути застосований до різних типів рослин і тепличних установок, що дозволяє налаштувати і гнучкість. Результати також підкреслюють важливість моніторингу та контролю поливу рослин у режимі реального часу для забезпечення оптимального росту рослин та використання ресурсів.

З точки зору майбутніх досліджень, дослідження відкриває можливості для подальшої оптимізації інтерфейсу і системи управління. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть бути включені для прогнозування потреб рослин у воді та відповідного регулювання поливу. Система також може бути інтегрована з іншими розумними тепличними технологіями, такими як освітлення та контроль температури, щоб створити повністю автоматизоване та оптимізоване середовище для росту рослин.

Практичне застосування результатів дослідження може включати розробку комерційних розумних тепличних систем, які включають кіберфізичний інтерфейс для автоматизованого поливу рослин. Це може бути особливо корисно для дрібних фермерів і міського сільського господарства, де простір і водні ресурси обмежені. В цілому, результати дослідження мають значні наслідки для підвищення стійкості та ефективності росту рослин в розумних тепличних системах.

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк.
						37
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 3 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПОЛИВУ РОСЛИН НА БАЗІ ОДНОПЛАТНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ RASPBERRY PI

#### 3.1 Макетне з'єднання і принципова схема

Запропонована кіберфізична система складається з наступних компонентів (рис. 3.1):

– Датчики: Система включає датчики, які розміщуються в ґрунті для вимірювання рівня вологості. Ці датчики можуть бути ємнісними, резистивними або гіроскопічними датчиками, залежно від конструкції системи.

– Мікроконтролер: датчики надсилають свої показання мікроконтролеру, такому як Arduino, який обробляє показання та вирішує, чи є ґрунт сухим і потребує води, чи він вологий і не потребує води.

– Водяний насос або клапан: Якщо мікроконтролер визначає, що ґрунт сухий і потребує води, він активує водяний насос або клапан для випуску води в ґрунт. Водяний насос або клапан можуть живитися від мікроконтролера або від зовнішнього джерела живлення.

– Таймер: Мікроконтролер запускає таймер, щоб визначити тривалість часу, протягом якого водяний насос або клапан повинні залишатися активними. Це дозволяє системі регулювати кількість води, що виділяється в ґрунт.

– Коригування: Система може бути запрограмована на внесення коригувань на основі таких факторів, як погодні умови, тип рослини та тип ґрунту, щоб гарантувати, що рослини отримують оптимальну кількість води для здорового росту.

Таким чином, автоматизована система зрошення використовує датчики для контролю рівня вологості ґрунту, мікроконтролер для обробки показань і контролю випуску води, а також водяний насос або клапан для випуску води в ґрунт. Систему можна запрограмувати на внесення коректив на основі різних

факторів, щоб гарантувати, що рослини отримують оптимальну кількість води для здорового росту.

Також одним із складових запропонованої системи є реле. Реле – це електричний компонент, який можна використовувати в різних сферах застосування, але його основне призначення полягає в тому, щоб дозволити сигналу малої потужності керувати ланцюгом високої потужності. Ось деякі з основних застосувань, переваг і недоліків реле:

Модуль реле забезпечує:

– Керування ланцюгами високої потужності: реле можуть перемикати та керувати потужними навантаженнями, такими як двигуни, насоси та обігрівачі, на основі сигналу малої потужності від контролера або датчика.

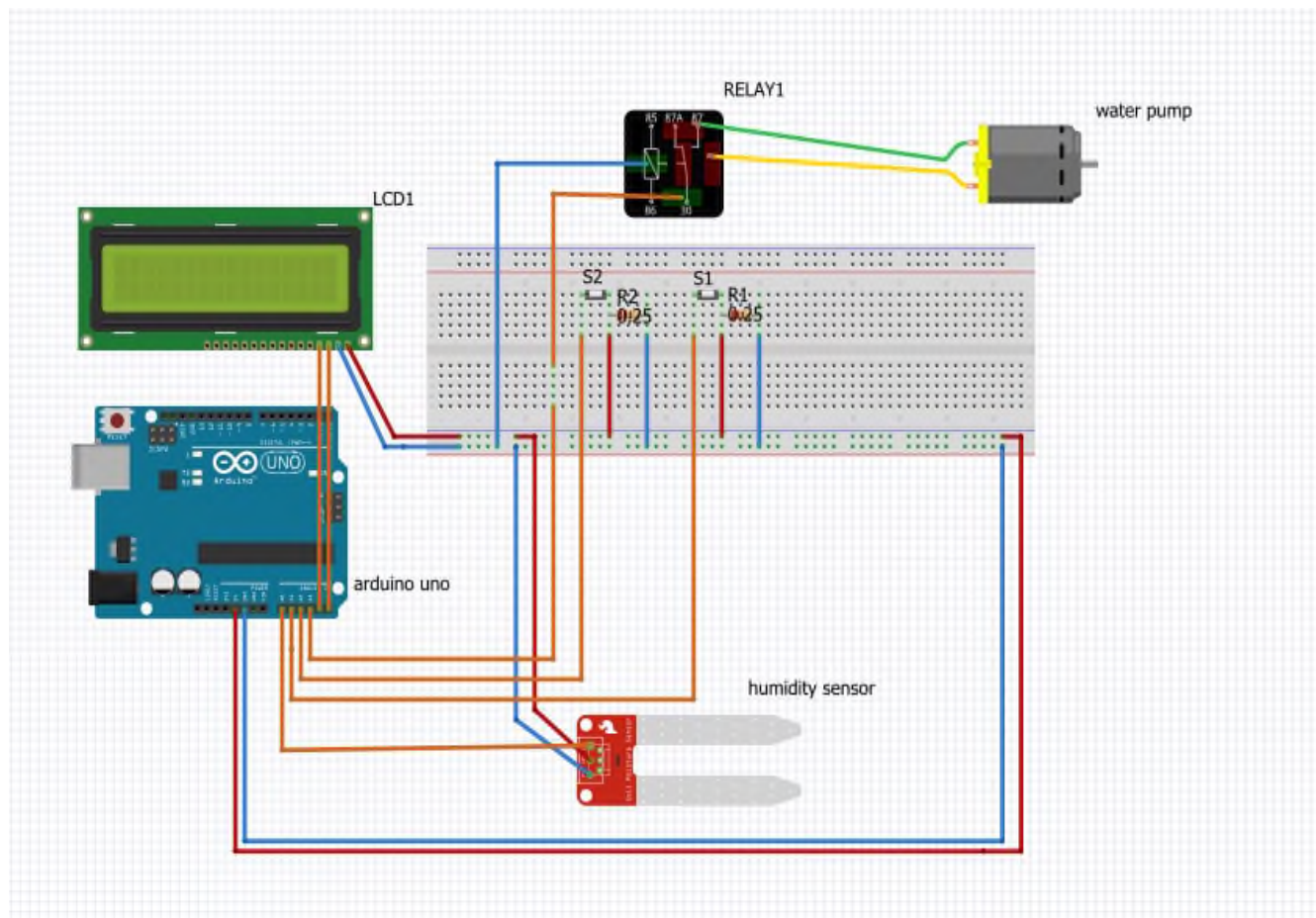


Рисунок 3.1 – Макетне з'єднання компонентів запропонованої кіберфізичної системи зрошення

– Безпека: реле можуть забезпечити безпечний спосіб ізоляції ланцюга високої потужності від ланцюга управління, що може захистити контролера або користувача від високої напруги, струмів або короткого замикання.

– Автоматизація: реле можуть використовуватися в автоматизованих системах, таких як промислове управління, вентиляція та кондиціонування, освітлення та автомобільні програми, для управління різними навантаженнями та датчиками.

Принципову схему наведено на рис. 3.2.

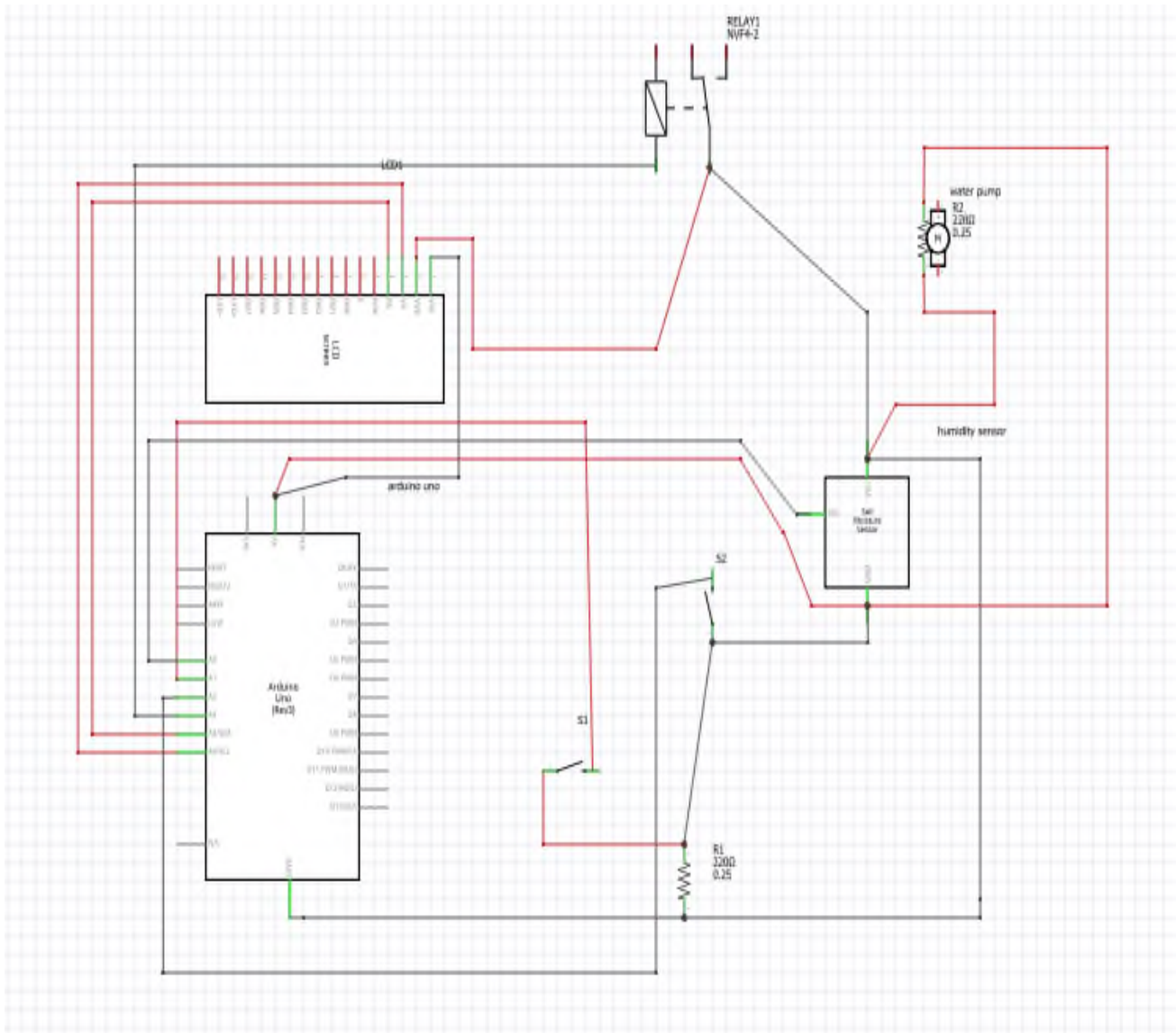


Рисунок 3.2 – Принципова схема зрошувальної системи

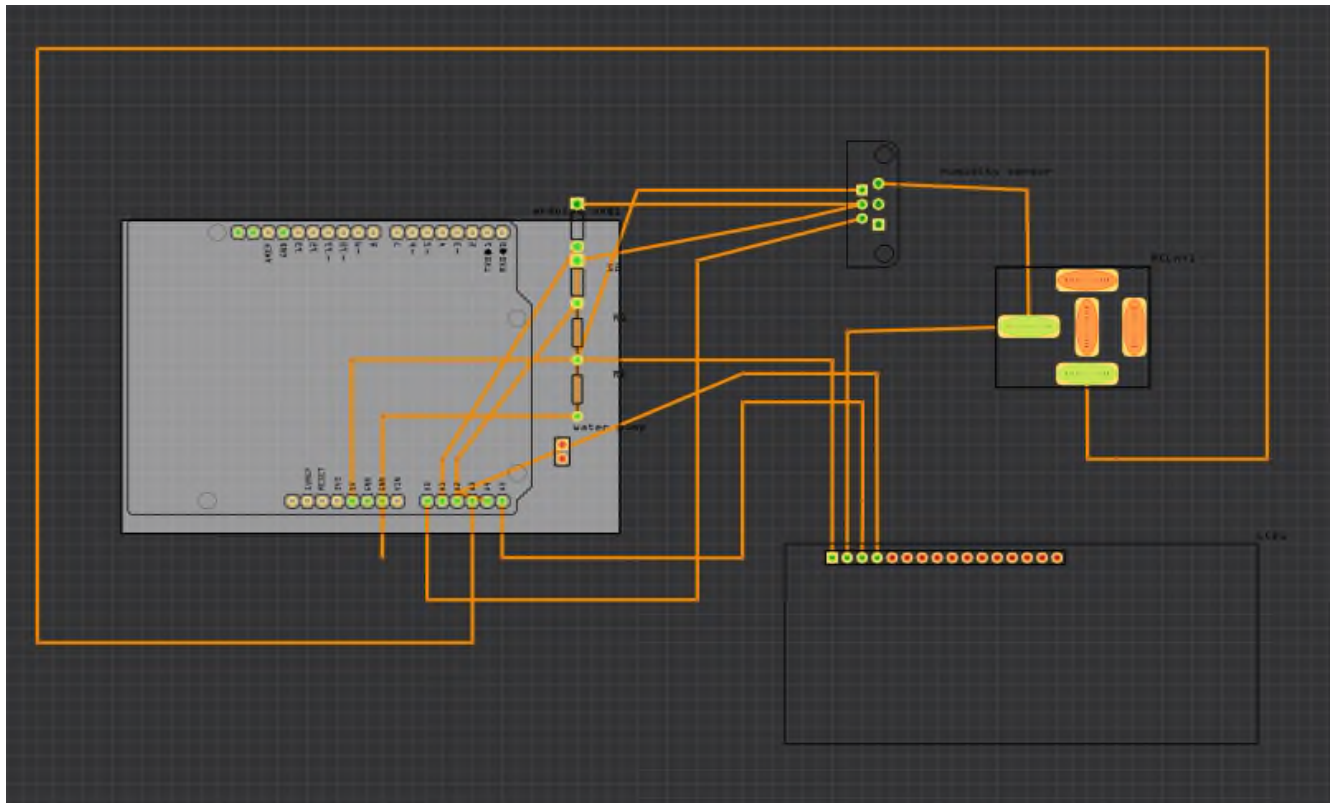


Рисунок 3.3 – Друкована плата для системи зрошення

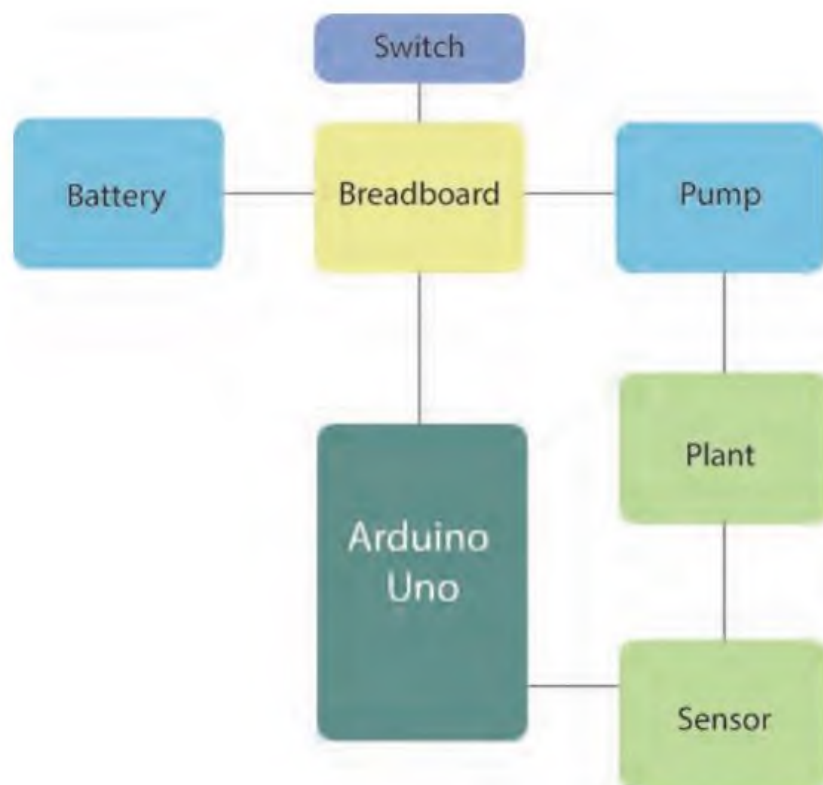


Рисунок 3.4 – Структурна схема запропонованої системи

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

### 3.2 Застосування фреймворку для побудови Node red веб-інтерфейсу

Суористаємось конструктор веб-інтерфейсу користувача Node-RED (UIbuilder). UIbuilder має на меті забезпечити простий у використанні спосіб створення динамічних веб-інтерфейсів за допомогою інтерфейсних бібліотек. У той час як Dashboard розроблено, щоб дуже легко створити інтерфейс користувача (проте з деякими обмеженнями), uibuilder розроблений, щоб дозволити вам робити все, що ви можете придумати, з будь-яким фреймворком. uibuilder, як правило, також повинен бути набагато швидшим та ресурсоефективнішим у використанні, ніж Dashboard, хоча це, очевидно, залежить від того, які інтерфейсні бібліотеки та фреймворки ви вирішите використовувати.

Метою використання uibuilder є:

- Підтримка простого методу створення та доставки веб-програм на основі даних.
- Наявність каналу між Node-RED та інтерфейсом користувача веб-програми (браузера).

Функції, які забезпечує uibuilder:

- Забезпечує 2-сторонній канал зв'язку між сервером Node-RED (back-end) та інтерфейсним кодом інтерфейсу користувача.
- Забезпечує доступ до вузла Node-RED, який буде фокусом для зв'язку та встановлення інтерфейсних пакетів для використання у вашому коді.
- Забезпечує зовнішню бібліотеку для виконання складних частин зв'язку та стандартизації взаємодії з сервером Node-RED.
- Забезпечує шаблони для зовнішнього коду, щоб користувачі могли швидко розпочати створення веб-програм.
- Забезпечує керування та обслуговування пакетів npm, які надають інтерфейсні бібліотеки, які легко виконуються за допомогою інтерфейсного коду.
- Забезпечує редагування інтерфейсного коду (призначений для невеликих змін).

– Забезпечує можливість мати інтерфейс користувача на основі конфігурації (керований даними). Створення фреймворку для опису інтерфейсу користувача та перекладу на фактичний код без необхідності писати код

### 3.3 Алгоритми реалізації автоматичного поливу

Автоматична система поливу була спроектована так, щоб постійно вимірювати вологість і рівень температури ґрунту. Система реагує належним чином, поливаючи ґрунт точною необхідною кількістю води, а потім відключає подачу води при досягненні необхідної кількості вологості ґрунту. Еталонна кількість ґрунту вже попередньо подається в мікроконтролер. Цей еталонний вміст вологи в ґрунті був зроблений так, щоб бути регульованим для трьох найпоширеніших типів ґрунтів (піщані, суглинні та глинисті ґрунти). Датчики вологості та температури розроблені з використанням щупів, виготовлених із стійкого до корозії матеріалу, який можна встроїти в зразок ґрунту. Рівні напруги, що відповідають вологому та сухому стану зразка ґрунту, обчислювалися шляхом вимірювання опору між щупами вологості та узгодження їх з вихідною напругою ланцюга компаратора.

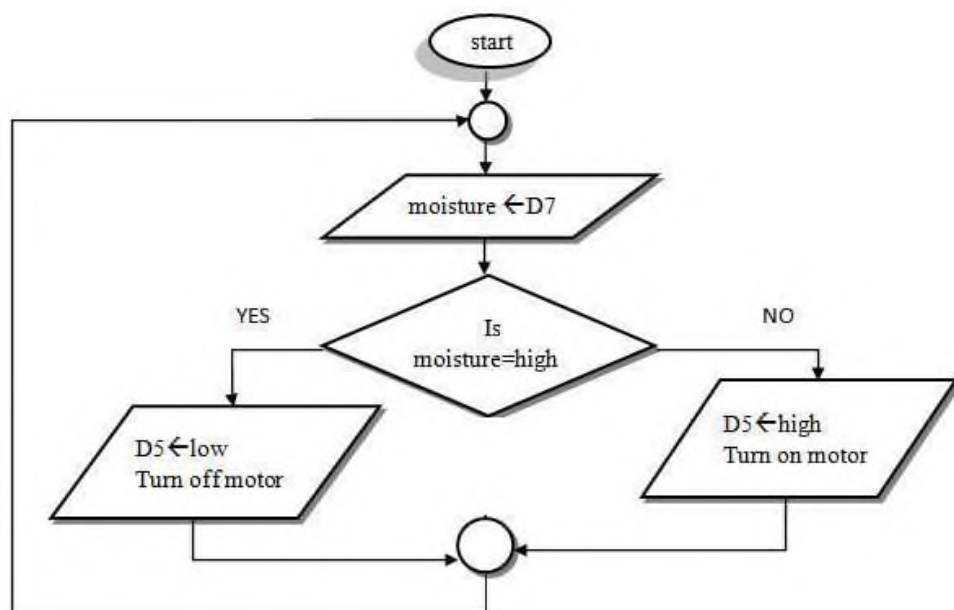


Рисунок 3.5 – Блок-схема роботи датчика вологості

### 3.3.1 Блок-схема роботи автоматизованої системи поливу рослин

Розглянемо детальніше блок-схему роботи системи.

1. Початок роботи: система включається і починає працювати.

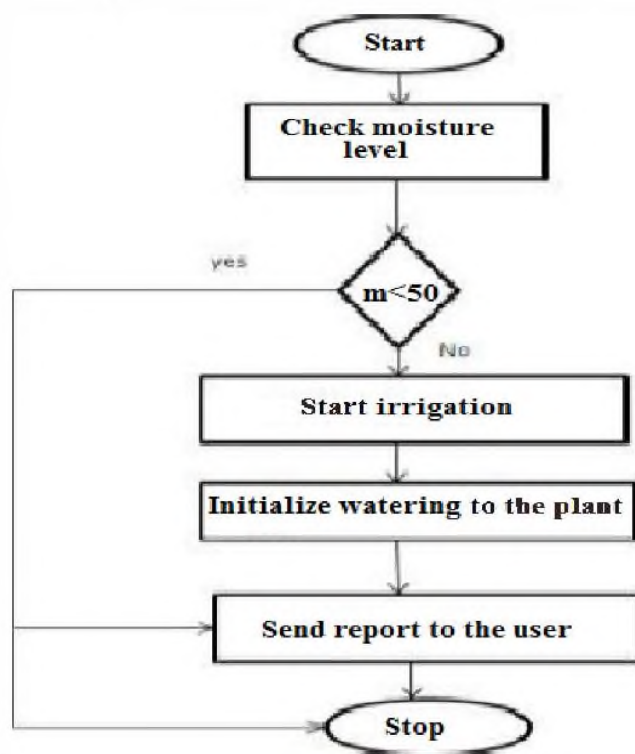


Рисунок 3.6 – Блок-схема роботи автоматизованої системи поливу рослин

2. Отримання показників датчиків вологості. Датчики вологості розміщуються в ґрунті для вимірювання рівня вологи. Показання знімаються і обробляються мікроконтролером.

3. Прийняття рішення. На основі показань датчиків вологості мікроконтролер вирішує, чи є ґрунт сухим і потребує води, чи він вологий і не потребує води.

4. Виконання поливу. Якщо ґрунт сухий, мікроконтролер активує водяний насос або клапан для випуску води в ґрунт.

5. Запуск таймеру. Мікроконтролер запускає таймер, щоб визначити тривалість часу, протягом якого водяний насос або клапан повинні залишатися активованими.

6. Закінчення роботи. Водяний насос або клапан відключається, і система переходить у сплячий стан до наступного зчитування з датчиків вологості.

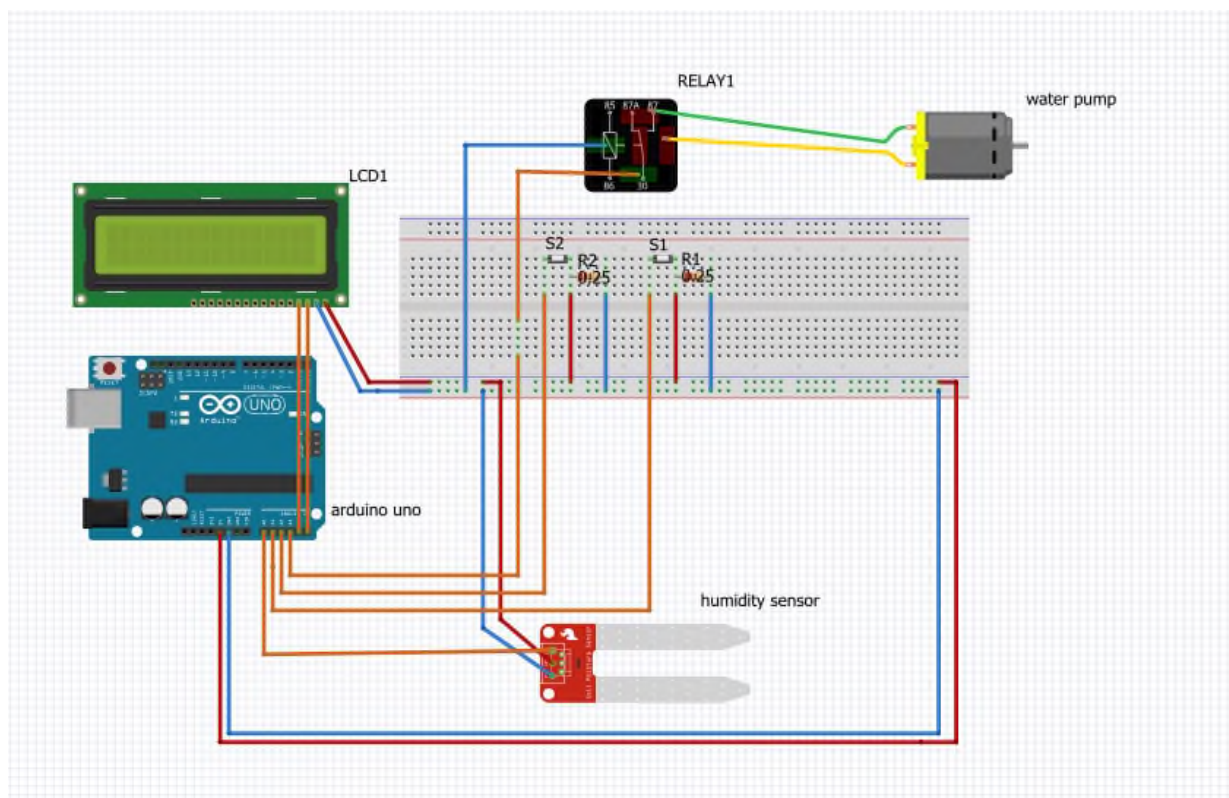


Рисунок 3.7 – Монтажне з'єднання компонентів

Основна функція даного проекту полягала в тому, щоб забезпечити автоматичну систему розподілу води і поливу за допомогою датчика вологості і температури. А знизити витрату води можна за допомогою цієї процедури і нової матричної системи.

Сфера застосування даної системи може включати: сільське господарство, приватні будинки для автоматичного поливу рослин, коли особи немає вдома, а дані, зібрані цим методом, можуть бути використані в аналізі даних, щоб з'ясувати, як швидко відбувається випаровування вологи і яка секція вимагає більше води.

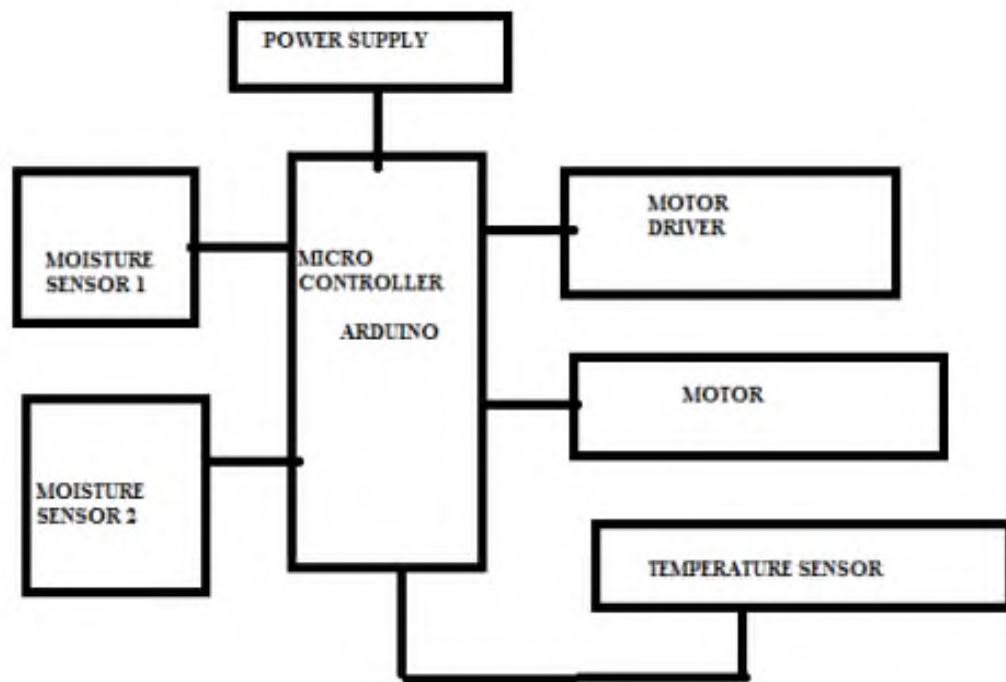


Рисунок 3.8 – Узагальнена структурна схема системи

Цей проект забезпечує значне збільшення переваг традиційних методів зрошення. Він забезпечує воду в ґрунт виходячи з вологості ґрунту, тим самим зменшуючи втрати води. Він використовує матричну систему для зниження як споживання води, так і надлишкових трубопроводів. Таким чином, це повне вдосконалення традиційних методів сільськогосподарського зрошення та попереднього автоматизованого методу.

### 3.4 Інтерфейс кіберфізичної системи розумної теплиці для автоматизації поливу рослин

Інтерфейс кібер-фізичної системи розумної теплиці для автоматизації поливу рослин є найважливішим компонентом загальної системи, що дозволяє користувачам дистанційно контролювати і контролювати полив рослин в теплиці. Ця система інтегрує фізичні пристрої, такі як датчики, клапани та насоси, з програмним забезпеченням та мережевими технологіями для створення безшовної, автоматизованої системи управління поливом рослин. Інтерфейс

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата



5. Інтерфейс користувача: Відображення стану системи і будь-яких попереджень або повідомлень, а також надання користувачеві можливості вносити зміни в системні налаштування.

6. Відгуки користувачів: збір відгуків від користувача про продуктивність системи, включаючи будь-які проблеми або пропозиції щодо покращення.

7. Технічне обслуговування: моніторинг системи для будь-яких потреб у технічному обслуговуванні, таких як заміна датчиків або ремонт обладнання.

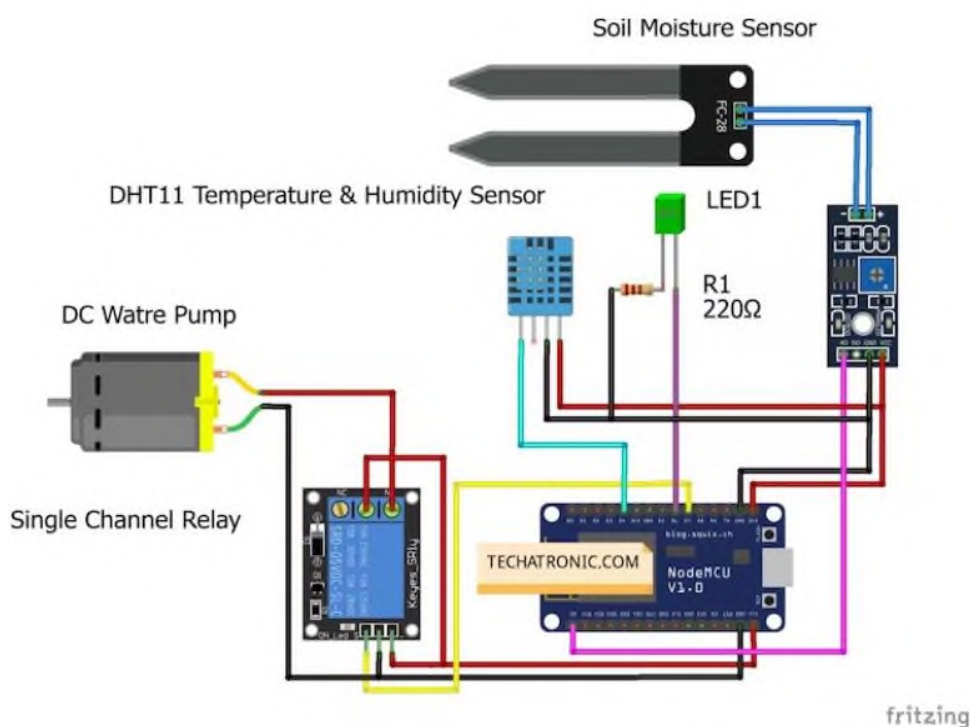


Рисунок 3.9 – Монтажна схема

Вимоги до кожного аспекту включають:

1. Моніторинг в режимі реального часу: інтерфейс повинен мати можливість відобразити інформацію про теплицю в режимі реального часу. Щоб цього домогтися, по всій теплиці потрібно встановити датчики для контролю температури, вологості, рівня вологості ґрунту, стану системи поливу. Ці датчики підключаються до мікроконтролера або шлюзу, який передає дані в хмару. Потім інтерфейс отримує ці дані з хмари та відображає їх у легкому для розуміння форматі, такому як графіки або діаграми.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

2. Управління системою поливу: Інтерфейс повинен дозволяти користувачеві керувати системою поливу. Щоб цього домогтися, в магістралі водопроводу встановлюється моторизований клапан, і керувати цим клапаном може мікроконтролер або інший пристрій. Потім користувач може керувати клапаном за допомогою кнопок або повзунків на інтерфейсі. Додатково також може бути встановлений водяний насос, яким можна управляти таким же чином.

3. Повідомлення та сповіщення: інтерфейс повинен мати можливість попередити користувача про будь-які проблеми з системою. Для досягнення цієї мети інтерфейс можна налаштувати на моніторинг даних з датчиків, і якщо будь-які показання виходять за межі очікуваного діапазону, спрацьовує сигналізація або повідомлення. Ці сповіщення можуть бути у формі спливаючих повідомлень, сповіщень електронною поштою або текстових повідомлень.

4. Історичні дані: інтерфейс повинен надавати користувачеві доступ до історичних даних. Щоб досягти цього, дані з датчиків повинні зберігатися в базі даних, наприклад, базі даних часових рядів. Потім інтерфейс може отримати ці дані з бази даних і відобразити їх у вигляді графіків або таблиць.

5. Керування користувачами: інтерфейс повинен мати функції керування користувачами. Щоб досягти цього, інтерфейс повинен мати систему аутентифікації та авторизації користувачів. Це може включати використання імені користувача та пароля:

– Методи аутентифікації, такі як біометрія. Потім різним користувачам можна призначити різні рівні доступу залежно від їхньої ролі або відповідальності.

– Мобільний доступ: інтерфейс повинен бути доступний через мобільні пристрої. Щоб досягти цього, інтерфейс повинен бути розроблений з використанням принципів адаптивного веб-дизайну, що дозволяє інтерфейсу підлаштовуватися під різні розміри екрану. Крім того, інтерфейс повинен бути доступний через мобільний додаток, який можна завантажити з магазинів додатків.

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк. 49
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 3.5 Налаштування Weaved і Raspberry Pi

Weaved – це хмарний сервіс, який дозволяє віддалено отримати доступ до Raspberry Pi з будь-якого місця, де є підключення до Інтернету. Це може бути корисно, якщо вам потрібно контролювати або керувати Raspberry Pi з віддаленого місця або якщо ви хочете створити мережу взаємопов'язаних пристроїв.

Raspberry Pi – це серія невеликих одноплатних комп'ютерів, спроектованих та розроблених Raspberry Pi Foundation у Великобританії. Метою Raspberry Pi є забезпечення доступної та доступної платформи для викладання інформатики та програмування, а також для любителів та самостійних проектів. Зокрема цей інтерфейс забезпечує:

1. Віддалений доступ: Weaved забезпечує віддалений доступ до ваших пристроїв з будь-якого місця, де є підключення до Інтернету. За допомогою Weaved ви можете безпечно отримати доступ до своїх пристроїв, таких як Raspberry Pi, комп'ютери Linux та пристрої IoT, віддалено з будь-якого місця за допомогою веб-браузера або мобільного додатка.

2. Безпечне підключення до Інтернету речей: Weaved забезпечує безпечну та надійну платформу для підключення ваших пристроїв IoT до хмари. Це дозволяє безпечно підключати пристрої IoT до хмарних сервісів та обмінюватися даними з іншими пристроями через Інтернет.

3. Віддалене управління: Weaved пропонує послуги віддаленого управління вашими пристроями. За допомогою віддаленого керування можна віддалено контролювати свої пристрої та керувати ними, такими як оновлення мікропрограми, оновлення програмного забезпечення та конфігурації пристроїв, не потребуючи фізичного доступу до пристрою.

4. Шлюз IoT: Weaved пропонує послугу шлюзу IoT, яка дозволяє безпечно підключати пристрої IoT до хмари. Шлюз IoT забезпечує безпечний зв'язок між вашими пристроями IoT та хмарними службами, полегшуючи

управління та керування вашими пристроями з будь-якого місця, де є підключення до Інтернету.

5. Віддалене налагодження: Weaved надає послуги віддаленого налагодження для ваших пристроїв. За допомогою віддаленого налагодження ви можете віддалено діагностувати та виправляти проблеми зі своїми пристроями, не потребуючи фізичного доступу до пристрою.

Загалом, Weaved пропонує широкий спектр послуг для віддаленого доступу та керування вашими пристроями через Інтернет, що полегшує керування та моніторинг ваших пристроїв з будь-якого місця, де є підключення до Інтернету.

Розглянемо кроки підключення Raspberry Pi до Інтернету:

1. Підключення Raspberry Pi до локальної мережі за допомогою кабелю Ethernet або ключа Wi-Fi.

2. Якщо використовується кабель Ethernet, слід підключити один кінець до порту Ethernet на Raspberry Pi, а інший - до маршрутизатора.

3. Якщо використовується ключ Wi-Fi, підключіть його до одного з USB-портів на Raspberry Pi та налаштувати параметри Wi-Fi для підключення до локальної мережі.

4. Після того, як Raspberry Pi підключений до локальної мережі, є можливість отримати доступ до Інтернету через маршрутизатор.

5. Ви можете перевірити підключення до Інтернету, відкривши веб-браузер і перейшовши на веб-сайт.

6. Якщо проблеми з підключенням до Інтернету не зникають, слід перевірити настройки мережі та переконайтеся, що маршрутизатор настроєно належним чином.

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

```
pi@raspberrypi ~ $ wget https://github.com/weaved/installer/raw/master/binaries/weaved-nixinstaller_1.2.8.bin
--2015-02-10 21:10:28-- https://github.com/weaved/installer/raw/master/binaries/weaved-nixinstaller_1.2.8.bin
Resolving github.com (github.com)... 192.30.252.129
Connecting to github.com (github.com)|192.30.252.129|:443... connected.
HTTP request sent, awaiting response... 302 Found
Location: https://raw.githubusercontent.com/weaved/installer/master/binaries/weaved-nixinstaller_1.2.8.bin [following]
--2015-02-10 21:10:53-- https://raw.githubusercontent.com/weaved/installer/master/binaries/weaved-nixinstaller_1.2.8.bin
Resolving raw.githubusercontent.com (raw.githubusercontent.com)... 199.27.76.133
Connecting to raw.githubusercontent.com (raw.githubusercontent.com)|199.27.76.133|:443... connected.
HTTP request sent, awaiting response... 200 OK
Length: 292979 (286K) [application/octet-stream]
Saving to: `weaved-nixinstaller_1.2.8.bin'

100%[=====>] 292,979      711K/s   in 0.4s

2015-02-10 21:10:58 (711 KB/s) - `weaved-nixinstaller_1.2.8.bin' saved [292979/292979]

pi@raspberrypi ~ $ chmod +x weaved-nixinstaller_1.2.8.bin
pi@raspberrypi ~ $
```

Рисунок 3.10 – Налаштування Weaved і Raspberry Pi

У командному рядку Raspberry Pi слід ввести таку команду для скачування необхідного пакету:

```
wget https://github.com/weaved/installer/raw/master/binaries/weaved-nixinstaller_1.2.8.bin
```

Далі зробимо інсталяційний файл завантажувальним виконуваним файлом:

```
chmod +x weaved-nixinstaller_1.2.8.bin
```

Далі в командному рядку введемо:

```
./weaved-nixinstaller_1.2.8.bin
```

```
***** Protocol Selection Menu *****
*                                     *
*   1) SSH on default port 22         *
*   2) Web (HTTP) on default port 80  *
*   3) WebIOPi on default port 8000  *
*   4) VNC on default port 5901      *
*   5) Custom (TCP)                  *
*                                     *
*****

Please select from the above options (1-5):
2
You have selected: 2.

The default port for Web (http) is 80.
Would you like to continue with the default port assignment? [y/n] y
We will install Weaved services for the following:

Protocol: web
Port #: 80
Service name: Weavedweb80

Please enter your Weaved Username (email address):
█
```

Рисунок 3.11 – Встановлення weaved

```
***** Protocol Selection Menu *****
*                                     *
*   1) SSH on default port 22         *
*   2) Web (HTTP) on default port 80  *
*   3) WebIOPi on default port 8000  *
*   4) VNC on default port 5901      *
*   5) Custom (TCP)                  *
*                                     *
*****

Please select from the above options (1-5):
2
You have selected: 2.

The default port for Web (http) is 80.
Would you like to continue with the default port assignment? [y/n] y
We will install Weaved services for the following:

Protocol: web
Port #: 80
Service name: Weavedweb80

Please enter your Weaved Username (email address):
█
```

Фигуре 3.12 – Вибір сервісів

Коли ми вперше почнемо, нам буде запропоновано встановити одну з служб Weaved: SSH на порту 22, Web (http) на порту 80, WebIOPi на порту 8000, VNC на порту 5091 (перевірено за допомогою tightvncserver) або користувацьку службу TCP на обраному вами порту....

У цьому прикладі ми виберемо другий варіант, http на порту 80.

```
*****
CONGRATULATIONS! You are now registered with Weaved.
Your registration information is as follows:

Device alias:
weaved_tutorial_4_pi

Device UID:
10:00:00:00:00:00:00:00:00:00

Device secret:
*****

The alias, Device UID and Device secret are kept in the License File:
/etc/weaved/services/Weavedweb80.conf

If you delete this License File, you will have to re-run the installer.

*****

Starting and stopping your service can be done by typing:
"sudo /usr/bin/Weavedweb80.sh start|stop|restart"
pi@raspberrypi ~ $
```

Рисунок 3.13 – Введення облікових даних для входу

Тепер ми вводимо інформацію, яку ми встановлюємо на кроці 1.

Слід зазначити, що це не персональна інформація для входу в Raspberry Pi, а інформація для облікового запису в weaved (яку ми налаштовуємо на кроці 1).

```
We will now register your device with the Weaved backend services.
Please provide an alias for your device:
weaved_tutorial_4_pi
```

Рисунок 3.14 – Налаштування Weaved і Raspberry Pi

```
*****
CONGRATULATIONS! You are now registered with Weaved.
Your registration information is as follows:

Device alias:
weaved_tutorial_4_pi

Device UID:
80:00:00:05:46:00:09:8F

Device secret:
F7800E01FC083AF223EF030BFAC508EEFEDAB8AC

The alias, Device UID and Device secret are kept in the License File:
/etc/weaved/services/Weavedweb80.conf

If you delete this License File, you will have to re-run the installer.

*****

Starting and stopping your service can be done by typing:
"sudo /usr/bin/Weavedweb80.sh start|stop|restart"
pi@raspberrypi ~ $ █
```

Рисунок 3.15 – Назва пристрою

Для цього експерименту ми обрали «weaved\_tutorial\_4\_pi».

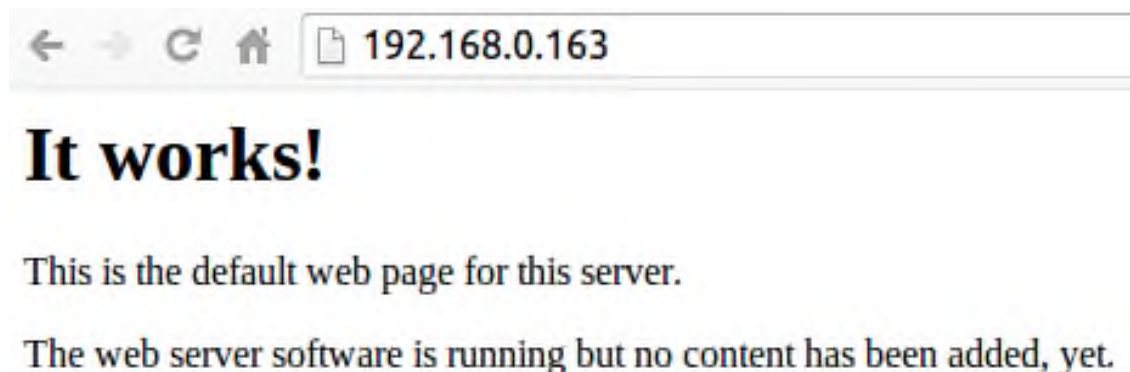


Рисунок 3.16 – Перевірка

На цьому етапі все для weaved має бути правильно налаштовано. Це можна перевірити, налаштувавши сервер на Raspberry Pi для обслуговування веб-сторінок.

Далі виконаємо встановлення сервера Apache на Pi.

Встановити Apache можна за допомогою двох швидких команд командного рядка:

sudo apt-get update

sudo apt-get встановити apache2 -у

Your current list of devices

train_station	inactive (71.163.23.159/192.168.1.19)	Delete
weaved_tutorial_4_pi	active (50.202.78.174/10.2.11.63)	Connect   Delete
80:00:00:05:46:00:07:B3	inactive (71.163.23.159/192.168.1.19)	Delete

Рисунок 3.17 – Перевірка, чи новий пристрій знаходиться в мережі.

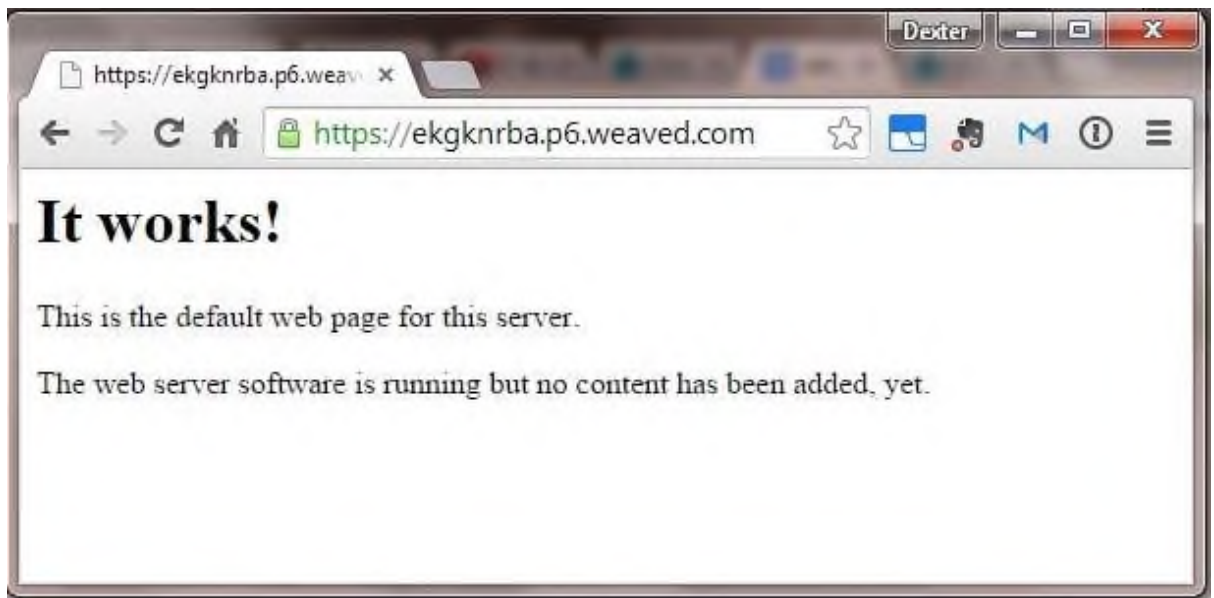


Рисунок 3.18 – Перевірка роботи

У weaved консолі розробника натиснемо «Підключитися» і відкриється нове вікно.

It works! Якщо ми введемо адресу, після `https://` у браузері нижче, ви можете побачити її у своєму мобільному телефоні або з будь-якої точки Інтернету

Таким чином, перевагами використання Weaved на системі Raspberry Pi є:

1. Простота використання: Weaved забезпечує простий та зручний спосіб віддаленого доступу та керування системою Raspberry Pi. Програмне забезпечення просте в установці та налаштуванні та не вимагає технічних знань.

2. Крос-платформна сумісність: Weaved підтримує кілька операційних систем, включаючи Linux, Windows і Mac, що робить його простим у використанні на різних платформах.

3. Безпека: Weaved використовує шифрування для забезпечення безпеки даних, що передаються між Raspberry Pi та віддаленими пристроями. Він також надає механізми аутентифікації для запобігання несанкціонованому доступу.

4. Гнучкість: Weaved можна використовувати для широкого спектру застосувань, включаючи домашню автоматизацію, управління пристроями IoT, і віддалений доступ до даних і додатків.

5. Економічно вигідний: Weaved - це доступне рішення, яке не вимагає додаткового обладнання або інфраструктури.

До недоліків використання Weaved на системі Raspberry Pi можна віднести:

1. Залежність від хмарних серверів: Weaved покладається на хмарні сервери для встановлення віддаленого з'єднання між Raspberry Pi та віддаленими пристроями. Це потенційно може створити єдину точку відмови, якщо хмарні сервери вийдуть з ладу.

2. Обмежена настройка: Weaved надає обмежений набір параметрів налаштування, яких може бути недостатньо для досвідчених користувачів, яким потрібен більший контроль над своїм рішенням віддаленого доступу.

3. Обмеження продуктивності: Weaved може не забезпечити оптимальну продуктивність для певних застосувань, наприклад, тих, які вимагають низької затримки або високої пропускної здатності.

4. Проблеми конфіденційності даних: Weaved передає дані через Інтернет, які потенційно можуть розкрити конфіденційну інформацію хакерам або іншим третім сторонам.

5. Модель на основі підписки: Weaved вимагає підписки для доступу до певних функцій та функцій, які з часом можуть стати дорогими для користувачів із кількома системами Raspberry Pi або великою кількістю пристроїв





врожайності сільськогосподарських культур і зниження споживання води, що особливо важливо в районах з обмеженими водними ресурсами.

Однак існують також деякі проблеми, пов'язані з використанням автоматизованих систем поливу рослин на основі Raspberry Pi. До них відносяться питання, пов'язані з енергопостачанням, підключенням і управлінням даними. Для вирішення цих проблем важливо ретельно спроектувати систему і вибрати компоненти, сумісні з платформою Raspberry Pi.

На закінчення, наше дослідження показало, що використання автоматизованої системи поливу рослин на основі Raspberry Pi пропонує численні переваги для виробників та фермерів. Автоматизуючи процес зрошення, ми можемо підвищити ефективність та стійкість сільськогосподарської практики, а також зменшити потребу в ручній праці. Однак важливо ретельно спроектувати і впровадити ці системи, щоб забезпечити їх ефективність і надійність. При подальших дослідженнях і розробках можна створити більш досконалі системи, здатні адаптуватися до мінливих умов навколишнього середовища і приносити ще більші переваги. В цілому, використання автоматизованої системи поливу рослин на основі Raspberry Pi показує великий потенціал для підвищення ефективності та стійкості сільського господарства, і ми з нетерпінням чекаємо її подальшого розвитку в майбутньому.

Також досліджено інтерфейс кібер-фізичної системи автоматизації поливу рослин у розумній теплиці. Дослідження показало, що система ефективна для підтримки оптимального рівня вологості ґрунту, що може призвести до покращення росту рослин та зменшення використання води. Результати дослідження мають значення для підвищення стійкості та ефективності росту рослин у розумних тепличних системах.

Основний внесок цього дослідження включає розробку та оцінку кіберфізичного інтерфейсу для поливу рослин, який можна налаштувати та інтегрувати з іншими розумними тепличними технологіями. Дослідження також підкреслило важливість моніторингу та контролю поливу рослин у режимі реального часу для оптимального росту рослин та використання ресурсів.

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Однак дослідження також мало деякі обмеження. По-перше, дослідження проводилося в невеликих масштабах, і тому результати не можуть бути узагальнені для більших систем. Крім того, дослідження не включало алгоритми машинного навчання для прогнозування та коригування потреб рослин у воді.

Майбутня робота в цій області може включати розробку алгоритмів машинного навчання для прогнозування потреб рослин у воді та відповідного коригування поливу. Також можуть бути проведені подальші дослідження масштабованості та комерціалізації кіберфізичного інтерфейсу, а також його інтеграції з іншими розумними тепличними технологіями.

Підсумовуючи, ця дисертація надала цінну інформацію про інтерфейс кіберфізичної системи для автоматизації поливу рослин у розумній теплиці. Отримані результати мають значення для підвищення стійкості та ефективності росту рослин у розумних тепличних системах, а майбутня робота може ще більше оптимізувати та розширити систему.

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Poonia R., Agarwal B. Kumar S., Khan M., Marques G., Nayak J. Cyber-Physical Systems, *Academic Press*, 2021. 278 p.
2. Auduno. (2018). Auduno Irrigation System. Auduno. URL: <https://www.auduno.com/irrigation>.
3. Kemerink, J., & van der Meer, W. . The Auduno Irrigation System: A Low-Cost and Sustainable Solution for Smallholder Farmers. *Journal of Water for Food*, 9(3), 2019, 404-414.
4. Miller, C., & Clemens, R.. The Impact of the Auduno Irrigation System on Smallholder Farmers in Tanzania. *The Journal of Developing Areas*, 53(3), 2019 33-44.
5. Nyamwange, S. O., Owino, F. O., & Otieno, A. O. Evaluation of the Auduno Irrigation System in Enhancing Tomato Production in Western Kenya. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(5), 2019, 1085-1097.
6. Yirga, C. Economic Analysis of the Auduno Irrigation System in Ethiopia: A Case Study of Tomato Production. *International Journal of Economics, Commerce and Management*, 7(4), 2019, 93-106
7. Mekonen, M. A., Terefe, T. A., & Lemma, B. Performance of Auduno Irrigation System in Tomato Production: A Case of Smallholder Farmers in Lay Gayint District, Amhara Region, Ethiopia. *International Journal of Agriculture and Environmental Research*, 6(1), 2020, 39-50.
8. Woudstra, J., & Kemerink, J. Scaling Up the Auduno Irrigation System: Opportunities and Challenges. *Water*, 12(8), 2020, 2271.
9. Kemerink, J., van der Meer, W., & Almekinders, C. The Auduno Irrigation System: Enhancing Productivity and Food Security for Smallholder Farmers in Tanzania. *Sustainable Agriculture Reviews*, 35, 2019, 35-54.
10. Fritzing, URL:<https://fritzing.org/>
11. Yadin A. Computer Systems Architecture, Chapman and Hall, *CRC*, 2016. 467 p.

					КВРКІ. 19005.04.01.01ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

12. Null L., Lobur Y. Essentials of Computer Organization and Architecture, *Jones & Bartlett Learning*; 5th edition, 2018. – 744 p.
13. Kravets A.G., Bolshakov A.A., M.V. Shcherbakov Cyber-Physical Systems: Industry 4.0 Challenges (Studies in Systems, Decision and Control, 260). *Springer*; 1st ed., 2020. 349 p.
14. Rea P., Ottaviano E., Machado J. and Antosz K. Design, Applications, and Maintenance of Cyber-Physical Systems, *Engineering Science Reference*, 2021. 314 p.
15. Li B. S. X., Wan B., Wang C., Zhou X., Chen X. Definitions of predictability for cyber physical systems, *Journal of Systems Architecture*. 2016.
16. Raspberry Pi, URL: <https://www.raspberrypi.org/>
17. Poliakov, M., Larionova, T. Control Systems with programmable logic controllers, Remote and virtual tools in engineering: *textbook, general editorship* Dr.Ing.Karsten Henke. Zaporizhzhya: Dike Pole, 2016. 250 p.
18. Barrett S.F. Microchip AVR® Microcontroller Primer: Programming and Interfacing. *Morgan & Claypool Publishers*, 2019. 374 p.
19. Papazoglou P. M. An Educational Guide to the AVR Microcontroller Programming: AVR Programming::Demystified (Assembly Language). *CreateSpace Independent Publishing Platform*, 2018. 274 p.
20. Nicheporuk A., Nicheporuk A., Sachenko A., A System for Detecting Anomalies and Identifying Smart Home Devices Using Collective Communication, *CEUR-WS*. Vol. 2853. Pp. 386-397.
21. Molly Edmonds & Nathan Chandler, How Smart Homes Work, URL: <https://home.howstuffworks.com/smart-home.htm>
22. Bhattacharjee S. Practical Industrial Internet of Things Security. Birmingham, United Kingdom: Packt Publishing Ltd 2018. 324 p.
23. Kumar V., R. Chawda Research paper on smart home, *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 2020. Vol. 5. Issue 3. pp. 530-532.
24. Atzori L., Iera A., and Morabito G., The Internet of Things: A Survey, *Computer Networks*. Vol. 54. no 15. 2010. pp. 2787–2805.

25. Cho M.E., Kim, M.J. Smart Homes Supporting the Wellness of One or Two-Person Households, *Sensors*. 2022. 22, 7816.
26. Yanagida K. Ueda Y., Go K., Takahashi K., Hayakawa S., Yamazaki K., Structured Scenario-Based Design Method, *In Proceedings of the 1st International Conference on Human Centered Design*, San Diego, CA, USA, 19–24 July 2009, pp. 374–380
27. Kishita Y., Mizuno Y., Fukushige S., Umeda Y. Scenario structuring methodology for computer-aided scenario design: An application to envisioning sustainable futures, *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 2020. 160. 120207
28. Rhee J.H., Ma J.H., Seo J., Cha S.H., Review of applications and user perceptions of smart home technology for health and environmental monitoring, *J. Comput. Des. Eng.* No 9. 2022, pp. 857–889.
29. Tiwari P., Garg V., Agrawal R. Changing World: Smart Homes Review and Future. *In Smart IoT for Research and Industry*, Springer International Publishing: Cham, Germany, 2022, pp. 145-160.
30. Hosseini S. S., Non-intrusive load monitoring through home energy management systems: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 79, 2017, pp. 1266-1274.

Додаток А  
(обов'яз'язковий)  
Код програми

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

# Set GPIO mode and pins
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
pump_pin = 18
moisture_pin = 17

# Set up pump relay
GPIO.setup(pump_pin, GPIO.OUT)
GPIO.output(pump_pin, GPIO.HIGH)

# Set up moisture sensor
GPIO.setup(moisture_pin, GPIO.IN)

# Define a function to turn on the water pump
def water_plants():
    GPIO.output(pump_pin, GPIO.LOW)
    time.sleep(5)
    GPIO.output(pump_pin, GPIO.HIGH)

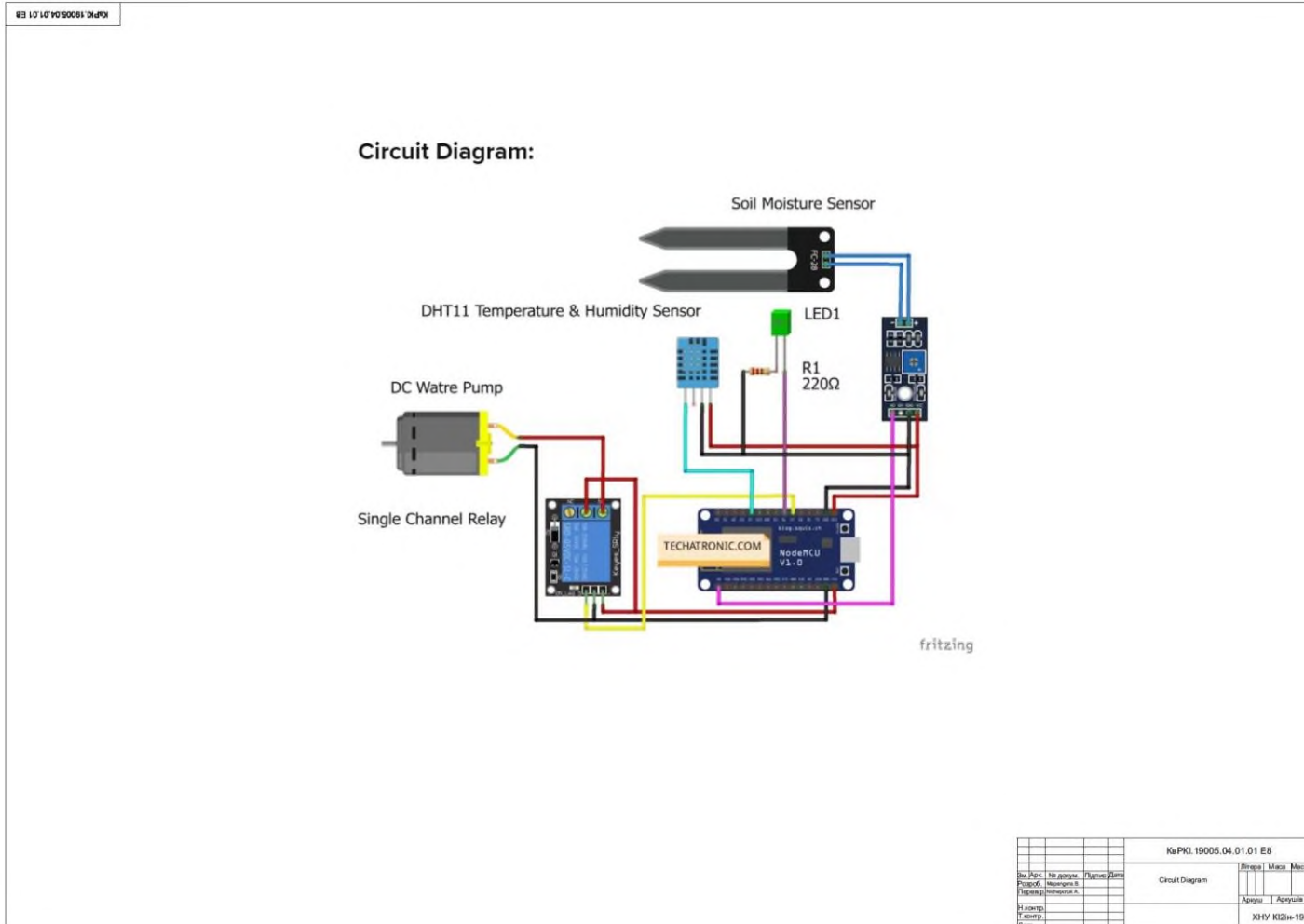
# Define a function to read the moisture level
def read_moisture():
    moisture = GPIO.input(moisture_pin)
```

```
    return moisture

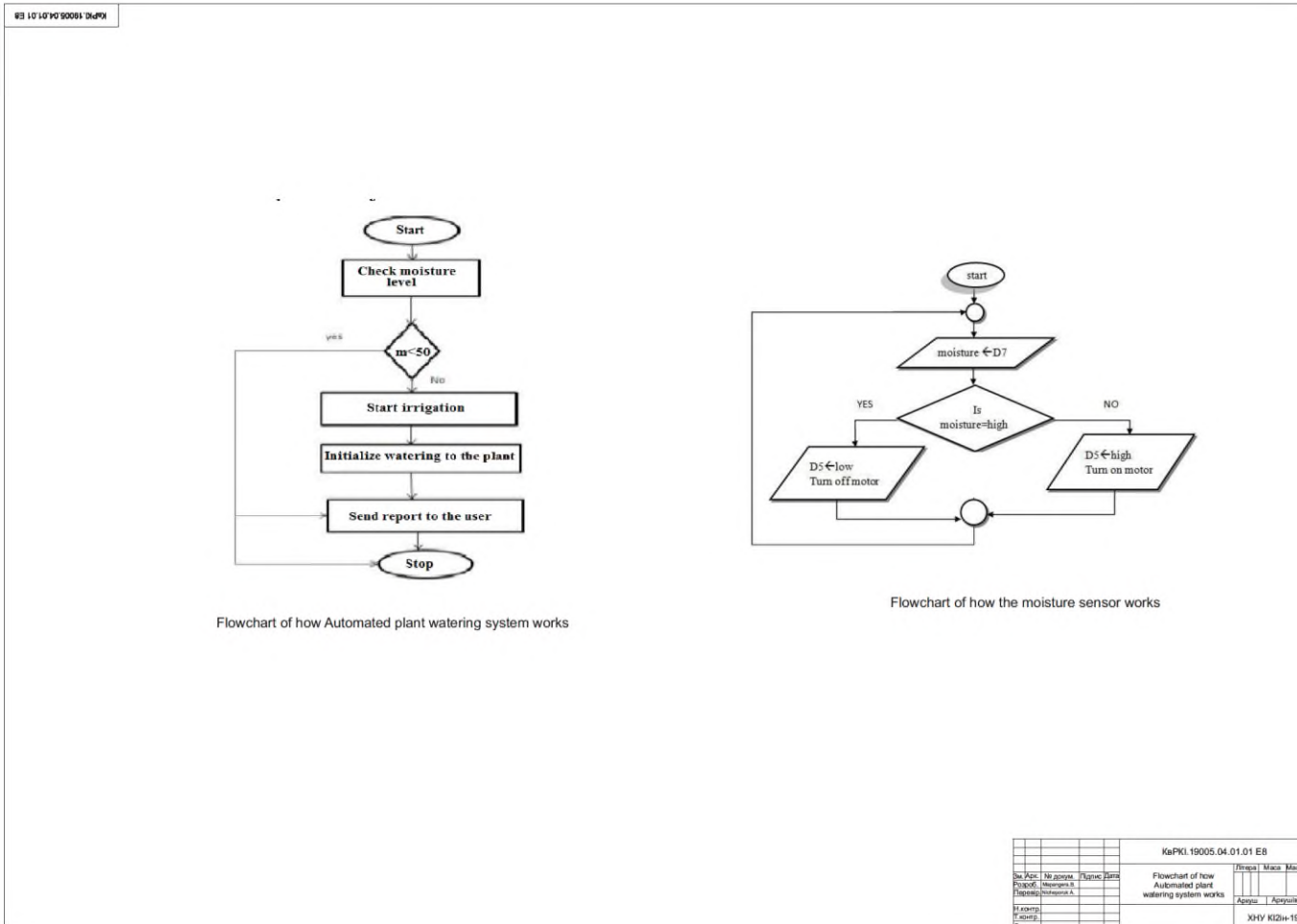
# Main loop
while True:
    moisture_level = read_moisture()
    if moisture_level == 1:
        print("Soil is dry, watering plants...")
        water_plants()
    else:
        print("Soil is moist, no need to water.")
    time.sleep(60) # Check moisture level every minute
```

Цей код щохвилини зчитує рівень вологості з датчика. Якщо ґрунт сухий, то включають водяний насос на 5 секунд для поливу рослин. Якщо ґрунт вологий, рослини не поливають.

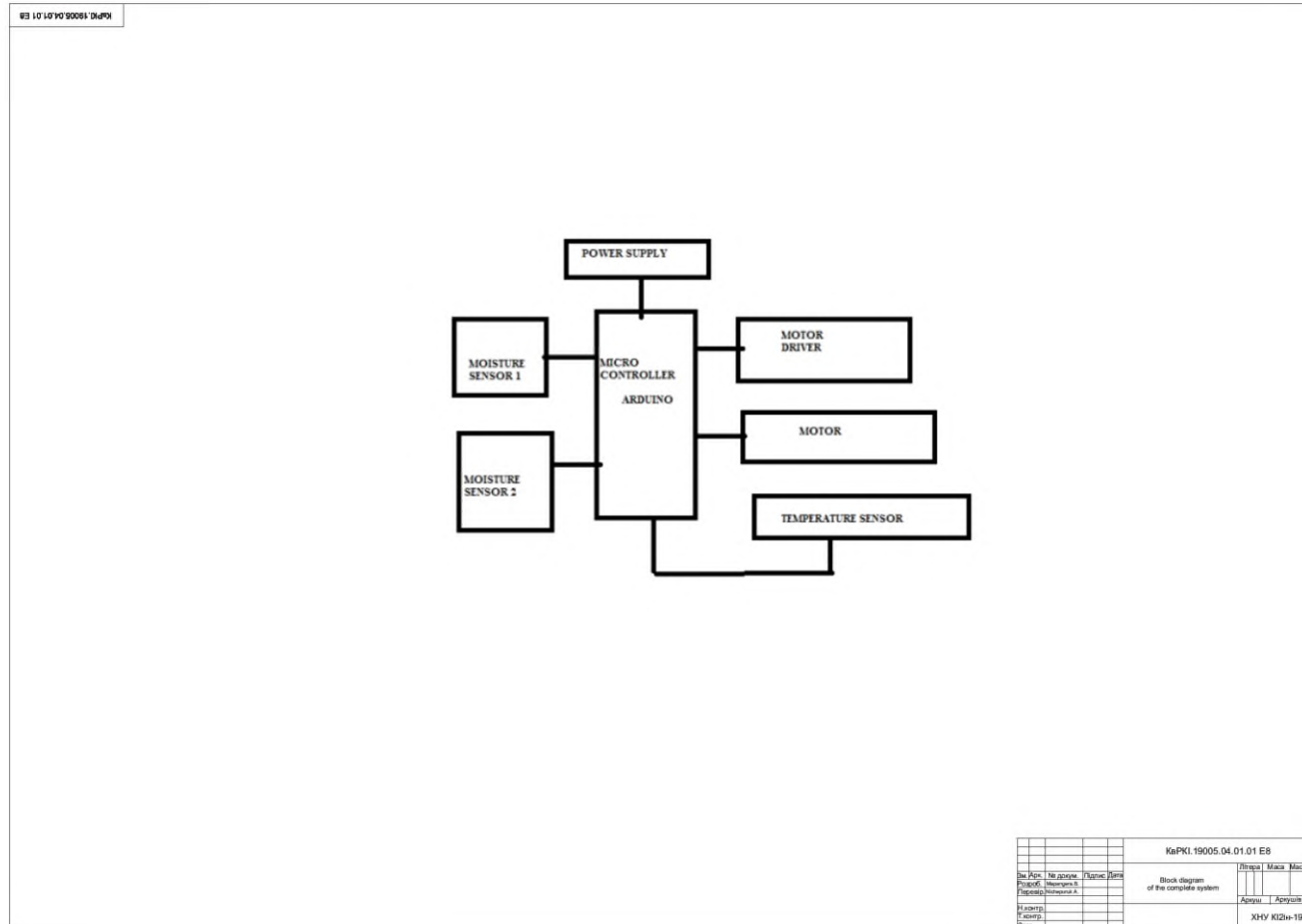
# Додаток Б (обов'яз'язковий) Принципова схема



Додаток В  
(обов'яз'язковий)  
Блок-схема роботи автоматизованої системи поливу рослин



Додаток Г  
 (обов'яз'язковий)  
 Структурна схема всієї системи



Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

ID перевірки:  
1015494689

Дата перевірки:  
08.06.2023 09:13:21 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
08.06.2023 09:14:17 EEST

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Mapangera\_A cyber-physical system of automated plant watering based on a Raspberry Pi single-board co..

Кількість сторінок: 66 Кількість слів: 12041 Кількість символів: 78324 Розмір файлу: 4.62 MB ID файлу: 1015151212

## 12.9% Схожість

Найбільша схожість: 2.8% з Інтернет-джерелом (<https://acadpubl.eu/jsi/2018-119-7/articles/7c/24.pdf>)

12.7% Джерела з Інтернету

281

Сторінка 68

0.43% Джерела з Бібліотеки

7

Сторінка 71

## 1.11% Цитат

Цитати

6

Сторінка 72

Посилання

1

Сторінка 72

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

ID перевірки:  
1015494690

Дата перевірки:  
08.06.2023 09:12:48 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
08.06.2023 09:13:22 EEST

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Мапангера\_Кіберфізична система автоматизованого поливу рослин на основі одноплатно...

Кількість сторінок: 70 Кількість слів: 10196 Кількість символів: 78190 Розмір файлу: 4.72 MB ID файлу: 1015151211

## 2.79% Схожість

Найбільша схожість: 0.95% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1014493505)

2.04% Джерела з Інтернету 107 ..... Сторінка 72

2.19% Джерела з Бібліотеки 92 ..... Сторінка 72

## 0.22% Цитат

Цитати 3 ..... Сторінка 73

Посилання 1 ..... Сторінка 73

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 2.0%

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 27%

ID: 115121 Назва: БКР А cyber-physical system of automated plant watering based on a Raspberry Pi single-board computer system Додано в БД: 2023-06-08 Автора: Marangera.B. Керівники: Nicheporuk A.O. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	73966	586	1744 (2%)	21 (4%)

### Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 5.0%

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 8%

ID: 115122 Назва: БКР_Кіберфізична система автоматизованого поливу рослин на основі одноплатної комп'ютерної системи Raspberry Pi Додано в БД: 2023-06-08 Автора: Б. Мадангера Керівники: А.О. Нічепорук Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	73367	575	4101 (6%)	48 (8%)

### Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Мапангера Брайт

Тема: Кіберфізична система автоматизованого поливу рослин на основі  
одноплатної комп'ютерної системи Raspberry Pi

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість листів креслень 3; кількість сторінок записки 55

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень У роботі запропоновано  
кіберфізичну систему автоматизованого поливу рослин на основі одноплатної  
комп'ютерної системи Raspberry Pi

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню

Дипломний проект відповідає виданому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх  
досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі  
проведено аналіз предметної області та огляд попередніх досліджень. У другому  
розділі проведено вибір елементної бази для кіберфізичної системи  
автоматизованого поливу. У третьому розділі запропоновано структуру  
кіберфізичної системи на базі Raspberry Pi.

4. Позитивні сторони роботи: Запропоновано структуру кіберфізичної  
системи автоматизованого поливу на базі Raspberry  
Pi

5. Негативні сторони роботи: В роботі не наведено результати роботи запропонованої системи у weaved, а лише представлено кроки по встановленню.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: пояснювальна записка та листи креслення виконані згідно діючих вимог

7. Відгук про роботу в цілому: В загальному робота виконана на достатньому рівні.

8. Інші зауваження: -

9. Оцінка дипломної роботи:

Розглянувши позитивні та негативні сторони представленої дипломної роботи вважаю, що робота заслуговує оцінки «задовільно» 3,75 (С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Доцент кафедри УІЗ Яшинець О.М.

“ 8 ” 06 2023р.

To the head of the department of CEIS  
Doctor of Technical Sciences, Prof.  
Hovorushchenko T. O.

Mapangera B.

---

Full name of the applicant of higher education

FIT, 4th year, group KIIH-19-1

### STATEMENT

With the rules of the current Regulation "On the system of ensuring academic integrity at the Khmelnytskyi National University" dated 01.07.2022, according to which the detection of plagiarism is a reason for refusing to admit a qualification work to the defense and applying measures of disciplinary and academic responsibility, (a) is familiar. I have been informed about the use of software and technical tools to check the qualification works of higher education applicants for plagiarism and I give my consent to the university processing and saving my work in the university's institutional repository.

I also grant the university the right to transfer my work for processing and storage in the databases of software and technical tools (Unicheck and Anti-Plagiarism) and to use the work to detect plagiarism in other works that are checked by software and technical tools and users who have access to these software and technical means, exclusively for limited purposes to detect plagiarism in the texts of works.

Work for review by the university is provided in printed and electronic versions. The electronic version of my work coincides (identical) with the printed one.

May 21, 2023



---

Signature

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ**  
**КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**  
**ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Кіберфізична система автоматизованого поливу рослин на основі одноплатної комп'ютерної системи Raspberry Pi

Автор: Мапангера Брайт

Спеціальність: 123 – Компютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Нічепорук Андрій Олександрович, к.т.н, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділі аналізу існуючих аналогів та відомих рішень, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформлені посилання;

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості кваліфікаційної роботи на українській мові склав 2,79% і адресується до 199 першоджерел, а на англійській мові 12,9 і адресується до 288 першоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС



А.О. Нічепорук

С. М. Лисенко

Т. О. Говорущенко