

SZAKDOLGOZAT

Sipos-Szabó Tibor

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Mechatronikai Mérnöki Szak

Automatizált Öntözőrendszer Tervezése és Vezérlése
PLC Alkalmazásával

Belső konzulens: Dr. Gergely Zoltán Albert
Egyetemi adjunktus

Készítette: **Sipos-Szabó Tibor**
UN8UG3
nappali tagozat

Intézet/Tanszék: Műszaki Intézet

Gödöllő
2024

MŰSZAKI INTÉZET
MECHATRONIKA ALAPSZAK
Gépipari mechatronika specializáció

SZAKDOLGOZAT
feladatlap

Sipos-Szabó Tibor (UN8UG3)

részére

A szakdolgozat címe:

Automatizált Öntözőrendszer Tervezése és Vezérlése PLC Alkalmazásával

Feladatkiírás:

Bevezetés, szakirodalom feldolgozás, probléma bemutatása, PLC rendszer tervezése, gazdasági számítás, összefoglalás

Közreműködő tanszék: Mechatronika

Külső konzulens: *None*, *None*

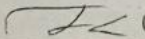
Belső konzulens: *Dr. Gergely Zoltán Albert*, egyetemi adjunktus, MATE MI

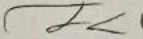
Beadási határidő: 2024. november 5

Gödöllő, 2024. szeptember 9

Jóváhagyom

Átvettem


(tanszékvezető)


(szakfelelős)


(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2024.

(külső konzulens)

Tartalom

1.	Bevezetés.....	7
1.1.	Téma jelentősége.....	7
1.2.	Célkitűzés	8
2.	Szakirodalom feldolgozása	9
2.1.	Öntözés.....	9
2.1.1.	Az üvegházak öntözési rendszereinek fejlődése	9
2.1.2.	Az öntözés jelentősége és szerepe.....	10
2.1.3.	Időzítés	11
2.1.4.	Érzékelők, beavatkozók	12
2.2.	Tápoldatozás.....	14
2.2.1.	Jelentősége és szerepe	14
2.2.2.	Megvalósítása.....	15
2.2.3.	Érzékelői, beavatkozói	17
2.3.	Más vezérlési-irányítási (öntözésvezérlési) megoldások bemutatása	18
2.3.1.	Arduino.....	18
2.3.2.	Raspberry Pi	18
2.3.3.	BeagleBone	19
2.3.4.	ESP8266 / ESP32	20
2.3.5.	Particle.....	21
2.3.6.	STM32.....	22
2.3.7.	TI LaunchPad	22
2.4.	PLC.....	23
2.4.1.	Miért PLC?.....	24
3.	Téma feldolgozása.....	26
3.1.	Tervezet a megvalósításhoz	26
3.1.1.	A tervezett megoldás jellemzői és tulajdonságai	26
3.1.2.	Peremfeltételek és körülmények	27

3.2.	Az irányítási feladat pontos definíciója és működési leírása	28
3.2.1.	A vezérlés alapelvei	28
3.2.2.	Rendszer működése: indítási és leállítási feltételek	28
3.2.3.	Rendszer működtetése és vezérlési feltételek	29
3.2.4.	Hibakezelés és riasztások	30
3.3.	Sav vagy lúgtartály kiválasztása	30
3.3.1.	Talajtani tulajdonságok:	30
3.3.2.	Öntözővíz kémhatása	32
3.3.3.	Mit jelent ez az öntözőrendszer szempontjából?.....	32
3.3.4.	Sav- vagy lúgtartály?.....	33
3.4.	Kezdeti koncepció az öntözőrendszer struktúrájáról	33
3.5.	Alkalmazott eszközök és komponensek kiválasztása	34
3.5.1.	Szenzorok	34
3.5.2.	Beavatkozók	37
3.5.3.	PLC.....	39
3.5.4.	Nyomógombok.....	40
3.6.	A PLC I/O Pontjainak és Funkcióinak Hozzárendelése.....	41
3.7.	Program tervezése	42
3.7.1.	Paradicsom szükségletei.....	42
3.7.2.	Számoláshoz kellő adatok	42
3.7.3.	Képlet a törzsoldat mennyiségének kiszámításához és számolás	42
3.7.4.	Program tervezésének menete	43
3.8.	Kiértékelés, eredmények, jövő	46
3.8.1.	Továbbfejlesztési lehetőségek a jövőben	46
4.	Gazdasági számítás	48
4.1.	Áramfogyasztás számítása	48
4.2.	Költségek és megtérülés	48

4.2.1.	Rendszer egyszeri (telepítési) összdíja.....	48
5.	Összefoglalás.....	49
6.	Summary	50
7.	Nyilatkozat	51
1.	Irodalomjegyzék.....	53
8.	Mellékletek.....	60

1. Bevezetés

Ebben a fejezetben bemutatom a szakdolgozatban tárgyalt mérnöki problémát, amely az öntözőrendszerek vezérlésével kapcsolatos. Az öntözés kulcsfontosságú a mezőgazdaság hatékonyságának növelésében, különösen olyan automatizált rendszerek fejlesztésével, amelyek precízen szabályozzák a vízfelhasználást és tápanyagszabályzást.

1.1. Téma jelentősége

Az öntözés szerepe kritikus a mezőgazdasági termelés sikerességében, különösen olyan területeken, ahol az időjárás kiszámíthatatlan és a víz erőforrásként korlátozott. A hagyományos öntözési rendszerek gyakran nem képesek a víz precíz szabályozására, ami jelentős veszteségekhez vezet. Ezek a rendszerek általában állandó vízmennyiséget juttatnak a növényekhez, függetlenül a talaj és a környezet aktuális állapotától, ami vízpazarlást eredményez, vagy éppen alulöntözéshez vezethet.

Az automatizált, PLC (programozható logikai vezérlő) alapú rendszerek lehetőséget nyújtanak a vízfelhasználás optimalizálására a valós idejű adatok alapján. Az olyan paraméterek, mint a páratartalom, talajnedvesség, hőmérséklet vagy éppen a növény növekedési fázisa, figyelembe vehetők az öntözés során. Ez nemcsak a vízpazarlást csökkenti, hanem a növények számára is ideális körülményeket teremt a növekedéshez. Emellett az ilyen rendszerek lehetőséget adnak a tápoldatozás integrálására is, amely lehetővé teszi, hogy a növények a szükséges tápanyagokat a megfelelő időben és mennyiségben kapják meg.

A mezőgazdasági vállalatok számára az ilyen rendszerek bevezetése nemcsak a víz- és energiapazarlás csökkentését jelenti, hanem a termelés megnövekedett hatékonyságát is, ami hosszú távon gazdasági előnyökkel jár. Ezzel együtt hozzájárulnak a fenntarthatósági célok eléréséhez, mivel kevesebb víz- és energiafelhasználást igényelnek, így a környezetterhelés is csökken.

Az automatizálás ezen formája elősegíti a precíziós mezőgazdaság fejlődését, amely a globális vízhiány és élelmiszertermelési kihívások idején egyre fontosabbá válik. A PLC-alapú megoldások tehát nemcsak gazdasági, hanem környezeti szempontból is fenntarthatóbbak és hatékonyabbak.

1.2. Célkitűzés

A dolgozat célja egy olyan modern, automatizált öntözőrendszer tervezése és megvalósítása, amely képes valós idejű adatok alapján optimalizálni a víz és tápanyag kijuttatását, hozzájárulva a mezőgazdasági termelés hatékonyságának növeléséhez.

A dolgozat során célom, hogy bemutassam a PLC-alapú vezérlés előnyeit a hagyományos rendszerekkel szemben. Az automatizált rendszer nemcsak a vízfelhasználást, hanem a növények számára elengedhetetlen tápanyagok pontos adagolását is képes optimalizálni, figyelembe véve az aktuális környezeti és talajviszonyokat. Ezzel az öntözési és tápoldatozási folyamatok sokkal precízebbé válnak, jelentősen csökkentve a víz- és tápanyagveszteséget, valamint a termelési költségeket.

Kiemelt figyelmet fordítok arra, hogy a tervezett rendszer könnyen bővíthető és adaptálható legyen különböző növénykultúrák igényeihez. Ennek érdekében a program olyan paraméterezzhető logikai struktúrát kap, amely lehetővé teszi az egyes növényfajták eltérő öntözési és tápanyagszükségleteinek figyelembevételét. Így a rendszer nemcsak a jelenlegi, hanem a jövőbeni igényekhez is könnyen igazítható, hozzájárulva a hosszú távú fenntarthatósághoz és rugalmassághoz.

Végezetül, a dolgozat célja nem csupán egy működőképes rendszer kidolgozása, hanem az is, hogy bemutassa, miként lehet az automatizáció segítségével a mezőgazdasági termelést fenntarthatóbbá, hatékonyabbá és gazdaságilag versenyképesebbé tenni a 21. században.

2. Szakirodalom feldolgozása

2.1. Öntözés

2.1.1. *Az üvegházak öntözési rendszereinek fejlődése*

Az üvegházak fejlődése és öntözési rendszereik az elmúlt évszázadok során jelentős változásokon mentek keresztül, tükrözve a mezőgazdasági technológia folyamatos előrehaladását. Az öntözési rendszerek kulcsszerepet játszanak az üvegházakban termesztett növények fejlődésében, különösen a modern technológiák bevezetésével, mint például a hidroponika és az automatizált öntözés.

Az üvegházak öntözési rendszerei kezdetben manuális módszerekre támaszkodtak. Az első üvegházak, amelyek Európában az 1600-as években jelentek meg, főként trópusi növények védelmét szolgálták a hideg időjárás ellen, és öntözésük kézi locsolással történt. Az ilyen típusú öntözés azonban rendkívül időigényes volt, és nagy mennyiségű vizet pazarolt el, mivel nem volt mód a víz pontos adagolására a növények szükségleteinek megfelelően. (Barnhart, 1925)

A 20. század elején a mezőgazdasági iparosodás előtérbe helyezte az üvegházak öntözési rendszereinek fejlesztését. A csepegtető öntözés volt az egyik legfontosabb technológiai újítás, amely az 1960-as években vált széles körben elterjedté. A csepegtető öntözési rendszer közvetlenül a növények gyökereihez juttatta a vizet, minimalizálva a párolgási veszteségeket, és jelentősen javítva a vízfelhasználás hatékonyságát. (Krishna, 2022)

A hidroponikus termesztés fejlődése az 1960-as években új lendületet kapott, különösen az üvegházi környezetben alkalmazott technológiák révén. Ekkor fejlesztette ki Dr. Allan Cooper az ún. „Nutrient Film Technique” (NFT) rendszert, amely jelentős áttörést jelentett a hidroponikus módszerekben. Az NFT lényege, hogy a növények gyökerei mellett egy vékony rétegben folyamatosan áramlik a tápoldat, biztosítva ezzel a megfelelő tápanyag- és oxigénellátást. Ez a módszer eltér a korábbi rendszerektől, mint a „drain-to-waste” vagy az árasztásos (ebb and flow) rendszerek, mivel folyamatos és pontosabb vízellátást tesz lehetővé, csökkentve a pazarlást és javítva a termesztési hatékonyságot. A 20. század második felében a műanyagipar fejlődése is hozzájárult a hidroponikus rendszerek terjedéséhez. Az új, olcsóbb és könnyebben formálható műanyag csövek és tartályok megjelenése lehetővé tette a nagyüzemi hidroponikus rendszerek kiépítését, különösen az üvegházakban. A műanyag használata nemcsak gazdaságosabbá tette a rendszer kiépítését, hanem nagyobb rugalmasságot is biztosított a növénytermesztési technikák fejlesztésében,

mivel könnyen testre szabhatóak voltak a különböző ültetési és öntözési igényekhez. (Walters és munkatársai, 2020)

A 21. században az automatizált öntözési rendszerek, különösen az IoT (Internet of Things) technológiák bevezetése forradalmasította az üvegházak működését. Az okos szenzorok figyelik a talaj nedvességtartalmát, a hőmérsékletet és a páratartalmat, amelyeket egy központi vezérlőrendszer elemez. Ezek az adatok alapján az öntözési rendszerek automatikusan alkalmazkodnak a növények igényeihez, biztosítva a hatékony vízfelhasználást és a növények optimális fejlődését. Az ilyen rendszerek különösen hasznosak a nagyobb ipari üvegházakban, ahol nagy mennyiségű növény vízigényével kell szembenézni. (Krishna, 2022)

Az üvegházak öntözési rendszerei a jövőben tovább fejlődhetnek az új technológiák, például a mesterséges intelligencia és a gépi tanulás bevezetésével. Ezek az innovációk lehetővé tehetik a még pontosabb öntözésirányítást, minimalizálva az emberi beavatkozást, és maximalizálva a termelékenységet.

2.1.2. Az öntözés jelentősége és szerepe

Az öntözés az egyik legfontosabb mezőgazdasági technológia, amely alapvető szerepet játszik a növénytermesztésben világszerte. Különösen a száraz és félszáraz területeken válik nélkülözhetetlenné, ahol a természetes csapadék nem elegendő a növények megfelelő fejlődéséhez. Az öntözött területek a világ mezőgazdasági területeinek mindössze 18%-át teszik ki, azonban ezek a területek adják a világ élelmiszertermelésének mintegy 40%-át. (Linstead, 2020) (Angelakis és munkatársai, 2020)

Az öntözés jelentősége különösen abban nyilvánul meg, hogy lehetővé teszi a stabil termelést azokon a területeken, ahol a természetes csapadék mennyisége és időzítése nem megfelelő. Az öntözés kulcsszerepet játszik a növények növekedéséhez szükséges vízellátás biztosításában, ezáltal javítja a mezőgazdasági hozamokat. Az öntözés hiánya súlyosan befolyásolhatja a termés mennyiségét, különösen a hosszabb szárazságok idején, amikor a csapadék nem elegendő a növények fejlődéséhez. Az éghajlatváltozás és a globális felmelegedés hatásai tovább növelik az öntözés fontosságát. Az éghajlatváltozás következtében sok régióban egyre gyakoribbá válnak az aszályok, ami súlyos következményekkel járhat a mezőgazdasági termelésre nézve. Az öntözési technológiák fejlődése lehetővé teszi a gazdák számára, hogy megbirkózzanak ezekkel a kihívásokkal, és fenntartható vízfelhasználást biztosítsanak. A modern öntözési rendszerek célja, hogy optimalizálják a vízhasználatot és minimalizálják a vízpazarlást. Az olyan fejlett öntözési rendszerek, mint a csepegtető öntözés vagy a precíziós

öntözési rendszerek, pontosan a növények gyökereihez juttatják a vizet, minimalizálva ezzel a párolgási veszteségeket és a túlöntözés kockázatát. (Linstead, 2020) (Angelakis és munkatársai, 2020) (Velasco-Muñoz és munkatársai, 2019)

Az öntözési rendszerek fejlődése, különösen a precíziós technológiák bevezetésével, jelentős szerepet játszik a vízhasználat hatékonyságának növelésében. A modern szenzorok és automatikus öntözési rendszerek lehetővé teszik, hogy a víz pontosan a szükséges helyre kerüljön, elkerülve a vízpazarlást és a talaj erózióját. Az ilyen rendszerek csökkentik a környezeti terhelést is, mivel a vízfelhasználás csökkentésével hozzájárulnak a fenntartható mezőgazdasághoz. (Linstead, 2020)

A víz időzítése az egyik legfontosabb tényező. A precíziós öntözési rendszerek, amelyek szenzorokkal figyelik a talaj nedvességtartalmát és a növények vízigényét, lehetővé teszik a víz pontos, az igényekhez igazított felhasználását. Ezáltal nemcsak a vízpazarlás minimalizálható, hanem a növények optimális növekedése is biztosított. (Angelakis és munkatársai, 2020) (Velasco-Muñoz és munkatársai, 2019)

Az öntözés szerepe a fenntartható mezőgazdaságban is kiemelkedő. A világ vízfelhasználásának nagy része, akár 60-90%-a is a mezőgazdasághoz kapcsolódik, ezért az öntözési rendszerek fejlesztése és fenntarthatóbbá tétele kulcsfontosságú. A modern technológiák, mint például a csepegtető rendszerek, valamint az automatizált vízszabályozási rendszerek, lehetővé teszik a vízfelhasználás csökkentését és a termelés hatékonyságának növelését. Az öntözés által lehetővé válik, hogy a gazdálkodók a vízhiányos időszakokban is biztosítsák a növények számára a szükséges vizet. Az öntözési rendszerek javítása nemcsak a mezőgazdasági hozamok növelésében játszik szerepet, hanem a talaj minőségének megőrzésében is. Az öntözési rendszerek fejlesztése lehetővé teszi a talaj nedvességtartalmának fenntartását, ami elengedhetetlen a termékeny talajok megőrzéséhez. Az optimális vízellátás segít megelőzni a talaj erózióját és javítja a talaj tápanyagtartalmának megőrzését. (Angelakis és munkatársai, 2020) (Velasco-Muñoz és munkatársai, 2019)

2.1.3. Időzítés

Az üvegházi növények öntözési gyakoriságát és időzítését jelentősen befolyásolja a növények vízigénye, a termesztési környezet és az alkalmazott öntözési rendszer. Az automatizált, szenzorvezérelt rendszerek különösen hatékonyak, mivel ezek a rendszerek folyamatosan monitorozzák a talaj nedvességtartalmát, a hőmérsékletet és a páratartalmat, ezáltal lehetővé téve az öntözési ciklusok precíz szabályozását. Az érzékelők segítségével az öntözőrendszer

akkor kapcsol be, amikor a talaj nedvességtartalma a meghatározott küszöbérték alá esik. Ez az automatikus szabályozás nemcsak víztakarékos megoldást biztosít, hanem csökkenti a túlóntözés kockázatát és minimalizálja a vízpazarlást is. (Iersel és munkatársai, 2013)

A környezeti feltételek, például a hőmérséklet és páratartalom, szintén befolyásolják az öntözési gyakoriságot. Melegebb, szárazabb időben a növények több vizet igényelnek a fokozott párolgás és transzspiráció miatt. Ilyen körülmények között a szenzorok által vezérelt rendszerek folyamatosan figyelik az evapotranszspiráció mértékét, és ennek megfelelően állítják be az öntözési gyakoriságot. Az ilyen rendszerek segítenek elkerülni a túlzott vízfelhasználást, amely a gyökérrothadás kockázatát is csökkenti, különösen olyan növények esetében, amelyek érzékenyek a túlóntözésre. (Iersel és munkatársai, 2013) (Nautiyal és munkatársai, 2010)

Az üvegházi öntözés időzítése és mennyisége a növények növekedési fázisától is függ. Például a növények gyors növekedési szakaszában, vagy amikor a gyökérzet erősödik, több vízre van szükségük, míg a későbbi, érettebb szakaszokban az öntözési gyakoriság csökkenthető. Ezen kívül a növények vízigénye szezonálisan is változhat, ezért a szenzoros rendszerek által biztosított valós idejű adatgyűjtés nagyban hozzájárul a vízfelhasználás optimalizálásához. A szenzorok által gyűjtött adatok alapján a termelők jobban tudják szabályozni az öntözést, és az igényekhez igazodó, precíz vízellátást biztosíthatnak. (Ierse és munkatársai, 2009)

A szenzoros rendszerek előnye abban rejlik, hogy objektív, mérhető adatokat szolgáltatnak a növények vízigényéről, amelyeket felhasználhatnak az öntözési időzítés optimalizálására. A szenzorok folyamatos kalibrációt igényelnek, hogy az általuk szolgáltatott adatok pontosak és megbízhatóak legyenek. Az érzékelők rendszeres újrakalibrálása és a megfelelő adatgyűjtési gyakoriság biztosítása elengedhetetlen a hatékony üvegházi öntözési stratégia kialakításához. Az érzékelők által nyújtott információk lehetővé teszik, hogy az öntözés pontosan az igényekhez igazodjon, ezáltal javítva a növények egészségét és csökkentve a vízpazarlást. (Iersel és munkatársai, 2013) (Chappell és munkatársai, 2013)

2.1.4. Érzékelők, beavatkozók

Az érzékelők használata az öntözési rendszerekben lehetővé teszi, hogy valós idejű adatokat gyűjtsenek a növények és a talaj vízigényéről. A talajnedvesség-érzékelők például folyamatosan figyelik a talaj víztartalmát, így az öntözési rendszer pontosan akkor és annyi vizet adagol, amennyire szükség van, elkerülve a túlóntözést vagy az alulóntözést. Ezek az érzékelők az információkat továbbítják a vezérlőközpontokhoz, amelyek az előre beállított

küszöbértékek alapján döntenek a vízellátás beindításáról vagy leállításáról, ami fontos a vízfelhasználás optimalizálása szempontjából. (Vallejo-Gómez és munkatársai, 2023) (Lakhari és munkatársai, 2024)

A hőmérséklet- és páratartalom-érzékelők szintén fontosak az öntözési rendszerek hatékonyságának növelésében, mivel ezek az érzékelők képesek figyelembe venni az éghajlati feltételeket és azok változásait. Az ilyen típusú adatokat gyűjtő szenzorok segítségével a rendszer képes reagálni az időjárás ingadozásaira, például forró, száraz időszakokban növelni az öntözés gyakoriságát, míg hűvösebb, párásabb időben csökkenteni azt. Ez az adaptív megközelítés lehetővé teszi, hogy a növények mindig megfelelő mennyiségű vizet kapjanak, ami a vízhasználat és a növények egészségének szempontjából is előnyös. (Vallejo-Gómez és munkatársai, 2023) (Lakhari és munkatársai, 2024)

A beavatkozók — például szelepek és szivattyúk — fontos szerepet játszanak a vízellátás szabályozásában. A szelepek az érzékelők által gyűjtött információk alapján automatikusan nyílnak vagy záródnak, lehetővé téve a vízáramlás precíz irányítását. A szivattyúk biztosítják, hogy a víz a megfelelő nyomáson és mennyiségben érkezzon a növényekhez, különösen akkor, ha nagyobb területeket kell ellátni. Az érzékelők és a beavatkozók közötti összhang kritikus fontosságú az öntözési rendszer hatékonyságának és pontosságának biztosítása érdekében, mivel így elkerülhető a felesleges vízhasználat és a talaj eróziója. (Vallejo-Gómez és munkatársai, 2023) (Lakhari és munkatársai, 2024)

Az automatikus öntözési rendszerekben a vezérlőegységek összehangolják a szenzorok és a beavatkozók működését, hogy optimális vízfelhasználást érjenek el. Például, ha a talajnedvesség-szint eléri az előre beállított minimumszintet, a vezérlőegység utasítja a szelepeket és szivattyúkat az öntözés megkezdésére, amíg a nedvességtartalom el nem éri az optimális szintet. A szenzorok és beavatkozók közötti ilyen koordináció biztosítja, hogy a növények a szükséges időben és mennyiségben kapjanak vizet, ami a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok elengedhetetlen eleme. (Vallejo-Gómez és munkatársai, 2023)

A precíziós öntözéshez kapcsolódó technológiák, mint például az IoT (Internet of Things), lehetővé teszik a szenzorok és beavatkozók közötti adatátvitelt, ami elősegíti az automatikus vízellátás szabályozását. Az IoT-alapú rendszerekben a szenzorok által gyűjtött adatokat felhőalapú tárolókban rögzítik, és valós időben továbbítják a vezérlőegységekhez, amelyek a beavatkozókat szükség esetén aktiválják. Ez az interakció segíti az öntözési folyamat automatizálását és finomhangolását, lehetővé téve a víz pontosabb és fenntarthatóbb

használatát. A precíziós öntözési rendszerek különösen hasznosak olyan területeken, ahol a víz korlátozott erőforrás. (Vallejo-Gómez et al., 2023) (Lakhari és munkatársai, 2024)

Az intelligens öntözési rendszerek integrálása segíthet abban is, hogy a mezőgazdaságban csökkenjen a munkaerőigény, mivel az öntözés folyamatos megfigyelése és irányítása automatikusan történik. Ez lehetőséget ad a gazdálkodóknak arra, hogy a növények vízellátását anélkül optimalizálják, hogy folyamatos felügyeletre lenne szükség, ami hosszú távon csökkenti az üzemeltetési költségeket és javítja a gazdaság fenntarthatóságát. (Vallejo-Gómez és munkatársai, 2023) (Lakhari és munkatársai, 2024)

2.2. Tápoldatozás

2.2.1. Jelentősége és szerepe

Az üvegházakban történő öntözés és tápoldatozás kombinált használata alapvetően meghatározza a növények egészséges fejlődését, terméshozamát és tápanyagfelvételének hatékonyságát. Mivel az üvegházakban a termesztési körülmények szigorúan szabályozottak, a tápanyagok és víz együttes kijuttatása különösen fontos a növények optimális fejlődéséhez. Az intenzív üvegházi termesztési rendszerekben a növények gyors növekedése és nagyobb terméshozama miatt a tápanyagok gyorsan kimerülhetnek, így a tápoldatozás lehetővé teszi a folyamatos és egyenletes tápanyagellátást. Az optimális tápanyagellátás biztosítása érdekében a tápoldatozási rendszerek gyakran a növények igényeihez igazítják a tápanyagarányokat, ami különösen fontos az olyan gyors növekedésű kultúrák esetében, mint az üvegházi paradicsom és uborka. (Niu és munkatársai, 2024)

A tápoldatozás segítségével a növények gyökérzónájába juttatott tápanyagok nemcsak a növekedést fokozzák, hanem javítják a növények stressztűrő képességét is. Az üvegházakban alkalmazott tápoldatozási technikák lehetővé teszik a víz és tápanyagok hatékony felhasználását, minimalizálva a környezeti károkat és a veszteségeket. Az optimális nitrogénellátás például elősegíti a növények egészséges fejlődését, és támogatja a növények ellenálló képességét az éghajlati és biotikus stressz tényezőkkel szemben. A megfelelő tápanyagarányok beállítása, mint a nitrogén, foszfor és kálium, javítja a növények fotoszintetikus aktivitását és vízfelvételi képességét, ami a végső hozam szempontjából kiemelten fontos. (Lu és munkatársai, 2022)

A tápoldatozási rendszerek alkalmazása csökkenti a túlzott műtrágya-felhasználásból eredő környezeti károkat, különösen a nitrogén kimosódás okozta felszín alatti vízszennyezést. Az üvegházi növénytermesztés intenzitása miatt a hagyományos műtrágyázási módszerek gyorsan

kimeríthetik a talaj tápanyagkészleteit, míg a tápoldatozási rendszerek lehetővé teszik a tápanyagok pontos és mértékletes kijuttatását. Ezáltal csökken a nitrogén és foszfor felhalmozódása a talajban, ami csökkenti a kimosódásból és párolgásból eredő környezeti károkat. A precíziós tápoldatozás segítségével a növények pontosan a szükséges mennyiségű tápanyagot kapják, ami jelentősen csökkenti a környezeti lábnyomot és hozzájárul a fenntartható mezőgazdasághoz. (Pan és munkatársai, 2022)

A kutatások azt is kimutatták, hogy a szerves tápanyagforrások, például a baromfitrágya, kombinációja a kémiai műtrágyákkal jelentősen növeli a talaj termékenységét és a növények nitrogénfelvételét. Egy üvegházi kísérlet során, ahol baromfitrágyát kombináltak csökkentett mennyiségű kémiai műtrágyával, a növények nitrogénfelvétele 30%-kal nőtt, miközben a talaj nitrogénkészlete és termékenysége is javult. Ez a kombinált megközelítés nemcsak a növények növekedését támogatja, hanem a talaj egészségét és a hosszú távú fenntarthatóságot is elősegíti. (Lu és munkatársai, 2022)

Az üvegházi termesztésben az öntözés és tápoldatozás integrációja lehetővé teszi, hogy a növények optimális mennyiségű vizet és tápanyagot kapjanak a különböző növekedési szakaszokban. A növények különböző életszakaszaikban eltérő tápanyagigényekkel rendelkeznek, és az integrált rendszerek segítségével a gazdálkodók folyamatosan szabályozhatják az öntözés és tápanyagellátás mértékét. Az automatizált rendszerek, amelyek precíziós szenzorokat használnak a talaj nedvességtartalmának, pH-értékének és tápanyagkoncentrációjának mérésére, lehetővé teszik a tápoldatozás időzítésének és mennyiségének finomhangolását. Ezáltal a növények számára biztosított a megfelelő táplálékellátás, miközben a pazarlás minimalizálható. (Niu et al., 2024) (Pan és munkatársai, 2022)

2.2.2. Megvalósítása

A tápoldatozás megvalósítása az üvegházak öntözési rendszereiben különféle módszereket és technológiákat alkalmaz annak érdekében, hogy biztosítsa a növények számára szükséges tápanyagokat a megfelelő arányban és időzítéssel.

Venturi cső alkalmazása a tápoldatozásban: A Venturi-alapú rendszerek a nyomáskülönbséget használják a tápanyagok vízbe történő bejuttatására. A rendszer szívóhatással keveri össze a tápoldatot a vízzel, és adagolja azt a növényekhez. Ezen rendszerek előnye a mechanikus alkatrészek minimalizálása, ami hosszú távon megbízhatóságot és alacsony karbantartási költségeket eredményez. A Venturi cső használatával a tápanyagok adagolása pontosan

szabályozható, ami segít elkerülni a túlzott tápanyagfelhalmozódást és csökkenti a környezeti terhelést. (Kachwaya és munkatársai, 2024)

Automatizált EC és pH szabályozás: Az EC (elektromos vezetőképesség) és pH-érték mérése alapvető szerepet játszik a tápanyagok pontos adagolásában. Az EC-érzékelők figyelik a tápoldat vezetőképességét, amely szoros összefüggésben van a tápanyagkoncentrációval. Az ilyen érzékelőkkel ellátott automatizált rendszerek lehetővé teszik, hogy a tápoldat összetétele folyamatosan a növények igényeihez igazodjon, biztosítva az optimális növekedést és csökkentve a pazarlást. A pH-szabályozó egységek gondoskodnak arról, hogy a tápoldat pH-értéke az ideális tartományban maradjon, amely különösen fontos a tápanyagfelvétel maximalizálása érdekében. (Wu és munkatársai, 2019)

Időzített és szenzorvezérelt tápoldatozás: Az időzítők és talajnedvesség-érzékelők segítségével a tápanyagok kijuttatása pontosan a növények szükségleteihez igazítható. Az időzítők beállíthatók úgy, hogy bizonyos időközönként vagy a talaj nedvességtartalmának csökkenése esetén indítsák el az öntözést és a tápoldatozást. A szenzorok segítségével elkerülhető a túlzott víz- és tápanyagfelhasználás, így a növények csak akkor kapnak tápanyagokat, amikor valóban szükségük van rá. Ez a módszer hatékonyan csökkenti a környezeti lábnyomot, miközben biztosítja a növények egészséges fejlődését. (Walters és munkatársai, 2020) (Wu és munkatársai, 2019)

Integrált vezérlőrendszerek: Az üvegházi rendszerekben gyakran alkalmaznak integrált vezérlőrendszereket, amelyek egy központi egységhez csatlakoznak. Ezek a rendszerek összekapcsolják az EC- és pH-érzékelőket, a szivattyúkat, a szelepeket és a vezérlőszoftvert, amely figyeli és szabályozza a tápoldatozás folyamatát. Az ilyen rendszerek automatizált működése optimalizálja a tápanyagellátást és minimalizálja az emberi beavatkozás szükségességét. Az integrált rendszerek használata csökkenti a munkaterhet és javítja a tápanyag-kijuttatás pontosságát. (Walters és munkatársai, 2020) (Wu és munkatársai, 2019)

Automatizált rendszerek IoT-alapú megoldásokkal: A legmodernebb tápoldatozási rendszerek már IoT-alapú technológiákat is alkalmaznak, amelyek valós idejű adatgyűjtést és távvezérlést tesznek lehetővé. Az IoT-érzékelők folyamatosan monitorozzák a talaj nedvességtartalmát, az EC- és pH-értékeket, és ezeket az adatokat valós időben továbbítják egy központi adatbázisba. Az IoT-technológia segítségével a tápoldatozási rendszer távolról vezérelhető és felügyelhető, ami különösen hasznos nagyobb üvegházi létesítményekben. Az IoT-alapú rendszerek nemcsak

a termelékenységet növelik, hanem a víz- és tápanyagfelhasználás hatékonyságát is javítják. (Walters és munkatársai, 2020) (Wu és munkatársai, 2019)

2.2.3. Érzékelői, beavatkozási

Elektromos vezetőképesség-érzékelők (EC szenzorok): Az EC-érzékelők az oldat sótartalmát mérik, ami fontos a tápoldatozás során. Az EC-értékek segítségével a gazdálkodók optimalizálhatják a tápanyag-koncentrációt, biztosítva, hogy a növények a megfelelő mennyiségű tápanyagot kapják anélkül, hogy a túlzott sótartalom károsítaná őket. Az EC-szintet szabályozó rendszerek gyakran valós időben monitorozzák és állítják be a tápoldat koncentrációját, hogy a növények fejlődése zavartalan legyen. (Lakhari és munkatársai, 2024)

Páratartalom- és hőmérséklet-érzékelők: Az üvegházak mikroklímáját a páratartalom és a hőmérséklet erőteljesen befolyásolja, ezért ezeknek az értékeknek a monitorozása kulcsfontosságú. A páratartalom-érzékelők segítségével az öntözőrendszer figyelembe veszi a levegő páratartalmát, és ennek megfelelően módosítja az öntözést és a tápanyag-ellátást. A hőmérséklet-érzékelők az öntözési ciklust úgy alakítják, hogy a magas hőmérsékleten növelik, míg alacsonyabb hőmérsékleten csökkentik a víz- és tápanyagellátást, optimalizálva a növények környezetét. (Contreras és munkatársai, 2021) (Bonelli és munkatársai, 2024)

A szelepek alapvető beavatkozók az öntözési rendszerekben, mivel lehetővé teszik a vízáramlás pontos szabályozását. Az érzékelők által szolgáltatott adatok alapján a szelepek nyitása és zárása automatikusan történik, amely biztosítja a víz célzott kijuttatását, csökkentve a víz- és tápanyagpazarlást. Az ilyen típusú szelepeket gyakran alkalmazzák automatizált rendszerekben, hogy minimalizálják az emberi beavatkozást és optimalizálják a tápanyagellátást. (Lakhari és munkatársai, 2024)

A szivattyúk gondoskodnak arról, hogy a tápoldat és a víz a megfelelő nyomással és mennyiségben jusson el a növényekhez. A szivattyúk beállítása és irányítása szintén az érzékelők adataira épül, hogy az öntözési és tápoldatozási ciklusok pontosan kövessék a növények aktuális szükségleteit. Az üvegházi rendszerekben az integrált szivattyúk növelik a rendszer rugalmasságát és biztosítják a homogén tápanyagelosztást. (Bonelli és munkatársai, 2024)

Mikroöntöző fejek és csepegtető rendszerek: Az ilyen beavatkozók a víz és tápanyag célzott, kis mennyiségű kijuttatását biztosítják közvetlenül a növény gyökérzónájába, így javítva a hatékonyságot és csökkentve a párolgásból származó veszteségeket. Ezek a rendszerek

különösen előnyösek üvegházi környezetben, ahol a hely szűkös, és a precíz víz- és tápanyag-ellátás kiemelten fontos. (Lakhiar és munkatársai, 2024)

2.3. Más vezérlési-irányítási (öntözésvezérlési) megoldások bemutatása

2.3.1. *Arduino*

Az Arduino egy nyílt forráskódú elektronikai platform, amelyet 2005-ben fejlesztettek ki azzal a céllal, hogy egyszerű és költséghatékony megoldást nyújtson a mikrovezérlők programozásához és alkalmazásához. Az Arduino platform fő előnyei közé tartozik a könnyű használat, a széles körű támogatás és a közösségi háttér. A programok feltöltése nem igényel külön hardveres programozót, köszönhetően a beépített bootloadernek, ami megkönnyíti a fejlesztést kezdők számára is. Továbbá, az Arduino kompatibilis különböző operációs rendszerekkel, mint például Windows, macOS és Linux, ami növeli a platform rugalmasságát. (Ciksiti, 2023)

Az Arduino platform hátrányai közé sorolható a korlátozott számítási teljesítmény és memória, ami komplexebb alkalmazások esetén problémát jelenthet. Ezenkívül az Arduino kártyák egyszerre csak egyetlen programot futtathatnak, ami korlátozza a multitasking képességüket. Továbbá, az Arduino kártyák nem mindig a legjobb választás, mivel nem rendelkeznek beépített hálózati interfésszel, így az internetkapcsolat megvalósítása további hardveres kiegészítést igényel. (GépészPresszó, 2021)

Az Arduino platformot széles körben használják oktatási célokra, mivel könnyen programozható és lehetőséget ad elektronikai alapok gyakorlati elsajátítására. Az ipari automatizálásban kisebb, költséghatékony alkalmazásokhoz, például egyszerű folyamatok vezérlésére alkalmazzák. A mezőgazdaságban, különösen az öntözésvezérlésben, az Arduino szenzorok segítségével javítja az erőforrások hatékony felhasználását. Emellett az IoT rendszerekben adatgyűjtésre és monitorozásra, a robotikában pedig autonóm rendszerek vezérlésére is használják. (HowWhatProduce, 2024) (Control.com, 2022)

2.3.2. *Raspberry Pi*

A Raspberry Pi egy rendkívül sokoldalú, kompakt és viszonylag olcsó számítógép, amely elsősorban oktatási célokra készült, de széles körben használják különféle projektekhez és kutatási feladatokhoz is. Eredetileg azért hozták létre, hogy ösztönözzék a számítástechnikai oktatást, de gyorsan népszerűvé vált a hobbi és a professzionális felhasználók körében is. A Raspberry Pi különösen a beágyazott rendszerek, automatizálás és az IoT (Internet of Things)

alkalmazások területén mutat kiemelkedő lehetőségeket. (Wiley, 2012)
(Richardson-Wallace, 2013)

A Raspberry Pi széles körben támogatja a különféle programozási nyelveket, például a Python, C, és Java programnyelveket, ami rugalmassá teszi különféle alkalmazások számára. Emellett kompatibilis az olyan operációs rendszerekkel, mint a Linux és a Windows IoT Core, így a felhasználók saját igényeik szerint választhatják ki a legmegfelelőbb szoftverkönyezetet. Az eszköz USB-, HDMI-, és ethernet-porttal rendelkezik, továbbá támogatja a Wi-Fi és a Bluetooth csatlakozást, amelyek lehetővé teszik a különféle perifériák és eszközök egyszerű csatlakoztatását. (Monk, 2015) (McManus-Cook, 2021) (Severance-Fontichiaro, 2013)

A hardver terén a Raspberry Pi modellek eltérő processzorsebességgel és memória kapacitással rendelkeznek, így a felhasználók különféle teljesítményigényű alkalmazásokhoz is megtalálhatják az optimális modellt. Az újabb modellek, mint a Raspberry Pi 4, már elég erősek akár kiszolgálók és AI-alkalmazások futtatásához is, habár energiafogyasztása így is jóval alacsonyabb, mint egy hagyományos számítógépé. (Vujovic-Maksimovic, 2014) (Severance-Fontichiaro, 2013)

A Raspberry Pi egyik legnagyobb előnye a közösségi támogatás, amely rengeteg dokumentációt, útmutatót és nyílt forráskódú szoftvert biztosít a felhasználóknak. Ez a támogatás lehetővé teszi a kezdő és haladó felhasználók számára, hogy egyszerűen találjanak megoldást bármilyen problémára, vagy ötleteket szerezzenek új projektekhez. (Severance-Fontichiaro, 2013)

2.3.3. *BeagleBone*

A BeagleBone egy nyílt forráskódú, alacsony fogyasztású, egykártyás számítógép, amelyet a Texas Instruments fejlesztett ki a beágyazott rendszerek fejlesztésének elősegítésére. A platform célja, hogy a fejlesztők és hobbisták számára egy rugalmas és bővíthető eszközt biztosítson, amely alkalmas különféle alkalmazásokhoz, beleértve a robotikát, az automatizálást és a multimédiás projekteket.

A BeagleBone család több változatot is magában foglal, amelyek közül a BeagleBone Black az egyik legnépszerűbb modell. Ez a modell egy 1 GHz-es ARM Cortex-A8 processzort tartalmaz, 512 MB DDR3 RAM-mal és 4 GB beépített eMMC flash memóriával. A rendszer rendelkezik HDMI kimenettel, 10/100 Mbps Ethernet csatlakozóval, valamint USB 2.0 host és client portokkal. A két 46 tűs bővítőcsatlakozó (P8 és P9) lehetővé teszi különféle perifériák és

bővítőkártyák, úgynevezett "cape"-ek csatlakoztatását, amelyek további funkciókat biztosítanak, például motorvezérlést, érzékelő interfészeket vagy kijelzőket. (beagleboard.org, 2024: BeagleBone® Black)

Alapértelmezettként a Debian Linux operációs rendszert futtatja, amely gyors rendszerindítást és széleskörű szoftveres támogatást biztosít. A platform támogatja a különböző programozási nyelveket, mint például a Python, C/C++ és JavaScript, lehetővé téve a fejlesztők számára a gyors prototípus-készítést és a különféle alkalmazások fejlesztését. A beépített Cloud9 IDE és BoneScript könyvtárak megkönnyítik a hardver interfészek programozását és tesztelését. (beagleboard.org, 2024: Basics)

Egyik legnagyobb előnye a bővíthetőség és a közösségi támogatás. A "cape"-ek széles választéka áll rendelkezésre, amelyek különféle funkciókat adnak hozzá a rendszerhez, például motorvezérlést, érzékelő interfészeket vagy kijelzőket. A BeagleBoard.org közösség aktív fórumokat, dokumentációkat és példakódokat biztosít, amelyek segítik a fejlesztőket a projektek megvalósításában és a problémák megoldásában. (beagleboard.org, 2024: BeagleBone (all))

Széles körben alkalmazzák különféle területeken, beleértve a robotikát, az ipari automatizálást, a multimédiás rendszereket és az oktatást. A BeagleBone Blue például kifejezetten robotikai alkalmazásokhoz készült, integrált motorvezérlőkkel, érzékelő interfészekkel és vezeték nélküli kommunikációs modulokkal rendelkezik, megkönnyítve a mobil robotok fejlesztését. (beagleboard.org, 2024: BeagleBone® Blue)

2.3.4. ESP8266 / ESP32

Az ESP8266 és ESP32 mikrovezérlők az Espressif Systems által kifejlesztett, alacsony költségű és alacsony fogyasztású rendszerek, amelyek beépített Wi-Fi és Bluetooth képességekkel rendelkeznek. Az ESP8266 2014-ben jelent meg, és gyorsan népszerűvé vált az IoT (Internet of Things) alkalmazásokban, köszönhetően egyszerű használatának és alacsony árának. Az ESP32, amely az ESP8266 utódja, továbbfejlesztett funkciókat kínál, beleértve a nagyobb feldolgozási teljesítményt, a kétmagos processzort és a Bluetooth támogatást. (IC Components Limited, 2024)

Az ESP8266 egy 32 bites Tensilica L106 mikroprocesszort tartalmaz, amely 80 MHz-es órajelen működik, és 128 KB RAM-mal rendelkezik. Beépített Wi-Fi modullal rendelkezik, amely támogatja az IEEE 802.11 b/g/n szabványokat, lehetővé téve az eszközök egyszerű csatlakoztatását vezeték nélküli hálózatokhoz. Az ESP8266 támogatja a különböző

kommunikációs protokollokat, mint például az UART, SPI és I2C, ami rugalmasságot biztosít a különböző perifériák csatlakoztatásához. (LastMinuteEngineering, 2024)

Az ESP32 jelentős előrelépést jelent az ESP8266-hoz képest. Kétféle Tensilica LX6 mikroprocesszorral rendelkezik, amely akár 240 MHz-es órajelen is működhet, és 520 KB RAM-mal van ellátva. Az ESP32 beépített Wi-Fi és Bluetooth 4.2 (BLE) támogatással rendelkezik, ami lehetővé teszi a vezeték nélküli kommunikáció szélesebb körű alkalmazását. Továbbá, az ESP32 több GPIO (általános célú bemeneti/kimeneti) lábbal rendelkezik, és támogatja a 12 bites ADC-t (analóg-digitális átalakító) akár 18 csatornával, valamint két 8 bites DAC-ot (digitális-analóg átalakító). (LastMinuteEngineering, 2024)

Mindkét mikrovezérlő támogatja az alacsony fogyasztású üzemmódokat, amelyek lehetővé teszik az akkumulátoros alkalmazásokban való használatukat. Az ESP32 azonban fejlettebb energiatakarékos funkciókkal rendelkezik, beleértve az ultra alacsony fogyasztású (ULP) koprocesszort, amely lehetővé teszi az eszköz számára, hogy mélyalvó üzemmódban is végezzen egyszerű műveleteket. (LastMinuteEngineering, 2024)

Az ESP8266 és az ESP32 is támogatja az Arduino IDE-t, ami megkönnyíti a fejlesztést és a programozást, különösen a hobbi fejlesztők és a prototípus készítők számára. Az ESP32 további előnye, hogy támogatja a MicroPython-t, ami lehetővé teszi a Python nyelv használatát a fejlesztés során. (Faragó, 2021)

2.3.5. *Particle*

A Particle egy integrált IoT Platform-as-a-Service (PaaS), amely megbízható és testreszabható szoftvert, csatlakoztathatóságot és hardvert kínál. A platform lehetővé teszi az alkalmazások fejlesztését és kezelését, az eszközök monitorozását, valamint a firmware biztonságos és egyszerű frissítését. (Particle, n.d.a)

A Particle eszközei közé tartoznak a beágyazható modulok, készre szerelt átjárók és fejlesztői készletek, amelyek mindegyike integrálva van a Particle IoT PaaS-szal, így gyorsabbá téve a termékek csatlakoztatását. (Particle, n.d.b)

A platform támogatja a különböző csatlakozási lehetőségeket, beleértve a Wi-Fi, celluláris, műholdas és LoRaWAN technológiákat, biztosítva a globális, önjavító beágyazott SIM-et, amely több mint 350 szolgáltatót támogat. (Particle, n.d.a)

A Particle eszközök előre telepítve érkeznek a Particle Device OS-szel, és készen állnak a felhőhöz való csatlakozásra, amint bekapcsolják őket. A platform lehetővé teszi a valós idejű

adatgyűjtést, monitorozást és elemzést, valamint a távoli eszközök és rendszerek vezérlését a világ bármely pontjáról. (Particle, n.d.c)

A Particle célja, hogy leegyszerűsítse az IoT fejlesztést és telepítést, lehetővé téve a vállalkozások számára, hogy gyorsan és hatékonyan hozzanak létre intelligens, csatlakoztatott megoldásokat. (Particle, n.d.a)

2.3.6. STM32

Az STM32 mikrovezérlők az STMicroelectronics által kifejlesztett 32 bites, ARM Cortex-M processzorra épülő eszközök, amelyek széles körű alkalmazási lehetőségeket kínálnak. Az STM32 család tagjai különböző teljesítményű és funkciójú mikrovezérlőket tartalmaznak, amelyek célja, hogy új szintű szabadságot biztosítsanak a fejlesztők számára. (ST, n.d.a)

Az STM32 sorozat több alcsaládra oszlik, amelyek különböző alkalmazási területekre optimalizáltak. Például az STM32F4 sorozat magas teljesítményű, DSP és FPU egységekkel rendelkező mikrovezérlőket tartalmaz, amelyek akár 180 MHz-es órajellel működnek, és beépített LCD-TFT vezérlővel rendelkeznek. Ezzel szemben az STM32F2 sorozat ARM Cortex-M3 alapú, magas teljesítményű 32 bites mikrovezérlőket kínál, amelyek kiváló ár-teljesítmény arányt biztosítanak. (ST, n.d.b) (ST, n.d.c)

Az STM32 mikrovezérlők fejlesztését az STM32Cube ökoszisztéma támogatja, amely magában foglalja az STM32CubeMX grafikus konfigurációs eszközt és az STM32CubeIDE integrált fejlesztőkörnyezetet. Az STM32CubeMX segítségével a fejlesztők könnyedén konfigurálhatják a hardvert és a szoftvert, valamint generálhatják a C-kódot az STM32 platformhoz. Az STM32CubeIDE egy fejlett C/C++ fejlesztői platform, amely periféria konfigurációt, kódgenerálást, fordítást és hibakeresési funkciókat kínál az STM32 mikrovezérlők és mikroprocesszorok számára. (ST, n.d.d)

Az STM32 mikrovezérlők széles körben alkalmazhatók különböző iparágakban, beleértve az autópárt, az ipari automatizálást, a személyes elektronikát és az IoT alkalmazásokat. Az STM32 család tagjai különböző teljesítményű és funkciójú mikrovezérlőket tartalmaznak, amelyek célja, hogy új szintű szabadságot biztosítsanak a fejlesztők számára. (ST, n.d.e)

2.3.7. TI LaunchPad

A Texas Instruments LaunchPad fejlesztőkészletek először 2010-ben jelentek meg, és azóta folyamatosan frissítik őket újabb mikrokontroller családok támogatásával és bővített funkcionalitással

A Texas Instruments (TI) LaunchPad fejlesztőkészletek alacsony költségű, könnyen használható platformok, amelyek célja a különböző mikrokontroller (MCU) családok gyors prototípus-készítése és fejlesztése. Ezek a készletek támogatják a TI SimpleLink, MSP430, C2000 és Hercules MCU sorozatait, lehetővé téve a fejlesztők számára, hogy különféle alkalmazásokhoz, például vezeték nélküli kommunikációhoz, motorvezérléshez és beágyazott rendszerekhez használják őket. (Texas Instruments, n.d.a)

A LaunchPad készletek jellemzően tartalmaznak egy beépített programozót és hibakeresőt, valamint számos perifériát, mint például LED-eket, gombokat és csatlakozókat, amelyek megkönnyítik a fejlesztést és a tesztelést. Ezenkívül a BoosterPack modulok segítségével a funkcionalitás tovább bővíthető, például érzékelőkkel, kijelzőkkel vagy kommunikációs modulokkal. (Texas Instruments, n.d.a)

A TI LaunchPad készletekhez széles körű szoftveres támogatás áll rendelkezésre, beleértve a Code Composer Studio integrált fejlesztőkörnyezetet (IDE), valamint különböző szoftverfejlesztő készleteket (SDK-kat), amelyek megkönnyítik a fejlesztést és a kódolást. (Texas Instruments, n.d.b)

2.4. PLC

A programozható logikai vezérlő (PLC) egy ipari számítógép, amelyet a gyártási folyamatok automatizálására fejlesztettek ki az 1960-as évek végén. Azóta széles körben elterjedt, mivel képes egyszerre több bemeneti és kimeneti eszközt kezelni. Főbb alkotóelemei közé tartozik a processzor, a bemenetek és kimenetek (I/O), valamint a memóriamodulok, amelyek a vezérlési logikát és a folyamatadatokat tárolják. A PLC rugalmas programozási lehetőségeinek köszönhetően könnyen alkalmazható különféle ipari folyamatok vezérlésére és szabályozására, beleértve a folyamatvezérlést, a gyártósorok koordinálását és az energiafelhasználás optimalizálását. (InnoMation, n.d.)

A PLC egyik fő előnye, hogy működése folyamatos, és rendkívül megbízható a zord ipari környezetekben is. Az eszközök gyakran rendelkeznek speciális kialakítással, amely lehetővé teszi számukra a por, a hőmérséklet-ingadozások és a vibrációk tűrését. Ezen kívül, mivel a PLC-k moduláris felépítésűek, könnyen bővíthetők, így különféle perifériákat és modulokat lehet hozzájuk csatlakoztatni, például analóg és digitális érzékelőket, reléket, motorvezérlőket. Ezáltal a PLC ideális választás bonyolult, több lépéses folyamatok és rendszerek irányítására. (PLC GLOBAL, n.d.)

A PLC programozása különböző nyelveken történhet, amelyek közül a legelterjedtebbek az IEC 61131-3 szabvány szerinti nyelvek, mint például a létra diagram (Ladder Diagram, LD), a funkcióblokk diagram (Function Block Diagram, FBD), és a szöveges utasítás (Structured Text, ST). Ezek a programozási nyelvek különösen alkalmasak a logikai műveletek és folyamatok vizualizálására, amelyek egyértelmű, jól átlátható struktúrát biztosítanak a vezérlési logika megvalósításához. Ennek köszönhetően a PLC gyorsan és hatékonyan implementálható olyan ipari környezetekben, ahol fontos a megbízható működés és a pontos vezérlés. (DIAL-COMP, n.d.)

A modern PLC-k képesek hálózati kapcsolatok létrehozására és integrálására más automatizálási rendszerekkel, így könnyen kommunikálnak például SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) rendszerekkel és más ipari vezérlőeszközökkel. Ezzel lehetővé válik a valós idejű adatgyűjtés, a folyamatok monitorozása, valamint az azonnali reagálás a változásokra vagy hibákra, ami növeli a rendszer hatékonyságát és csökkenti a karbantartási időt. A PLC-k gyakran támogatják az ipari kommunikációs protokollokat, mint például a Modbus, a Profibus, vagy az Ethernet/IP, így rugalmas és átfogó automatizálási infrastruktúrát biztosítanak. (Justyna, 2022)

2.4.1. Miért PLC?

Megbízhatóság: A PLC-ket kifejezetten ipari környezetekre tervezték, ahol a folyamatos és hibamentes működés elengedhetetlen. Ez különösen fontos az öntözési rendszerekben, ahol a meghibásodások komoly károkat okozhatnak a növényekben. A PLC-k stabilitása és hosszú élettartama biztosítja a rendszer zavartalan működését. (Kovács, 2018)

Rugalmasság: A PLC-k programozhatósága lehetővé teszi a különböző öntözési és tápoldatozási programok egyszerű beállítását és módosítását. Ezáltal a rendszer könnyen alkalmazkodik a változó környezeti feltételekhez és a növények eltérő igényeihez. Például a PLC-k segítségével időzíthetők az öntözési ciklusok, és figyelembe vehetők a talajnedvesség vagy az időjárási adatok. (Cséke, 2022)

Pontos vezérlés: A PLC-k precíz vezérlést tesznek lehetővé, ami elengedhetetlen a megfelelő víz- és tápanyagellátás biztosításához. A pontos adagolás minimalizálja a pazarlást és optimalizálja a növények növekedését. A PLC-k képesek valós idejű adatgyűjtésre és feldolgozásra, így az öntözési paraméterek folyamatosan finomhangolhatók. (Rácz, 2019)

Skálázhatóság: A PLC-k moduláris felépítése lehetővé teszi a rendszer bővítését további szenzorokkal, szelepekkel vagy más eszközökkel. Ez különösen előnyös nagyobb

mezőgazdasági területek vagy komplex öntözési rendszerek esetén, ahol a rendszer mérete és összetettsége idővel változhat. (Kovács, 2019)

Környezeti ellenállóság: A PLC-ket úgy tervezték, hogy ellenálljanak a zord környezeti feltételeknek, mint például a szélsőséges hőmérsékletek, a páratartalom vagy a por. Ez biztosítja, hogy az öntözési rendszer megbízhatóan működjön különböző környezeti körülmények között is. (Kovács, 2018)

Költséghatékonyság: Bár a PLC-k kezdeti beruházási költségei magasabbak lehetnek, hosszú távon költséghatékony megoldást jelentenek. A pontos vezérlés és az automatizálás csökkenti a víz- és tápanyagfelhasználást, valamint a munkaerőigényt, ami jelentős megtakarításokat eredményezhet. (InnoMation, n.d.)

Szabványosíthatóság és Integrálhatóság: A szabványosított PLC-megoldások lehetővé teszik, hogy a rendszer különböző részei összhangban működjenek, miközben biztosítják a szükséges kompatibilitást és adatátvitelt az eszközök között. Például, ha a rendszer később bővítésre kerül egy hőmérséklet- vagy páratartalom-szabályozó modullal, akkor ezek az új egységek könnyen integrálhatók a már meglévő PLC-vezérelt rendszerhez. Az ipari protokollok, mint például a Modbus vagy a Profibus, segítik a különböző eszközök közötti kommunikációt, amely nagyobb rendszerek kialakításakor és a különböző elemek hatékony együttműködésénél elengedhetetlen. (PROCOMTEC, 2024)

Fejlett programozási lehetőségek: A PLC-k fejlett programozási lehetőségeket kínálnak, amelyek lehetővé teszik komplex logikai folyamatok megvalósítását. A programozás során többféle logikai, időzítési és számlálási funkció alkalmazható, így az öntözőrendszer pontosan az igényeknek megfelelően alakítható ki. A programozás során a felhasználók számos lehetőséget kapnak a feltételalapú vezérlés beállítására is, amely lehetővé teszi, hogy a rendszer különböző paramétereket figyelembe véve reagáljon a környezeti változásokra. Például, az öntözési ciklus automatikusan elindulhat, ha a talajnedvesség egy adott szint alá esik, vagy leállhat, ha a környezeti páratartalom eléri a kívánt szintet. A PLC rugalmassága lehetővé teszi, hogy a rendszer az igények szerint finomhangolható legyen, így biztosítva a maximális hatékonyságot. (Ferenczi és Ferenczi, 2009)

3. Téma feldolgozása

3.1. Tervezet a megvalósításhoz

Az irányítási feladat célja, hogy egy automatikus öntözőrendszer vezérlését biztosítsa, amely figyelembe veszi a növények víz- és tápanyagigényeit. A rendszernek folyamatosan monitoroznia kell a pH- és EC-értékeket, és ezek alapján automatikusan adagolnia kell a megfelelő tápoldatot, valamint vezérelnie kell az öntözési folyamatot.

3.1.1. A tervezett megoldás jellemzői és tulajdonságai

Jellemzők

- **Automatizált szabályozás:**

A rendszer automatikusan monitorozza a pH és EC értékeket, és az előre meghatározott határértékek alapján szabályozza a tápanyag-adagolást.

A PLC feladata a szenzoroktól érkező adatok fogadása és feldolgozása, majd ennek alapján a szükséges beavatkozások vezérlése.

- **Analóg szenzorok integrációja:**

A pH- és EC-mérő szenzorok analóg (4-20 mA) jeleket továbbítanak, amelyek közvetlenül csatlakoznak a PLC analóg bemeneteihez.

Az analóg bemeneti jelek skálázásával a PLC képes valós mértékegységekben (pH, mS/cm) értelmezni a szenzoradatokat.

- **Biztonsági és optimalizálási logika:**

A rendszer csak akkor indítja el az öntözést, ha a pH és EC szintek a kívánt tartományban vannak, ezáltal biztosítva a növények optimális tápanyag-ellátását és a víz hatékony felhasználását.

Hiba esetén a rendszer figyelmeztetést adhat, vagy leállíthatja az öntözést a további károk elkerülése érdekében.

- **Szimuláció CX-Programmerben:**

A CX-Programmer szoftverben kidolgozott szimuláció valós környezetben működő PLC-vezérlést modellez, lehetővé téve a rendszeren végzett teszteket és a működés elemzését.

Tulajdonságok

- **Pontosság és megbízhatóság:**

A rendszer folyamatosan monitorozza a pH és EC szinteket, így azonnali visszajelzést ad az esetleges változásokról, és biztosítja a pontos adagolást.

- **Rugalmasság:**

A vezérlési logika könnyen testreszabható különböző növényfajták igényeinek megfelelően. Ez lehetőséget nyújt a rendszer későbbi bővítésére vagy más növényekhez való adaptálására.

- **Skálázhatóság:**

A rendszer kiegészíthető további szenzorokkal vagy zónákra osztott öntözéssel, így akár nagyobb léptékű alkalmazásokhoz is használható.

3.1.2. Peremfeltételek és körülmények

- **Folyamatos monitorozás szükségessége:**

A pH- és EC-értékek kritikus fontosságúak a növények optimális növekedéséhez, ezért a rendszernek folyamatosan figyelnie kell ezeket az értékeket.

- **Valós szenzorok hiánya (szimulált környezet):**

Mivel a rendszer szimulált környezetben kerül bemutatásra, a CX-Programmer segítségével előállított szimulált szenzoradatok alapján történik a vezérlés tesztelése és demonstrálása.

- **Optimalizált víz- és tápanyag-felhasználás:**

A rendszer célja, hogy a víz- és tápanyag-felhasználást a növények igényeihez igazítsa, ezáltal minimalizálva a pazarlást.

- **Vezérlési logika rugalmassága:**

A rendszer lehetőséget biztosít a vezérlési paraméterek beállítására és testreszabására, így különböző növényi igényekre szabható a működés.

3.2. Az irányítási feladat pontos definíciója és működési leírása

3.2.1. A vezérlés alapelvei

- **Adatgyűjtés:**

A rendszer folyamatosan beolvassa a pH- és EC-mérő szenzorok adatait.

Az analóg jeleket a PLC regiszterekbe menti, ahol azokat skálázza a valós mértékegységeknek megfelelően (pH: 0–14, EC: 0–5 mS/cm).

- **Adatfeldolgozás és döntéshozatal:**

A mért értékeket összehasonlítja az előre meghatározott határértékekkel.

Ha a pH-érték vagy az EC-érték a kívánt tartományon kívül esik, a rendszer megfelelő beavatkozást indít el.

- **Beavatkozások vezérlése:**

pH-szabályozás: Ha a pH túl alacsony, a rendszer lúgot adagol; ha túl magas, akkor savat. (talajtípustól és víztől is függ)

EC-szabályozás: Ha az EC szint alacsony, a rendszer tápoldatot adagol.

Öntözés vezérlése: A rendszer csak akkor indítja el az öntözést, ha a pH- és EC-értékek az optimális tartományban vannak.

3.2.2. Rendszer működése: indítási és leállítási feltételek

Indítási feltételek

A rendszer indítása során az alábbi feltételeknek kell teljesülniük:

- **Rendszer inicializálása:**

A PLC indulásakor ellenőrzi az összes csatlakoztatott szenzort és beavatkozót.

Ha valamelyik szenzor vagy beavatkozó nem érhető el, a rendszer nem indítható el, és hibajelzést ad.

- **Adatok validálása:**

A rendszer elindítása előtt legalább egy pH- és EC-érték mérést kell elvégezni, hogy az indulás során ezek az értékek megfelelő tartományban legyenek.

- **Felhasználói indítási parancs:**

A rendszer manuálisan vagy automatikusan indítható. Manuális indítás esetén a felhasználónak egy start gombot kell megnyomnia, amely aktiválja az öntözési ciklust.

Leállítási feltételek

A rendszer leállítása az alábbi feltételek alapján történhet:

- **Normál leállítás:**

Az öntözési ciklus befejezése után a rendszer automatikusan leállítja a szivattyút és a szelepeket.

- **Vészleállítás:**

Ha a pH vagy az EC szint kritikus értéket ér el, a rendszer azonnal leállítja az öntözést.

Manuális vészleállítás esetén a kezelő egy vészleállító gomb megnyomásával azonnal leállíthatja a rendszert.

- **Rendszerhiba esetén:**

Szenzorhiba vagy kommunikációs probléma esetén a rendszer biztonsági módba lép, és minden öntözési és tápoldat-adagolási műveletet leállít.

3.2.3. Rendszer működtetése és vezérlési feltételek

Automatikus működési mód

Az automatikus üzemmódban a rendszer folyamatosan figyeli a szenzorokat, és az alábbi feltételek teljesülése esetén működteti az öntözést:

- **Optimális pH- és EC-tartomány:** Ha a mért értékek az optimális tartományon belül vannak.
- **Előre beállított időzítési feltételek:** Az öntözés meghatározott időközönként vagy adott időszakokban indul el.

Manuális működési mód

A manuális üzemmód lehetőséget ad a kezelő számára, hogy közvetlenül vezérelje a rendszert:

- **Indítás és leállítás:** A kezelő manuálisan indíthatja és állíthatja le az öntözést.
- **Tápoldat-adagolás manuális vezérlése:** Szükség esetén a kezelő manuálisan állíthatja be a tápoldat adagolását.

Időzített ciklusok és feltételek

- A rendszer napi vagy heti öntözési ciklusok alapján működhet.

3.2.4. Hibakezelés és riasztások

- **Hibajelzés:**

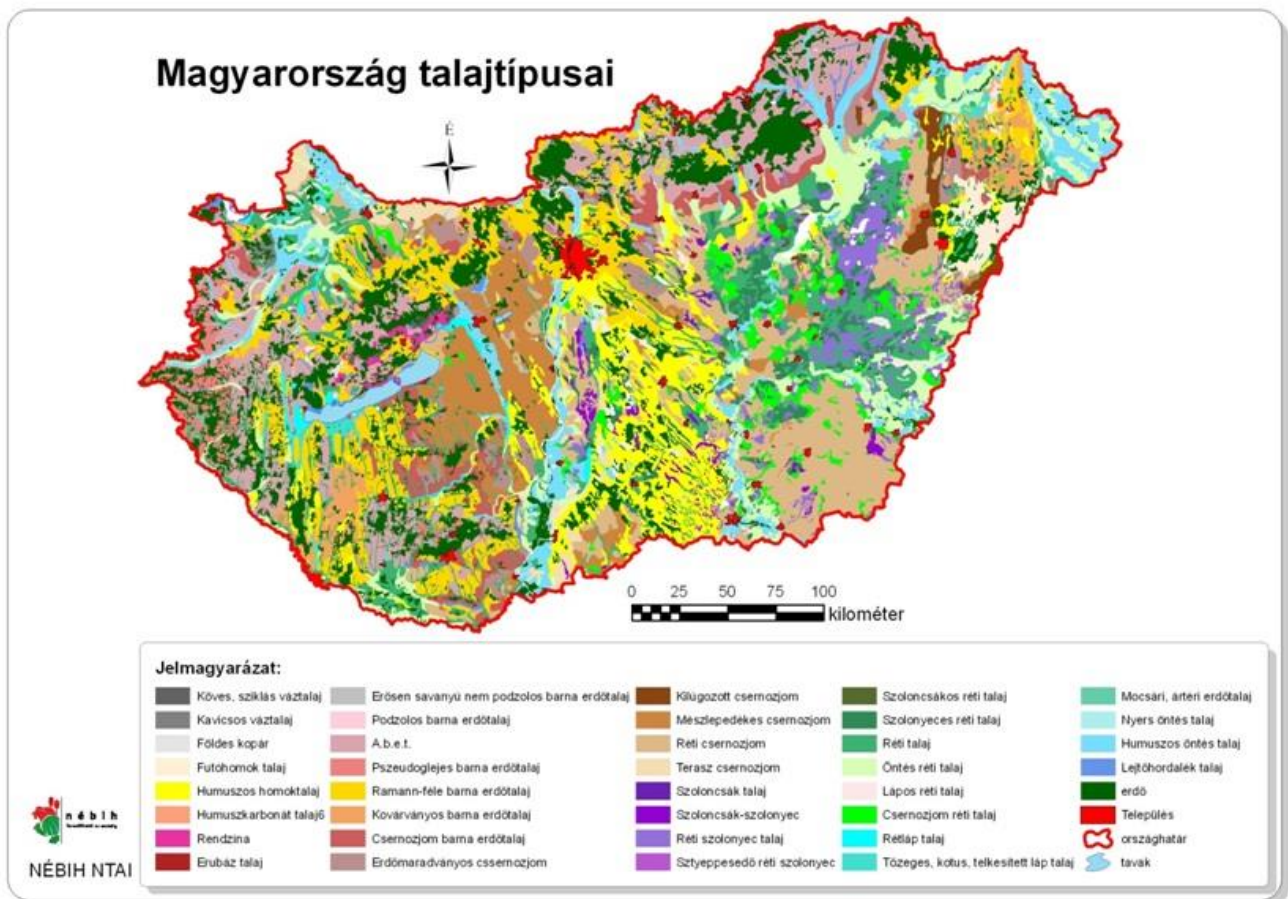
Ha a szenzorok kritikus értékeket mérnek, a rendszer jelzi a kijelzőn.

- **Automatikus újraindítás:**

A rendszer hibaelhárítás után automatikusan újraindulhat, ha a hibát sikeresen javították.

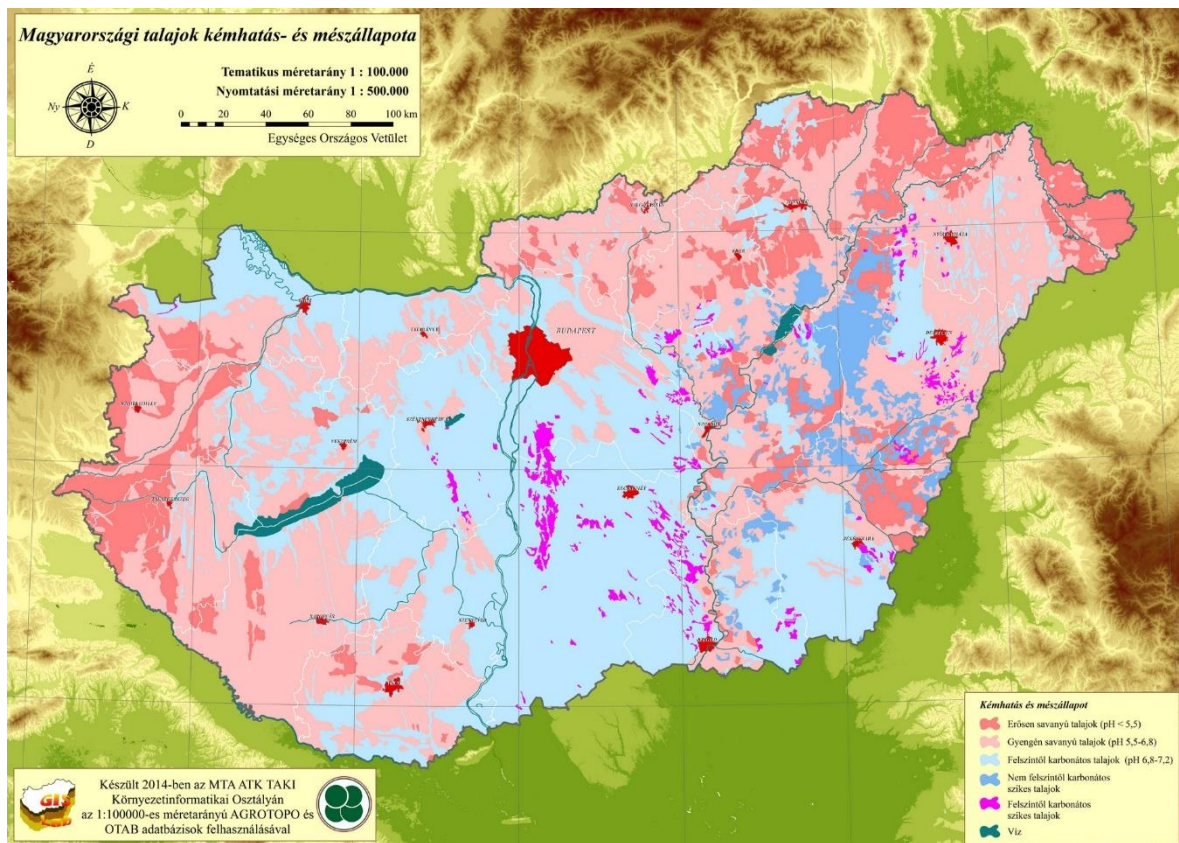
3.3. Sav vagy lúgtartály kiválasztása

3.3.1. Talajtani tulajdonságok:



1. ábra: Magyarország talajtípusai (NÉBIH, 2024)

A humuszos homoktalajt (1. ábrán sárga színnel jelölt) választom a későbbi munkáim miatt.



2. ábra: Magyarországi talajok kémhatása (AGRObio, 2014)

A vizsgált terület talajának pH-értéke 6,8 és 7,2 között mozog, ami a felszíni karbonátos talajok kategóriájába tartozik. Ez azt jelenti, hogy a talaj kémhatása semlegeshez közeli vagy enyhén lúgos.

Tápanyag-megkötés: A humusréteg javítja a tápanyagok megkötését, de a rendszeres tápanyag-utánpótlás (tápoldat adagolás) elengedhetetlen. (KERTLAP, 2024)

Vízháztartás: A humuszos homoktalajok jó vízáteresztő képességgel bírnak, de gyorsan kiszáradnak, ezért rendszeres öntözés szükséges. (KERTLAP, 2024)

Tápanyagpótlás: A talaj korlátozott tápanyag-tároló kapacitása miatt rendszeres tápanyag-utánpótlás szükséges. (KERTLAP, 2024)

3.3.2. Öntözővíz kémhatása



3. ábra: Öntözővíz pH szintjének mérése (saját ábra)

A pH-teszter szerint az érték a 7,2 és 7,4 közötti tartományban van. Ez enyhén lúgos kémhatásnak felel meg.

3.3.3. Mit jelent ez az öntözőrendszer szempontjából?

A talaj és az öntözővíz pH-értéke jelentős szerepet játszik az öntözőrendszer működésében, mivel ezek közvetlenül befolyásolják a növények tápanyagfelvételét és a talaj kémiai egyensúlyát. A talaj pH-értéke meghatározza, hogy a növények milyen hatékonysággal tudják felvenni az elérhető tápanyagokat. Az optimális pH-tartomány a legtöbb mezőgazdasági növény esetében enyhén savas, 6,0 és 7,0 között van. Ez az a tartomány, amelyben a talajban található makro- és mikrotápanyagok, mint például a foszfor, kálium, vas vagy mangán, könnyen hozzáférhetővé válnak a növények számára.

A humuszos homoktalaj esetében, amely jellemzően semleges vagy enyhén lúgos kémhatású, a pH-érték általában 6,8 és 7,2 között mozog. Ez a tartomány a legtöbb növény számára megfelelő, de bizonyos kultúráknál, például a zöldségtermesztésben használt saláta, paradicsom vagy káposzta esetében, ez a pH-érték magas lehet. Ilyen esetekben a talaj pH-jának csökkentése szükséges lehet a jobb tápanyagfelvétel érdekében.

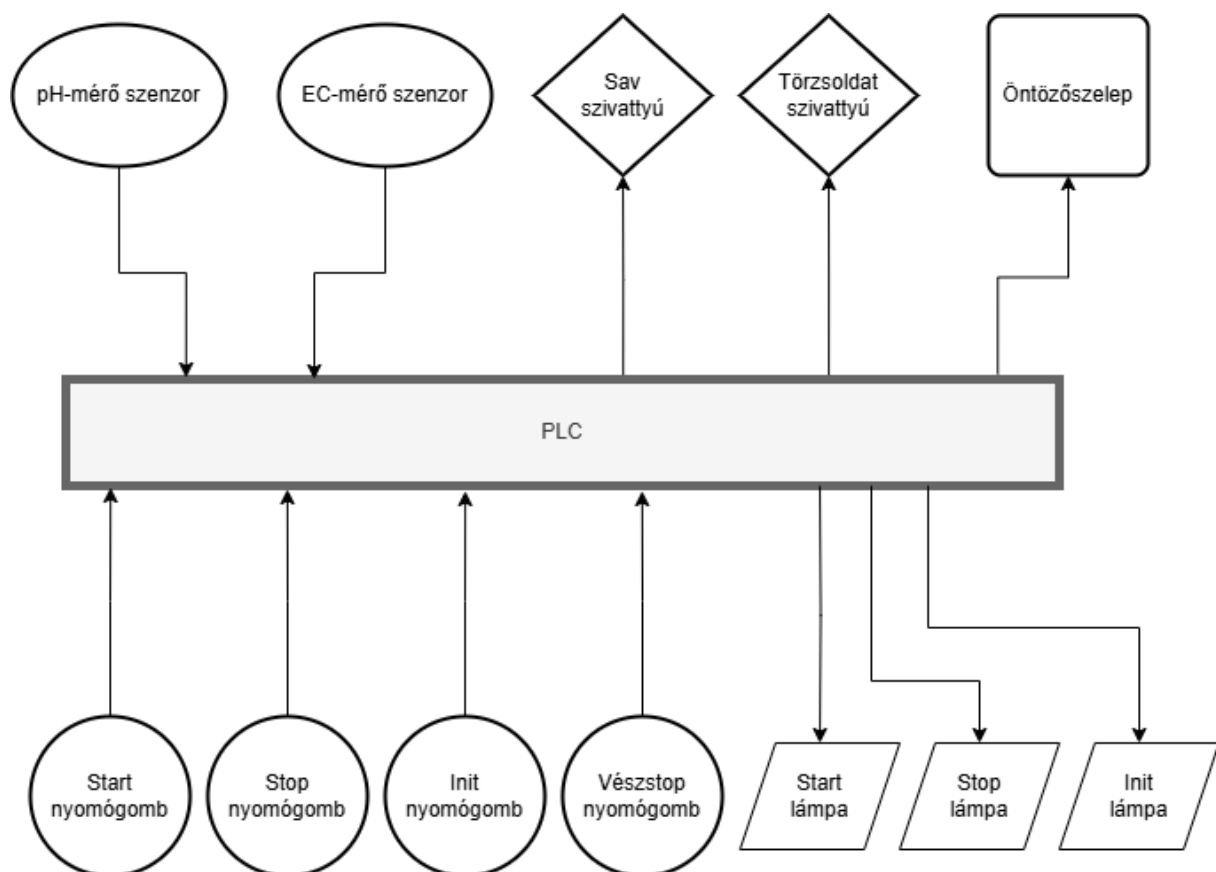
Az öntözővíz pH-értéke szintén befolyásolja a talaj kémhatását. Ha az öntözővíz pH-ja magasabb, például 7,5 vagy afölött, hosszabb távon lúgosíthatja a talajt, ami rontja a növények

tápanyagfelvételét. A lúgos öntözővíz fokozatosan növelheti a talaj pH-értékét, ami bizonyos mikrotápanyagok, például a vas vagy a mangán elérhetőségét korlátozhatja. Ezért egy ilyen rendszerben sav adagolása szükséges az öntözővíz pH-jának csökkentésére és a talaj kémhatásának stabilizálására.

3.3.4. Sav- vagy lúgtartály?

A humuszos homoktalaj és az öntözővíz pH-értékének vizsgálata alapján az öntözőrendszerben savtartály szükséges. Mivel a talaj (6,8-7,2 pH) és az öntözővíz (7,2-7,4 pH) semleges-enyhén lúgos, a pH csökkentése érdekében sav adagolására van szükség. Ez biztosítja a talaj optimális kémhatását, javítva a növények tápanyagfelvételét, miközben megelőzi a vízkőképződést az öntözőrendszerben. Lúgtartály nem szükséges, mivel a pH-emelésre nincs igény ebben a környezetben.

3.4. Kezdeti koncepció az öntözőrendszer struktúrájáról



4. ábra: Az öntözőrendszer felépítésének elsődleges vázlata (saját ábra)

Az öntözőrendszer tervezése során fontos az egyes komponensek működésének és kapcsolódásának világos meghatározása. Az ábra bemutatja az elsődleges elképzelést a

rendszer felépítéséről, amely tartalmazza a szenzorokat, beavatkozókat, vezérlési elemeket és felhasználói interfészeket.

A pH- és EC-mérő szenzorok jeleit a PLC dolgozza fel, amely ezek alapján vezérli a sav és törzsoldat adagolását, valamint az öntözési folyamatot. A rendszer biztonságos működését további elemek, például vészstop gomb és visszajelző lámpák biztosítják.

A tervezés jelenlegi fázisában ez az ábra a rendszer logikai felépítésének elsődleges koncepcióját tükrözi. Az egyes elemek helyes integrációja és a vezérlési logika finomhangolása további elemzést és pontosítást igényel a rendszer teljes működésének optimalizálása érdekében.

3.5. Alkalmazott eszközök és komponensek kiválasztása

3.5.1. *Szenzorok*

- **pH-szenzor**

A Hanna Instruments HI1001 pH-szenzor egy ipari alkalmazásokhoz tervezett precíziós mérőeszköz, amely különösen alkalmas az öntözőrendszerek automatizált szabályozásában. A szenzor mérési tartománya 0-tól 14 pH-ig terjed, ami lefedi a teljes pH-skálát, így képes mind savas, mind lúgos közegek pontos mérésére. Ez a tulajdonság kulcsfontosságú, hiszen a tápoldatok kémhatásának folyamatos monitorozása alapvetően befolyásolja a növények tápanyagfelvételét és fejlődését.

A szenzor $\pm 0,02$ pH pontossággal dolgozik, ami biztosítja, hogy a rendszer mindig a kívánt pH-tartományban működjön. Ez különösen fontos a tápoldat-keverési folyamatok során, ahol a legkisebb eltérés is negatívan befolyásolhatja a növények növekedését. A beépített hőmérséklet-kompenzáció révén a szenzor képes a mért pH-értékeket a környezeti hőmérséklet változásainak megfelelően automatikusan korrigálni, így még precízebb adatokkal tud szolgálni a vezérlőrendszer számára, ha szeretnénk.

Mechanikai szempontból a HI1001 egy üvegelektrodával rendelkezik, amely rendkívül ellenálló a különböző kémiai hatásokkal szemben, legyen szó savas vagy lúgos közegről. A szenzor háza PVDF-ből (polivinilidén-fluorid) készül, amely nemcsak a mechanikai sérülésekkel, hanem a vegyi anyagokkal szemben is nagyfokú ellenállóságot biztosít. Ez különösen előnyös olyan környezetekben, ahol a rendszer hosszabb ideig működik, minimális karbantartási igénnyel.

A szenzor BNC csatlakozóval csatlakoztatható, ami lehetővé teszi az egyszerű integrációt a PLC-rendszerhez. A PLC feldolgozza a szenzor által generált analóg jelet, és ennek alapján vezérli a sav adagolását. Ez a folyamatos monitorozási és beavatkozási képesség biztosítja, hogy a rendszer mindig a növények igényeinek megfelelően működjön, elkerülve a túl savas vagy túl lúgos közeg káros hatásait.

Az öntözőrendszerekben a HI1001 pH-szenzort gyakran alkalmazzák üvegházakban és szabadföldi termesztésben egyaránt. Az eszköz segíti a talaj kémiai egyensúlyának fenntartását, miközben a kezelő minimális manuális beavatkozással érheti el az optimális növekedési feltételeket. Az automatizált szabályozás révén a rendszer nemcsak hatékonyabbá, hanem fenntarthatóbbá is válik.



5. ábra: Hanna Instruments HI1001 pH-szenzor (ITM, n.d.)

- **EC-szenzor**

A Hanna Instruments HI3001 EC (elektromos vezetőképesség) szenzor az öntözőrendszer egyik kulcsfontosságú eleme, amely az oldatban található ionok koncentrációját méri. Az ionok mennyisége szoros összefüggésben áll a tápanyag-koncentrációval, így az EC-érték meghatározása elengedhetetlen a tápoldat megfelelő adagolásához és a növények optimális fejlődéséhez. Az általam választott Hanna Instruments HI3001 EC-szenzor egy analóg jelet

generáló szenzor, jellemzően 0-10V vagy 4-20mA formátumban. Ez a jel közvetlenül a PLC analóg bemenetére csatlakoztatható, ahol a vezérlőegység feldolgozza az adatokat és szabályozza a törzsoldat szivattyú működését.

A szenzor mérési tartománya 0-tól 10 mS/cm-ig terjed, ami bőségesen lefedi az öntözőrendszerekben előforduló értékeket. Az EC-szenzor pontossága $\pm 2\%$ FS (Full Scale), ami azt jelenti, hogy a teljes mérési tartományon belül legfeljebb 2%-os eltérés lehetséges a valós és a mért érték között. Ez a pontosság elegendő az öntözőrendszerek számára, mivel a legtöbb növény tápanyagigénye egy adott EC-tartományon belül mozog, és a PLC pontosan vezérelheti a tápoldat adagolását a mért értékek alapján.

A szenzor kialakítása kifejezetten strapabíró, hogy ellenálljon a szennyeződéseknek és üledékképződésnek. Az érzékelője rozsdamentes acél elektródákkal rendelkezik, amelyek hosszú élettartamot és pontos méréseket biztosítanak. A ház anyaga tartós műanyag, amely ellenáll a kémiai hatásoknak, például a magas sótartalmú oldatoknak.

A szenzor gyors válaszidővel rendelkezik, így az EC-értékek változását azonnal érzékeli és továbbítja a PLC-nek. Ez különösen fontos az olyan rendszerekben, ahol a tápoldat adagolását folyamatosan az aktuális vezetőképesség alapján kell szabályozni. Például, ha az EC-érték a kívánt tartomány alá csökken, a PLC azonnal aktiválja a törzsoldat szivattyút, hogy növelje az oldat tápanyag-koncentrációját. Amint az EC-érték visszatér a megfelelő tartományba, a szivattyú kikapcsol, elkerülve a túlادagolást.



6. ábra: Hanna Instruments HI3001 EC-szenzor (HANNAinstruments, n.d.)

3.5.2. Beavatkozók

- **ProMinent DULCOFLEX DFXa tömlős adagolószivattyú**

A DFXa szivattyú egyik kiemelkedő tulajdonsága a szelepmentes adagolás, amely egyszerűsíti a rendszert, mivel nincsenek mozgó szelepei, amelyek eltömődhetnének vagy elhasználódhatnának. Ez a megoldás különösen előnyös az öntözőrendszerekben, ahol a tápoldatok és savak folyamatos adagolása során előfordulhatnak szennyeződések vagy üledékképződés. A tömlős kialakítás révén a szivattyú minimális karbantartást igényel, és az adagolási folyamat során biztosítja a folyadék pontos és megbízható szállítását.

A szivattyú szállítási mennyisége széles tartományban állítható, 10 ml/h-tól egészen 65 l/h-ig, miközben akár 7 bar ellennyomással is képes dolgozni. Ez lehetővé teszi, hogy a DFXa különböző adagolási igényekhez igazodjon, legyen szó kis mennyiségű sav adagolásáról vagy nagyobb mennyiségű törzsoldat szállításáról. A szivattyú teljesítménye analóg jelekkel (0-10V vagy 4-20mA) is vezérelhető, de egyszerű alkalmazásoknál digitális ki- és bekapcsolási jelekkel is működtethető, ami ideális választás, ha minimalizálni szeretnénk a rendszer összetettségét.

Az anyaghasználat szintén kulcsfontosságú ebben a szivattyúban. A ház és a tömlő anyaga PVDF vagy más, vegyileg ellenálló műanyag, amely garantálja a hosszú élettartamot még agresszív savas vagy lúgos közegekben is. A tömlőcsere rendkívül egyszerű, ami tovább csökkenti a karbantartási időt és költségeket.

Működés közben a szivattyú stabil és megbízható, miközben minimális rezgést és zajt generál, ami különösen fontos olyan környezetekben, ahol a folyamatos üzemelés mellett az üzemeltetés nyugodt körülményeket kíván.



7. ábra: • ProMinent DULCOFLEX DFXa tömlős adagolószivattyú (ProMinent, n.d.)

- **HUNTER PGV-100, 1" mágnesszelep**

A Hunter PGV mágnesszelep sorozatot kifejezetten öntözőrendszerekhez tervezték, ahol megbízható és tartós működésre van szükség. Ezek a szelepek különböző méretekben érhetők el, beleértve az 1", 1½" és 2" változatokat, így rugalmasan alkalmazhatók különböző méretű és típusú öntözési rendszerekben.

A PGV szelepek anyaga nagy szilárdságú, tartós PVC, amely ellenáll a mechanikai igénybevételnek és a környezeti hatásoknak. A szelepek belső kialakítása erős membránnal és membrántámasztóval rendelkezik, ami megakadályozza a nagy víznyomás okozta meghibásodásokat. A szelepek maximális üzemi nyomása 10 bar, ami alkalmassá teszi őket magas nyomású rendszerekben való használatra is.

A PGV szelepek kétféle csatlakozási lehetőséggel rendelkeznek: 1" külső menetes (KK) és 1" belső menetes (BB) változatokban. Ez lehetővé teszi a szelepek egyszerű integrálását különböző csővezeték-rendszerekbe. A szelepek kézi indítóval is fel vannak szerelve, ami lehetővé teszi a manuális működtetést karbantartás vagy hibaelhárítás során.

A szelepek szolenoidja 24V AC váltóáramú, ami kompatibilis a legtöbb öntözésvezérlő automatával. A szolenoid behúzóárama 370 mA, tartóárama pedig 210 mA, ami biztosítja a stabil és megbízható működést. A szolenoid magja kiesés ellen védett, ami növeli a szelepek megbízhatóságát és élettartamát.

A PGV szelepek átfolyásszabályzóval (PGV-101) és anélkül (PGV-100) is elérhetők.



8. ábra: HUNTER PGV-100, 1" mágnesszelep (ÖntözőCentrum, n.d.)

3.5.3. PLC

Omron CP1H-XA40DR-A

Az Omron CP1H egy kompakt, mégis rendkívül rugalmas programozható logikai vezérlő (PLC), amelyet kifejezetten olyan ipari alkalmazásokhoz terveztek, ahol a helytakarékosság és a nagy teljesítmény egyaránt fontos szempont. Ez a vezérlő ideális kisebb és közepes méretű rendszerekhez, például öntözőrendszerekhez, ahol sokféle szenzor és beavatkozó csatlakoztatása szükséges.

A CP1H erőssége a moduláris felépítésben rejlik, amely lehetővé teszi az analóg és digitális I/O pontok rugalmas konfigurálását. Az alapmodellben 24 digitális bemenet és 16 digitális kimenet található, amely elegendő a legtöbb alapvető vezérlési feladathoz, például nyomógombok, lámpák és szelepek kezeléséhez. Ezen felül a CP1H-XA változat beépített analóg bemenetekkel és kimenetekkel rendelkezik, amelyeket kifejezetten analóg szenzorokhoz, például pH- és EC-mérőkhöz terveztek. Ezek az analóg bemenetek 0–10V vagy 4–20mA jeleket fogadnak, biztosítva a precíz adatfeldolgozást és vezérlést.

A PLC beépített kommunikációs portokkal is rendelkezik, beleértve egy USB-programozási portot és egy RS-232C portot, amely eszközök széles körével teszi lehetővé az egyszerű és gyors adatcserét. Az RS-232C port használható például HMI kijelzők vagy más vezérlőegységek csatlakoztatására. Továbbá opcionális modulokkal Ethernet vagy RS-485 kommunikáció is megvalósítható, ami lehetővé teszi a rendszer távoli monitorozását és vezérlését, ha szükséges.

A PLC robusztus hardverrel rendelkezik, amely megbízható működést biztosít akár szélsőséges ipari körülmények között is. A bemenetek és kimenetek védettek a túláram és a rövidzárlat ellen, ami tovább növeli a rendszer megbízhatóságát.

Az Omron vezérlők programozása a CX-Programmer szoftver segítségével történik. A szoftver létra logikát (ladder diagram) használ, amely egyszerű és hatékony eszközt nyújt a vezérlési folyamatok programozására.

Az Omron CP1H széles körű bővítési lehetőségeket is kínál. A CP1W I/O egységekkel további bemenetek és kimenetek adhatók hozzá, ha a rendszer igényei ezt megkövetelik. Emellett kompatibilis az Omron CJ1 sorozatú speciális I/O moduljaival, például gyors számlálókkal és analóg kimeneti egységekkel, amelyek lehetővé teszik a fejlettebb vezérlési funkciók integrálását.



9. ábra: Omron CP1H-XA40DR-A (Omron, n.d.)

3.5.4. Nyomógombok

Az Omron A22N sorozatú nyomógombok kiválóan alkalmasak az öntözőrendszer vezérléséhez szükséges gombok és visszajelző lámpák integrálására. Ezek az ipari környezetben gyakran használt eszközök beépített LED-ekkel rendelkeznek, amelyek vizuális visszajelzést nyújtanak a rendszer állapotáról. Az egyes gombok színe és funkciója egyértelműen elkülönül, ami megkönnyíti a kezelést.

- **A22NL-BGM-TGA-G100-GC**

A Start gomb a rendszer indítására szolgál. Beépített zöld LED-del rendelkezik, amely 24V AC/DC feszültségen működik, és a gomb alapértelmezett állapotában nyitott érintkezője (NO) van.

- **A22NL-BGM-TAA-G100-AC**

Az Init gomb az öntözőrendszer újraindításakor a rendszer alaphelyzetbe állítására használható. Ez a gomb szintén NO érintkezővel van ellátva. A beépített kék LED-del rendelkezik és szintén 24V-os tápfeszültséggel működik.

- **A22NL-BGM-TRA-G002-RC**

A Stop gomb NC érintkezővel rendelkezik, amely alaphelyzetben zárt. Ez biztosítja, hogy az áramkör folyamatosan aktív maradjon, amíg a gombot meg nem nyomják. Amikor a Stop gombot megnyomják, az érintkező nyit, és megszakítja az áramkört, azaz leállítja a rendszert. A piros LED szintén vizuális visszajelzést ad arról, hogy a gomb aktivált állapotban van. Ez a nyomógomb is 24V-os tápfeszültséggel működik.

- **A22E-M-01**

A Vészstop gomb egy speciális, reteszelhető piros nyomógomb, amely kritikus biztonsági funkciót lát el. Ez a gomb NC érintkezővel rendelkezik, amely megszakítja az áramkört, amikor a gombot megnyomják, és addig zárva marad, amíg manuálisan vissza nem állítják az alaphelyzetébe.

3.6. A PLC I/O Pontjainak és Funkcióinak Hozzárendelése

A rendszer tervezésének következő lépése a PLC bemenetek, kimenetek és segédregiszterek hozzárendelése a megfelelő funkciókhoz. Ez a folyamat biztosítja, hogy minden csatlakoztatott eszköz, például szenzorok, beavatkozók és vezérlő elemek, megfelelően működjenek együtt, és a vezérlési logika zavartalanul végrehajtható legyen.

Az I/O pontok hozzárendelése azért lényeges, mert egyértelmű kapcsolatot teremt a hardvereszközök és a PLC programozási logikája között. Minden bemenet és kimenet meghatározott szerepet kap a rendszerben, például adatgyűjtésre, vezérlési jelek továbbítására vagy visszajelzés nyújtására. Emellett a belső regiszterek segítik az átmeneti adatok tárolását és a vezérlési folyamat optimalizálását.

A következő táblázat bemutatja a rendszerben használt bemeneteket, kimeneteket és azok funkcióit.

Címke	Pont típusa	Funkció	Leírás
I0.00	Digitális bemenet	Start nyomógomb	A rendszer indítása
I0.01	Digitális bemenet	Stop nyomógomb	A rendszer leállítása
I0.02	Digitális bemenet	Init nyomógomb	Rendszer inicializálása
I0.03	Digitális bemenet	Vészstop nyomógomb	Vészleállítás
A10	Analóg bemenet	pH-mérő szenzor	A pH érték mérése (0-10V)
A11	Analóg bemenet	EC-mérő szenzor	Az EC érték mérése (0-10V)
O0.00	Digitális kimenet	Sav szivattyú	Sav adagolása
O0.01	Digitális kimenet	Törzsoldat szivattyú	Tápoldat adagolása
O0.02	Digitális kimenet	Öntözőszelep	Öntözés indítása
O0.03	Digitális kimenet	Start lámpa	Visszajelző lámpa az indításról
O0.04	Digitális kimenet	Stop lámpa	Visszajelző lámpa a leállításról
O0.05	Digitális kimenet	Init lámpa	Visszajelző lámpa az inicializálásról

1. táblázat: A PLC I/O portjaihoz való hozzárendelés (saját táblázat)

3.7. Program tervezése

Legegyszerűbben egy példával lehet szemléltetni a számítást, amit később behelyettesítésekkel át lehet alakítani más növények szükségletére.

3.7.1. Paradicsom szükségletei

- Átlag vízigénye: 2 l/nap/m²
- Ideális pH érték 5,5 és 6,5 között van
- EC-érték pedig 1,5-2 mS/cm között tartandó

3.7.2. Számoláshoz kellő adatok

- törzsoldat EC értéke 200 mS/cm töménységű
- 10 m² termőterület
- Víz EC-értéke: 0,5 mS/cm

3.7.3. Képlet a törzsoldat mennyiségének kiszámításához és számolás

$$\begin{aligned}
 Víz_{térfo gat} \cdot Víz_{EC} + Törzsoldat_{térfo gat} \cdot Törzsoldat_{EC} = \\
 = Tápoldat_{térfo gat} \cdot Tápoldat_{EC}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$20 \cdot 0,5 + X \cdot 200 = (20 + X) \cdot 2 \quad (2)$$

$$X = \frac{5}{33} = 0,15 \text{ l} \quad (3)$$

A számítás alapján 0,15 liter törzsoldatot szükséges a napi 20 liter öntözővízhez keverni a 2 mS/cm EC-szint tartásához.

3.7.4. Program tervezésének menete

A PLC program tervezése során a legfontosabb célom az volt, hogy az öntözőrendszer működését teljes mértékben automatizáljam, miközben a felhasználó számára egyszerűen kezelhető maradjon. A programot lépésről lépésre alakítottam ki, figyelembe véve az érzékelők adatait, a beavatkozók működését, valamint a felhasználói beavatkozások lehetőségét. Mindezt úgy valósítottam meg, hogy a rendszer stabil, megbízható és könnyen fenntartható legyen.

Az első lépés a pH- és EC-érzékelők adatainak folyamatos figyelése volt. Ezek az érzékelők biztosítják, hogy a rendszer mindig a megfelelő tápanyagtartalmú vizet juttassa ki a növényekhez. Az EC-szenzor segítségével ellenőriztem a víz elektromos vezetőképességét, amely alapján a törzsoldat adagolásának szükségességét állapítottam meg. Amint az EC-érték 1,5 mS/cm alá csökkent, a program automatikusan elindította a törzsoldat szivattyút, hogy helyreállítsa az optimális értéket. Hasonló módon a pH-érzékelő biztosította, hogy a víz pH-ja a megfelelő tartományban maradjon. Ha az érték 6,5 fölé emelkedett, a sav szivattyú automatikusan bekapcsolt, hogy korrigálja a pH-értéket.

Az öntözési ciklusok vezérlését úgy alakítottam ki, hogy a napi egyszeri öntözés automatikusan megtörténjen, feltéve, hogy az érzékelők által jelzett paraméterek megfelelőek. A program 20 perces időzítőt indított az öntözőszelep nyitásakor, így pontosan 20 liter víz került kijuttatásra minden nap. Ezt az időzítőt a PLC belső órájával szinkronizáltam, biztosítva, hogy a ciklusok mindig azonos időben kezdődjenek.

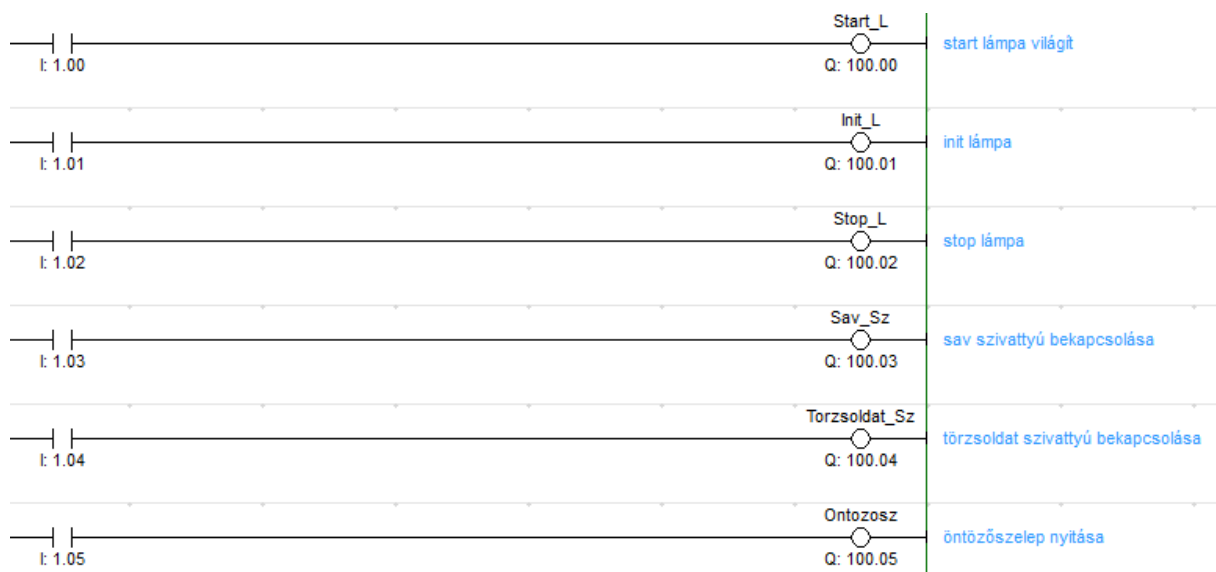
A program felhasználói interakcióit is részletesen megterveztem. A Start gomb megnyomásával a rendszer ellenőrzi az érzékelők értékeit, és ha minden rendben van, elindítja az öntözési ciklust. Ellenkezőképp EC- és/vagy pH-érték változás esetén a kellő anyag szivattyúját indítja el a PLC, ami visszaállítja a normál értékeket. A Stop gomb biztosítja, hogy a folyamat kontrollált módon álljon le. Ha a ciklus közben van megnyomva, az öntözést először befejezi,

majd leállítja a rendszert. A leállási folyamat alatt a Stop lámpa világít, jelezve, hogy a rendszer éppen leáll.

A Vészstop gomb fontos szerepet játszik a biztonság szempontjából. Ennek megnyomására azonnal leáll minden folyamat. A reteszelt Vészstop gomb biztosítja, hogy a rendszer csak manuális beavatkozás után indulhasson újra. A retesz feloldását követően az Init lámpa világít, jelezve, hogy a rendszer készen áll az alaphelyzetbe állításra.

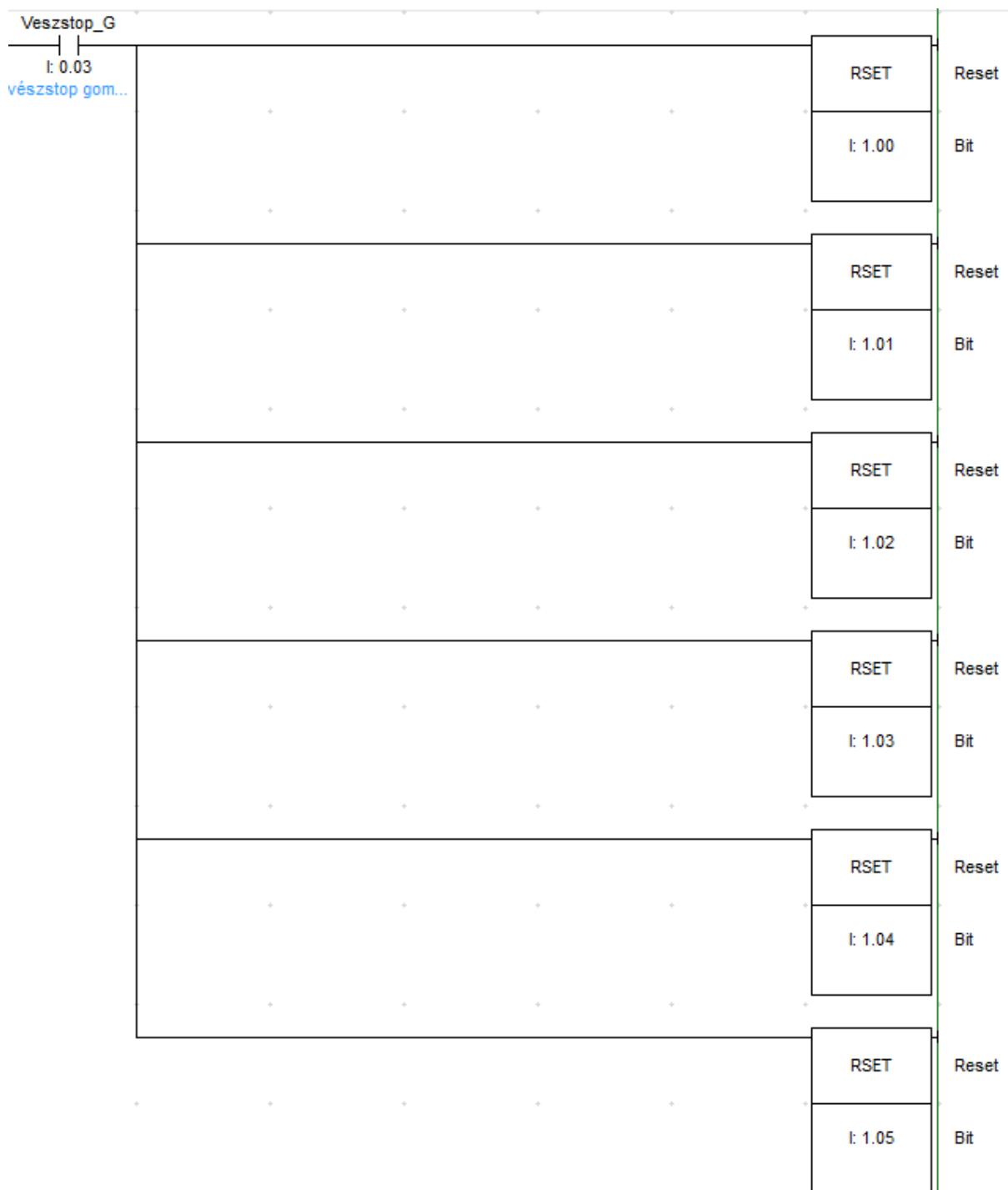
Az Init gomb egy egyszerű, de hatékony funkciót biztosított. Ha a rendszer nem alaphelyzetben állt meg, például Stop után, az Init lámpa világított, figyelmeztetve a felhasználót. Az Init gomb megnyomásával a rendszer minden beavatkozót alaphelyzetbe állított, készen az újabb ciklus indítására.

Az elkészült kód struktúráját a bővíthetőség jegyében készítettem el, hogy a későbbiekben is könnyen módosítható legyen. A következő oldalakon néhány kiemelt programrészletet is bemutatok, amelyek jobban szemléltetik a megvalósított funkciókat, míg a teljes program a mellékletben található.



10. ábra: Outputok rendezése (saját ábra)

A letisztultabb kinézetért és az átláthatóság érdekében minden outputot a feladat elején helyeztem el, amik szintén segítenek a bővíthetőségben is.



11. ábra: Vészstop utasítások (saját ábra)

Azért választottam Resetelést az egyből megállítás helyett, mert nincs olyan alkatrész, ami esetleg sérülést tudna okozni akár üzem közben is. Így átugorható az Init rész és egyből indítható a rendszer a hiba elhárítását követően.

3.8. Kiértékelés, eredmények, jövő

Az eredmények elemzése során világossá vált, hogy az automatizált öntözőrendszer jelentős mértékű víz- és tápanyagmegtakarítást eredményez. Az automatizált öntözés és tápanyag-adagolás révén elkerülhetővé váltak a felesleges mennyiségek kijuttatása, így a növények csak annyi vizet és tápanyagot kaptak, amennyire szükségük volt. Ez a pontosság a növények számára kedvező növekedési feltételeket teremtett, miközben a túlzott öntözés vagy tápanyag-adagolás elkerülése révén csökkent az erőforrások pazarlása.

A program időzített öntözési ciklusokkal dolgozik, ami napi 20 liter víz kijuttatását biztosítja, ezzel optimalizálva a vízfelhasználást. Az időzített működés lehetővé teszi, hogy az öntözés mindig azonos időpontban és mennyiségben történjen, így a növények hozzászoknak a rendszeres vízellátáshoz, ami szintén hozzájárul a fejlődésükhöz. Az időzítőt úgy programoztam, hogy az öntözés pontosan 20 percig tartson, ezzel elkerülve a túlzott vízfelhasználást. A PLC programban beállított időzítési és vezérlési paraméterek megbízható működést biztosítanak, így az üvegházi növénytermesztés során a víz- és tápanyagkijuttatás optimalizálható.

A rendszer egyik legnagyobb előnye a rugalmassága, amely lehetővé teszi, hogy különböző növények termesztése esetén is könnyedén alkalmazkodjunk az eltérő igényekhez. Az öntözőrendszer és a PLC program úgy lett kialakítva, hogy a felhasználó által megadott pH- és EC-határértékek bármikor módosíthatók legyenek. Ezáltal, ha a termesztett növények változnak, elegendő a megfelelő értékeket bevinni, és a rendszer az új adatok alapján automatikusan a kívánt paraméterekhez igazítja az öntözést és a tápanyag-adagolást.

3.8.1. Továbbifejlesztési lehetőségek a jövőben

A rendszer jövőbeli bővítése során lehetőség van arra, hogy előre definiált növényfajtákhoz tartozó pH- és EC-értékeket előre elmentsünk a programban. Így a felhasználónak elegendő lenne kiválasztani a termesztett növény típusát, és a rendszer automatikusan a megfelelő beállításokat alkalmazná. Ez a funkció különösen hasznos lehet egy olyan gazdaságban, ahol többféle növény termesztése történik párhuzamosan, vagy ahol a növények gyors váltása szükséges.

A rendszer továbbfejlesztésének egyik fontos iránya lehet a szellőztetés automatizálása. Az üvegházakban a megfelelő légcsere biztosítása kulcsfontosságú, mivel a túl magas páratartalom vagy a hőmérséklet-ingadozások negatívan befolyásolhatják a növények fejlődését. A szellőztetést például motoros ablaknyitók vagy ventilátorok segítségével lehetne vezérelni,

amelyeket a PLC irányítana hőmérséklet- és páratartalom-érzékelők adatai alapján. Ezáltal a rendszer még inkább képes lenne az optimális környezet fenntartására.

Továbbá lehetőség lenne az öntözési és tápanyagigények finomhangolására is. Az eddigi megvalósítás az átlagot nézve napi szinten biztosítja a szükséges víz- és tápanyagkijuttatást, de egy precízebb rendszer hetekre vagy akár növekedési szakaszokra lebontva is képes lenne az igényeket kezelni. Ez különösen hasznos lehet olyan növények esetében, amelyek fejlődési ciklusuk különböző szakaszaiban eltérő víz- és tápanyagigényt mutatnak. Az ilyen finomhangolás révén a termesztés még hatékonyabbá és fenntarthatóbbá válhatna.

A jövőben mindenképpen szeretném ezt a rendszert a gyakorlatban is megvalósítani, hiszen mindig is az volt az álmom, hogy saját magam számára termeljek. Az itt elkészült dolgozat remek kiindulópontot jelent az üvegházam megtervezéséhez. Természetesen nem zárom ki annak lehetőségét, hogy más megvalósítási módokat is megvizsgáljak, hogy a lehető legjobb eredményt érjem el, de ez egy biztos alap, amin el tudok indulni.

4. Gazdasági számítás

4.1. Áramfogyasztás számítása

Eszköz	Teljesítmény [W]	Üzemidő[óra/nap]	Éves működés[nap]	Éves fogyasztás[kWh]
Szivattyúk	50	0,05	365	0,9125
PLC	15	24	365	131,4
			Összesen:	132,3125

2. táblázat: Rendszer éves fogyasztása (saját táblázat)

$$132,3 \cdot 40 = 5292 \approx 5300 \text{ Ft/év} \quad (4)$$

4.2. Költségek és megtérülés

4.2.1. Rendszer egyszeri (telepítési) összdíja

Tétel	Költség (HUF)	Megjegyzés
Szenzor	105000	Hanna Instruments HI1001
Szenzor	200000	Hanna Instruments HI3001
Beavatkozó	2000000	ProMinent DULCOFLEX DFXa (2 db)
Beavatkozó	5800	HUNTER PGV-100, 1"
PLC	90000	Omron CP1H-XA40DR-A
Nyomógomb	14500	A22NL-BGM-TGA-G100-GC
Nyomógomb	14500	A22NL-BGM-TAA-G100-AC
Nyomógomb	11700	A22NL-BGM-TRA-G002-RC
Nyomógomb	12000	A22E-M-01
Telepítés	400000	Munkabér, csövek, vezetékek
Összesen:	2853500	

3. táblázat: Telepítési összdíj

Tétel	Költség (HUF)	Megjegyzés
Karbantartás	10000	Strapabíró tervezés miatt csak jelképesen határozható meg
Üzemeltetés	5300	Áramfogyasztás
Tápanyagmegtakarítás	-5000	kb.30%-os veszteséggel számolva
Összesen:	10300	

4. táblázat: Fenntartási költségek

Jól látszik a 4. táblázatban, hogy a tápanyagmegtakarítás körülbelül fedezi az áramfogyasztásra kiadott pénzt, ezáltal csak a karbantartásra kell egy elenyésző összeget költeni. A telepítési összdíj a sok, de a strapabíró tervezésnek köszönhetően több évtizedig is működhet a rendszer megfelelő karbantatás mellett maximum kisebb gondokkal.

5. Összefoglalás

A szakdolgozat címe „Automatizált Öntözőrendszer Tervezése és Vezérlése PLC Alkalmazásával”, amely a precíziós mezőgazdaság egyik kulcsterületével, az automatizált öntözés és tápoldatozás tervezésével foglalkozik. A dolgozat központi kérdése, hogy miként alkalmazhatóak a programozható logikai vezérlők (PLC) az öntözőrendszerek hatékonyabbá és fenntarthatóbbá tételében. Az öntözés a mezőgazdaság egyik legfontosabb technológiája, amely különösen a száraz és félszáraz területeken nélkülözhetetlen. A hagyományos rendszerek azonban gyakran pazarlóak, és nem tudnak alkalmazkodni a talaj és a növények aktuális igényeihez.

A dolgozat célja egy olyan modern, PLC-alapú öntözőrendszer tervezése, amely képes valós idejű szenzoradatok alapján szabályozni az öntözési ciklusokat és a tápoldatok kijuttatását. A tervezett rendszer különböző paramétereket, például talajnedvességet, hőmérsékletet és páratartalmat figyelembe véve optimalizálja a növények vízellátását. Az automatizált rendszerek hozzájárulnak a termelékenység növeléséhez és a fenntarthatósági célok eléréséhez, különösen a víz- és energiatakarékosság területén.

A szakirodalmi áttekintés bemutatja az öntözés és tápoldatozás fejlődését, a precíziós technológiák térnyerését, valamint a különböző vezérlőrendszereket, mint például az Arduino, Raspberry Pi és BeagleBone. A PLC előnyei közé tartozik a megbízhatóság, a rugalmasság és a pontos vezérlés. Az ilyen rendszerek moduláris felépítésűek, könnyen bővíthetők, és különböző környezeti feltételekhez igazíthatók.

A dolgozat részletezi a tervezett rendszer felépítését, az alkalmazott eszközöket és komponenseket, valamint a vezérlési logika megvalósításának lépéseit. Kiemelten foglalkozik a szenzoradatok feldolgozásával és a vezérlési algoritmusok kialakításával. A gazdasági elemzés bemutatja a rendszer energiafogyasztását, telepítési költségeit és a várható megtérülési időt. Az eredmények azt mutatják, hogy az automatizált öntözőrendszerek nemcsak a víz- és energiapazarlást csökkentik, hanem hosszú távon gazdasági előnyökkel is járnak, nem beszélve a megtakarított időről.

Összességében a dolgozat rávilágít arra, hogy a PLC-alapú öntözőrendszerek jelentős előrelépést jelentenek a mezőgazdasági technológiák területén. Az ilyen rendszerek nemcsak a termelékenységet növelik, hanem fenntarthatóbbá is teszik a mezőgazdasági gyakorlatokat, miközben csökkentik az ökológiai lábnyomot. A dolgozat konklúziója szerint az automatizáció és a precíziós technológiák integrálása kulcsfontosságú a jövő mezőgazdaságának fejlődésében.

6. Summary

The thesis, titled "Design and Control of an Automated Irrigation System Using PLC," focuses on one of the key areas of precision agriculture: the design of automated irrigation and nutrient dosing systems. The central question of the thesis is how programmable logic controllers (PLCs) can be applied to make irrigation systems more efficient and sustainable. Irrigation is one of the most critical agricultural technologies, particularly indispensable in arid and semi-arid regions. However, traditional systems are often wasteful and unable to adapt to the current needs of the soil and crops.

The aim of the thesis is to design a modern, PLC-based irrigation system capable of regulating irrigation cycles and nutrient delivery based on real-time sensor data. The proposed system optimizes the water supply for crops by considering various parameters, such as soil moisture, temperature, and humidity. Automated systems contribute to increasing productivity and achieving sustainability goals, particularly in the areas of water and energy conservation.

The literature review presents the evolution of irrigation and nutrient dosing, the rise of precision technologies, and various control systems such as Arduino, Raspberry Pi, and BeagleBone. The advantages of PLCs include reliability, flexibility, and precise control. These systems are modular, easily expandable, and adaptable to different environmental conditions.

The thesis details the structure of the proposed system, the devices and components used, and the steps for implementing the control logic. It places particular emphasis on processing sensor data and developing control algorithms. The economic analysis showcases the system's energy consumption, installation costs, and expected return on investment. The results demonstrate that automated irrigation systems not only reduce water and energy waste but also offer long-term economic benefits, including significant time savings.

Overall, the thesis highlights that PLC-based irrigation systems represent a significant advancement in agricultural technologies. These systems not only enhance productivity but also make agricultural practices more sustainable while reducing the ecological footprint. The conclusion of the thesis underscores that integrating automation and precision technologies is essential for the future development of agriculture.

7. Nyilatkozatok

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Sipos-Szabó Tibor
A Hallgató Neptun kódja: UNPUG3
A dolgozat címe: Automatizált Öntözőrendszer Tervezése és Vezérlése PLC Alkalmazásával
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Műszaki Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Járműtechnika tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

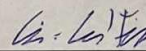
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2024 év 11 hó 11 nap



Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Szűcs - Szabó Tibor (név) (hallgató Neptun azonosítója: 0118UG3)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő
védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Kelt: 2024 év 11 hó 11 nap

Gyeregy Zoltán
belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.

1. Irodalomjegyzék

- [1 C. Linstead, „The Contribution of Improvements in Irrigation Efficiency to Environmental Flows,” *Frontiers in Environmental Science*, 2020.
- [2 M. W. v. Iersel, M. Chappell és J. D. Lea-Cox, „Sensors for Improved Efficiency of Irrigation in Greenhouse and Nursery Production,” *HortTechnology*, p. 735–746, 2013.
- [3 M. v. Ierse, J.-G. Kang és S. Burnett, „Making Greenhouse Irrigation More Efficient: Effects of Substrate Water Content on Growth and Physiology,” *Proc. Southern Nursery Assn. Res. Conf.*, pp. 92-96, 2009.
- [4 J. H. Barnhart, „The History and Development of Greenhouse,” *Journal of the New York Botanical Garden*, pp. 77-80, 1925.
- [5 M. Nautiyal, G. L. Grabow, G. L. Miller és R. L. Huffman, „Evaluation of Two Smart Irrigation Technologies in Cary, North Carolina,” in *Proc. Amer. Soc. Agr. Biol. Eng.*, 2010.
- [6 M. Chappell, S. K. Dove, M. W. v. Iersel, P. A. Thomas és J. Ruter, „Implementation of Wireless Sensor Networks for Irrigation Control in Three Container Nurseries,” *HortTechnology*, pp. 747-753, 2013.
- [7 Y. Wu, L. Li, S. Li, H. Wang, M. Zhang, H. Sun, N. Sygrimis és M. Li, „Optimal control algorithm of fertigation system in greenhouse based on EC model,” *IJABE*, pp. 118-125, 2019.
- [8 J. F. Velasco-Muñoz, J. A. Aznar-Sánchez, A. Batlles-de-laFuente és M. D. Fidelibus, „Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research,” *Water*, p. 1758, 2019.
- [9 K. J. Walters, B. K. Behe, C. J. Currey és R. G. Lopez, „Historical, Current, and Future Perspectives for Controlled Environment Hydroponic Food Crop Production in the United States,” *HortScience*, p. 758–767, 2020.

- [1 A. N. Angelakis, D. Zaccaria, J. Krasilnikoff, M. Salgot, M. Bazza, P. Roccaro, P. Roccaro, A. Kumar, W. Yinghua, A. Baba, J. A. Harrison, A. Garduno-Jimenez és E. Fereres, „Irrigation of World Agricultural Lands: Evolution through the Millennia,” *Water*, p. 1285, 2020.
- [1 I. A. Lakhiar, H. Yan, C. Zhang, G. Wang, B. He, B. Hao, Y. Han, B. Wang, R. Bao, T. N. Syed, J. N. Chauhdary és M. Rakibuzzaman, „A Review of Precision Irrigation Water-Saving Technology under Changing Climate for Enhancing Water Use Efficiency, Crop Yield, and Environmental Footprints,” *Water*, p. 1141, 2024.
- [1 J. I. Contreras, R. Baeza, J. G. López, G. Cánovas és F. Alonso, „Management of Fertilization in Horticultural Crops through Automation with Electrotensiometers: Effect on the Productivity of Water and Nutrients,” *Sensors*, p. 190, 2021.
- [1 F. Pan, S. Pan, J. Tang, J. Yuan, H. Zhang és B. Chen, „Fertilization Practices: Optimization in Greenhouse Vegetable Cultivation with Different Planting Years,” *Sustainability*, p. 7543, 2022.
- [1 N. Krishna, „History of Controlled Environment Horticulture: Greenhouses,” *HortScience*, pp. 239-246, 2022.
- [1 Y. Lu, M. Liu, C. Li, X. Liu, C. Cao, X. Li és Z. Kan, „Precision Fertilization and Irrigation: Progress and Applications,” *AgriEngineering*, pp. 626-655, 2022.
- [1 D. Vallejo-Gómez, M. Osorio és D. Vallejo-Gómez, „Smart Irrigation Systems in Agriculture: A Systematic Review,” *Agronomy*, p. 342, 2023.
- [1 H. Niu, T. Wang, Y. Dai, M. Yao, B. Li, J. Zheng, L. Mao, M. Zhao, Z. Xu és F. Zhang, „Optimal Irrigation and Fertilization Enhanced Tomato Yield and Water and Nitrogen Productivities by Increasing Rhizosphere Microbial Nitrogen Fixation,” *Agronomy*, p. 2111, 2024.
- [1 L. Bonelli, F. F. Montesano, M. D’Imperio, M. Gonnella, A. Boari, B. Leoni és F. Serio, „Sensor-Based Fertigation Management Enhances Resource Utilization and Crop Performance in Soilless Strawberry Cultivation,” *Agronomy*, p. 465, 2024.

- [1 D. S. Kachwaya, H. C. Raturi, A. S. Tiwana és M. Tufail, „Irrigation and Fertigation Systems for Protected Cultivation,” in *Protected Cultivation*, Taylor & Francis, 2024, p. 32.
- [2 Ciksiti, „Mik az Arduino előnyei és hátrányai,” 2023. [Online]. Available: <https://ciksiti.com/hu/chapters/15470-what-are-advantages-and-disadvantages-of-arduino>. [Hozzáférés dátuma: 28 október 2024].
- [2 GépészPresszó, „Arduino mikrovezérlő és előnyei,” 2021. [Online]. Available: <https://gepeszpresszo.hu/2021/11/09/arduino-mikrovezerlo-es-elonyei/>. [Hozzáférés dátuma: 28 október 2024].
- [2 HowWhatProduce, „Öntözésvezérlés Interneten keresztül + Arduino + Ethernet: 3 lépés,” 2024. [Online]. Available: <https://hu.howwhatproduce.com/10417950-irrigation-control-via-internet-arduino-ethernet-3-steps>. [Hozzáférés dátuma: 28 október 2024].
- [2 Control.com, „Arduino Applications in Industrial Automation,” 2022. [Online]. Available: <https://control.com/technical-articles/arduino-applications-in-industrial-automation/>. [Hozzáférés dátuma: 28 október 2024].
- [2 Wiley, „Raspberry Pi User Guide,” 2012. [Online]. Available: <https://www.wiley.com/en-ca/Raspberry+Pi+User+Guide-p-9781118464465>. [Hozzáférés dátuma: 28 október 2024].
- [2 S. McManus és M. Cook, *Raspberry Pi For Dummies*, John Wiley & Sons, Inc, 2021.
- [2 M. Richardson és S. Wallace, *Getting Started With Raspberry Pi*, O'Reilly Media, Inc., 2013.
- [2 S. Monk, *Programming the Raspberry Pi: Getting Started with Python*, McGraw-Hill Education, 2015.
- [2 C. R. Severance és K. Fontichiaro, *Raspberry Pi*, Cherry Lake Publishing, 2013.
- [2 V. Vujovic és M. Maksimovic, „Raspberry Pi as a Wireless Sensor node: Performances and constraints,” in *ResearchGate*, 2014.

- [3 beagleboard.org, „BeagleBone (all),” 2024. [Online]. Available:
0] <https://docs.beagle.cc/boards/beaglebone/index.html>. [Hozzáférés dátuma: 29 október 2024].
- [3 beagleboard.org, „Basics,” 2024. [Online]. Available:
1] <https://docs.beagleboard.io/books/beaglebone-cookbook/01basics/basics.html>.
[Hozzáférés dátuma: 29 október 2024].
- [3 beagleboard.org, „BeagleBone® Black,” 2024. [Online]. Available:
2] <https://www.beagleboard.org/boards/beaglebone-black>. [Hozzáférés dátuma: 29 október 2024].
- [3 beagleboard.org, „BeagleBone® Blue,” 2024. [Online]. Available:
3] <https://www.beagleboard.org/boards/beaglebone-blue>. [Hozzáférés dátuma: 29 október 2024].
- [3 IC Components Limited, „ESP32 vs ESP8266: különbségek és előnyök,” 2024.
4] [Online]. Available: <https://hu.ic-components.com/blog/esp32-vs-esp8266-differences-and-advantages.jsp>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [3 LastMinuteEngineers, „ESP32 vs. ESP8266: Which Microcontroller Is Right for You?,”
5] 2024. [Online]. Available: <https://lastminuteengineers.com/esp32-vs-esp8266-comparison/>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [3 F. Csaba, „Az ESP32 programozása,” 2021. [Online]. Available:
6] <http://faragocsaba.hu/esp32>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [3 Particle, „Remote control,” n.d.c. [Online]. Available: <https://www.particle.io/iot-remote-control/>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [3 Particle, „Production-Ready IoT Devices for Any Use Case,” n.d.b. [Online]. Available:
8] <https://www.particle.io/devices/>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [3 Particle, „An Integrated IoT Platform-as-a-Service That’s Easy to Use and Fully
9] Customizable,” n.d.a. [Online]. Available: <https://www.particle.io/platform/particle-iot-platform-as-a-service/>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [4 Particle, „About Particle,” n.d.d. [Online]. Available: <https://www.particle.io/about-particle/>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].

- [4 ST, „STM32 32-bit Arm Cortex MCUs,” n.d.a. [Online]. Available:
1] <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [4 ST, „STM32F429/439,” n.d.b. [Online]. Available:
2] <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f429-439.html>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [4 ST, „STM32F2 Series,” n.d.c. [Online]. Available:
3] <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f2-series.html>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [4 ST, „STM32CubeMX,” n.d.d. [Online]. Available:
4] https://www.st.com/content/st_com/en/stm32cubemx.html. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [4 ST, „STM32 32-bit Arm Cortex MCUs,” n.d.e. [Online]. Available:
5] <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [4 Texas Instruments, „Hardware development,” n.d.b. [Online]. Available:
6] <https://www.ti.com/design-development/hardware-development.html>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [4 Texas Instruments, „TI LaunchPad™ Information,” n.d.a. [Online]. Available:
7] https://education.ti.com/html/eguides/stem/innovator-basic/EN/content/eg_innovsys/m_ref-faqs/m_ref-faqs_launchpad.HTML. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [4 InnoMation, „Mi az a PLC? Bevezetés a Programozható Logikai Vezérlők Világába,”
8] n.d.. [Online]. Available: <https://innomation.hu/mi-az-a-plc-bevezetes-a-programozható-logikai-vezerlok-vilagaba/>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [4 PLC GLOBAL, „A programozható logikai vezérlő ipari alkalmazásai,” n.d.. [Online].
9] Available: <https://www.plc-program.hu/blog/a-programozható-logikai-vezerlo-a-plc-ipari-alkalmazasai>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].

- [5 DIAL-COMP, „IEC 61131-3 szabvány szerinti programozás,” n.d.. [Online]. Available: 0] [Dialcomp.hu/br-automatizalas/automation-studio/iec-61131-3-szabvany-szerinti-programozas/](https://dialcomp.hu/br-automatizalas/automation-studio/iec-61131-3-szabvany-szerinti-programozas/). [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [5 M. Justyna, „A PLC-k szerepe az Ipari IoT területén,” 2022. [Online]. Available: 1] <https://knowhow.distrelec.com/hu/automatizalas/a-plc-k-szerepe-az-ipari-iot-teruleten/>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [5 Cséke Annamária, „Az okos gazda okos eszközei (6.) – Az öntözés automatizálásának 2] eszközei,” 2022. [Online]. Available: <https://proagri.org/az-okos-gazda-okos-eszkozei-6-az-ontozes-automatizalasanak-eszkozei/>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [5 Dr. Rácz Istvánné, „Tápoldatozás a növény szabályozásának egyik fontos kulcsa,” 2019. 3] [Online]. Available: <https://agroforum.hu/szakcikkek/tapanyag-utanpotlas/tapoldatozas-a-noveny-szabalyozasanak-egyik-fontos-kulcsa/>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [5 Dr. Kovács István, „Automata tápoldatozó: Mit ad a gazdának a tápoldatozás 4] automatizálása?,” 2018. [Online]. Available: <https://moderngazda.hu/egyeb/automata-tapoldatozo/>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [5 Dr. Kovács István, „Tápoldatozók titkai. I. rész,” 2019. [Online]. Available: 5] <https://moderngazda.hu/egyeb/tapoldatozok-titkai-resz-hi5000-tapoldatozo-kisebb-gazdasagoknak/>. [Hozzáférés dátuma: 30 október 2024].
- [5 NÉBIH, „Magyarország talajtípusai,” 2024. [Online]. Available: 6] <https://portal.nebih.gov.hu/-/magyarorszag-talajtipusai>. [Hozzáférés dátuma: 8 november 2024].
- [5 KERTLAP, „Homokos talaj,” 2024. [Online]. Available: <https://kertlap.hu/homokos-talaj/>. [Hozzáférés dátuma: 8 november 2024]. 7]
- [5 AGRObio, „Talajtani térképek,” 2014. [Online]. Available: 8] <https://agrobio.hu/hu/talajtani-terkepek/magyarorszagi-talajok-kemhatas-ph-terkepe/>. [Hozzáférés dátuma: 8 november 2024].
- [5 ITM, „Hanna HI1001 Flow-thru Monitoring pH Electrode with BNC Connection,” n.d.. 9] [Online]. Available: <https://www.itm.com/product/hanna-hi1001-flow-thru-monitoring-ph-electrode>. [Hozzáférés dátuma: 10 november 2024].

- [6 HANNAinstruments, „Flow-thru Conductivity Probe,” n.d.. [Online]. Available:
0] <https://www.hannainst.com/flow-thru-conductivity-probe.html>. [Hozzáférés dátuma: 10 november 2024].
- [6 ProMinent, „DULCOFLEX DFXa tömlős adagolószivattyú,” n.d.. [Online]. Available:
1] <https://www.prominent.hu/hu/Term%C3%A9kek/Term%C3%A9kek/Adagol%C3%B3szivatty%C3%BAk/T%C3%B6ml%C5%91s-adagol%C3%B3szivatty%C3%BAk/p-dulcoflex-control.html>. [Hozzáférés dátuma: 10 november 2024].
- [6 ÖntözőCentrum, „Hunter PGV100 Mágnesszelep,” n.d.. [Online]. Available:
2] <https://www.ontozocentrum.hu/magnesszelep-szolenoid/111-magnesszelep-pgv100.html>. [Hozzáférés dátuma: 10 november 2024].
- [6 Omron, „CP1H-XA40DR-A,” n.d.. [Online]. Available:
3] <https://industrial.omron.hu/hu/products/CP1H-XA40DR-A>. [Hozzáférés dátuma: 10 november 2024].
- [6 PROCOMTEC, „A PLC szerepe az ipari automatizálásban,” 2024. [Online]. Available:
4] <https://procomtec.hu/a-plc-szerepe-az-ipari-automatizalasban>. [Hozzáférés dátuma: 10 november 2024].
- [6 I. D. Ferenczi és I. Ferenczi, PLC programozási alapismeretek, DocPlayer, 2009.
5]

8. Mellékletek

Alább található a teljes létra-logika program

