

Učinkovit sustav nadzora vlažnosti zemlje u agrikulturi

Zrno, Toni

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Istrian University of applied sciences / Istarsko veleučilište - Università Istriana di scienze applicate**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:212:724836>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-27**



image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

[Digital repository of Istrian University of applied sciences](#)



image not found or type unknown



Istarsko veleučilište
Università Istriana
di scienze applicate

Toni Zrno

Učinkovit sustav nadzora vlažnosti zemlje u agrikulturi

Završni rad

Pula, 2023.



Istarsko veleučilište
Università Istriana
di scienze applicate

Toni Zrno

Učinkoviti sustav nadzora vlažnosti zemlje u agrikulturi

Završni rad

JMBAG: 0233008376, izvanredni student

Studijski smjer: Prijediplomski stručni studij Mehatronike

Predmet: Projektiranje ugrađenih računalnih sustava

Mentor: Marko Turk, dipl. oec., pred.

Pula, ožujak 2023.

IZJAVA O SAMOSTALNOSTI IZRADE ZAVRŠNOG RADA

Ovom izjavom potvrđujem da sam završni rad pod nazivom „Nadzor vlage u agrikulturi“ napisao samostalno uz pomoć mentora Marko Turk, pred., primjenjujući znanja stečena tijekom studiranja te stručnu literaturu koja je navedena na kraju rada. Završni rad je napisan u duhu hrvatskog jezika.

Student: Toni Zrno

Potpis: _____

ZAHVALA

Ispred svega želim se zahvaliti svome mentoru Marku Turku, predavaču koji mi je svojim savjetima i uputama pomagao prilikom izrade ovoga rada, te na njegovom uloženom vremenu, trudu i ukazanom povjerenju.

Veliko hvala želim izraziti svojoj obitelji koja je vjerovala u mene i pružila mi beskrajnu podršku tokom studiranja, te prijateljima i kolegama koji su bili uz mene kroz cijeli studij i učinili ga ugodnim i kvalitetnijim.

SAŽETAK

U radu se obrazlažu učinkoviti sustavi nadzora vlage u agrikulturi. Agrikultura jedna je on najstarijih i temeljnih djelatnosti koja je bitna za postojanje ljudske rase. Od samih početaka sve do današnjeg dana konstantno pokušavamo dobiti najbolju moguću kvalitetu svježeg voća, povrća, žitarica itd.... Za dobivanje najboljih usjeva potrebno je prilagoditi niz parametara gdje je jedan od glavnih faktora količina vlage u tlu koja može ovisiti o raznim atmosferskim uvjetima kao što su: količina padalina, temperatura zraka, količina sunčevog zračenja, podzemnih pritoka, vrsta tla itd... U tu svrhu predložen je sustav nadzora temeljen na programibilnom logičkom upravljaču i senzoru vlage.

Ključne riječi: sustav nadzora, agrikultura, vlaga, tlo, usjevi

SUMMARY

The paper work explains effective moisture control systems in agriculture. Agriculture is one of the oldest and most fundamental activities that is very important for the existence of the human race. From the very beginning we are constantly trying to get the best possible quality of fresh fruits, vegetables, cereals, etc.... To get the best conditions it is necessary to adjust a number of parameters where one of the main factors is the amount of soil moisture in the soil which may depend on various atmospheric conditions such as: rainfall, air temperature, amount of solar radiation, groundwater tributaries, soil type, etc... For this purpose, a monitoring system based on a programmable logic controller and a moisture sensor was proposed.

Keywords: monitoring system, agriculture, moisture, soil, crops

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Pregled literature	3
2.1 Vlaga	3
2.2 Metode određivanja količine vlage	5
2.2.1 Metoda vizualnog određivanja količine vlage.....	5
2.2.2 Gravimetrijska metoda određivanja vlage.....	6
2.2.3 Količine vlage u tlu.....	7
2.2.4 Metoda određivanja količine vlage u tlu uz pomoć senzora.....	8
2.2.4.1 Sustav određivanja vlage tenzinometrom	11
2.2.4.2 Određivanje vlage termalnim senzorom.....	13
2.2.4.3 Određivanje vlage putem Globalnog navigacijskog satelitskog sustava (GPS).....	15
3. Sustav mjerenja električne vodljivosti	17
3.1 Watermark senzor.....	21
3.2 Volumetrijski (Vitroplast) senzor.....	23
4. Sustav za mjerenje vlage.....	24
4.1 Siemens LOGO!.....	24
4.2 Komponente sustava	24
4.2.1 LOGO! logički kontroler	24
4.2.2 LOGO! Power napajanje.....	26
4.2.3 Pretvarač napona	27
4.2.4 Komparator i senzor vlage.....	28
4.3 Rad sustava	29
4.4 Mjerenja i rezultati	33
5. Zaključak	36
6. Literatura	37
7. Popis slika	38
8. Popis tablica	39

POPIS OZNAKA I KRATICA

OZNAKA	OPIS	JEDINICA
rast	Rast biljke na tjednoj razini	mm/tj
vlaga	Količina vlage u tlu	%
temperatura	Temperatura isušivanja tla	°C

KRATICA	OPIS
PLC	Programmable logic controller
CSV	Comma-separated values file

1. Uvod

Uvođenjem novih standarda života težimo ka najboljoj kvaliteti proizvoda u svim područjima ljudskih djelatnosti, a ponajviše o kvaliteti agrikultura. Od samih početaka sve do danas konstantno pokušavamo dobivati najbolju moguću kvalitetu svježeg voća, povrća, žitarica, itd...

Praćenje vlažnosti tla uvelike je uznapredovalo zadnjih nekoliko godina te nam je omogućilo otvoriti vidike ka znanstvenom razumijevanju vlage u tlu.

Razvoj ove znanstvene djelatnosti pokrenuli su znanstvenici iz raznih područja ljudskih djelatnosti što značajno komplicira suradnju, komunikaciju i razvoj ovog područja.

Današnji standardi navodnjavanja teže ka tome da se što točnije odredi potrebna količina vode potrebna za nesmetan rast i razvoj bez smanjenog prinosa.

Precizne informacije o vlažnosti tla daljnje procese navodnjavanja učiniti će razumljivijima i jeftinijima što će uvelike smanjiti potrošnju vode.

Mjerenje vlažnosti tla jedna je od važnih karakteristika u svrhu procjene poplava i praćenja sušnih perioda.

Da bi se to postiglo postoji nekoliko načina određivanja vlage u tlu:

Vizualna metoda jedna je od prvih metoda, a zasniva se na vizualnom promatranju promjena na samom tlu. Druga po redu bila bi gravimetrijska metoda koja uz pomoć prikupljenih uzoraka i laboratorijske analize daje uvid u količinu vlage tla.

Vrlo slična je i matematička metoda koja uz pomoć raznih konstanti i formula određuje količinu vlage. Svaka formula za izračun bazirana je na drugačijoj metodi te može dati različite vrijednosti za isti promatrani problem.

Krajnja metoda na kojoj se i bazira sam rad je metoda kontrole pomoću senzora u kojoj se razlikuju razni sustavi u ovisnosti na promatrani medij sa kojim radimo tako to može biti vodljivost, dielektrična konstanta, termalne karakteristike radioaktivno zračenje i druge.

Odabir metode ponajviše ovisi o samoj učinkovitosti metode te o samim financijama i potrebama proizvođača. Ovaj rad baziran je na metodama mjerenja vlage pomoću senzora.

U ovom radu će biti opisana svojstva vlage koja su potrebna u daljnjim metodama određivanja vlage. Opisane su razne metode određivanja vlažnosti, te njihova svojstva, način rada i učinkovitost. Dalje će biti opisan sustav električne vodljivosti i karakteristike pojedinih elemenata sustava. Na poslijetku će biti opisane komponente potrebne za realizaciju ovakvog sustava, prikupljanje podataka i mjerenja, te obrada rezultata metode za koju sam smatrao da je najučinkovitija.

2. Pregled literature

2.1 Vlaga

Vlaga se definira kao količina vode ili vodene pare koja je sadržana u nekom sredstvu bez obzira na njeno agregatno stanje.

Vlažnost tla jedan je od osnovnih svojstava koje se određuje unutar laboratorija za svaki pojedini uzorak i tip tla iz razloga što voda ima vrlo značajan utjecaj na njegovo mehaničko ponašanje (Szavits-Nossan, 2014).

Nedovoljna količina vlage u tlu može dovesti do smanjenog prirasta usjeva (plodova). Ukoliko je količina vlage u tlu preniska duži period dolazi do gubitka usjeva (plodova), a i do samog zastoja u rastu biljke koje može ići sve do uvenuća.

Ukoliko je vlaga u tlu previsoka dolazi do zastoja u rastu biljke te uvenuća iz razloga što su biljci za rast i razvoj potrebni minerali i plinovi koji se nalaze u tlu. U ovome slučaju u nasadima ili poljima možemo vidjeti vodu kako stoji na površini ili se nalazi već na nekoliko centimetara od površine tla. Ovakva tla su slaba sa mineralima i sprječavaju apsorpciju kisika u tlo koje za posljedicu ima zagušivanje biljke odnosno biljke nemaju sve potrebne uvjete za nesmetani rast.

Redovnom kontrolom vlage u tlu te pravovremenim djelovanjem u vidu navodnjavanja možemo ostvariti maksimalni rast biljke te dobiti najveće moguće usjeve (plodove).

Svaka kultura ima određenu količinu vlage i vode koja joj je potrebna za rast i razvoj vidljivo u Tablici 1:

Obroci navodnjavanja i kritične faze rasta plodovitog povrća

Krastavac	25 mm nakon sadnje; 200 do 250 mm tijekom uzgoja*	Cvatnja i zemetanje plodova; intenzivno plodonošenje
Tikvica	25 mm nakon sadnje; spriječiti isušivanje u kritičnom razdoblju	Cvatnja, zemetanje i razvoj plodova
Patlidžan	25 mm tjedno*	Cvatnja, zemetanje i razvoj plodova
Paprika	25 mm tjedno* (ovisno o tipu tla)	Cvatnja, zemetanje i razvoj plodova
Rajčica	25 mm tjedno* (ovisno o tipu tla)	Cvatnja, zemetanje i razvoj plodova

*Uključujući oborine

Potrebe plodovitog povrća za vodom pri uzgoju na otvorenom

Biljna vrsta	Potrebe za vodom (mm)	Minimum vlažnosti tla (% od PVK)	Obrok navodnjavanja (mm)	Norma navodnjavanja (mm)
Rajčica	450-520	70-80	30-40	250-300
Paprika	530-630	70-85	30	240-300
Krastavac	250-400	70-75-80	20-30	150-200
Lubenica i dinja	400-600	70	30-40	200-250

Tablica 1: Prikaz idealnih parametara za rast tipičnih vrsta bilja u nasadima

Izvor: <https://gospodarski.hr/rubrike/potrebe-plodovitog-povrca-za-vodom/>

2.2 Metode određivanja količine vlage

2.2.1 Metoda vizualnog određivanja količine vlage

Metoda vizualnog određivanja količine vlage zasniva se kako i samo ime kaže na vizualnom proučavanju tla. Ovakav tip određivanja vlage vrlo je nepouzdan te se ne mogu odrediti pouzdani rokovi (vremena) za dodatno navodnjavanje polja ili nasada (Krevh & Dvorski, 2018).

Ovu metodu najčešće koristimo prilikom agrotehničkih operacija koje će se odnositi na obradu tla.

Metoda vizualnog određivanja vlage u tlu primjenjuje se konstantno prilikom svakog dolaska na polje ili ulaska u nasad te je najbolji pokazatelj kvara mjerne opreme ili nemara. Ukoliko se na vrijeme uoče promjene na tlu moguće je ispraviti nastalu pogrešku te izbjeći nepotrebne gubitke.

Bitno je naglasiti da mjerna oprema može biti u potpunosti ispravna te da su uzrok nepovoljnoj količini vlage nepredviđeni atmosferski uvjeti kao što su prekomjerni sušni ili kišni periodi (Slika 1).



Slika 1: Prikaz nedovoljne i prekomjerne količine vlage u tlu

Izvori: <https://s3.amazonaws.com/dynamic.wizer.me/uploads%2F389685268-1556441099004-sabito+tlo.jpg>

<https://i0.hippopx.com/photos/292/947/688/cracked-earth-drought-dry-soil-the-dry-ground-thumb.jpg>

Prednost vizualnog pregleda je vrlo brzo uočavanje i aproksimiranje trenutnog stanja prije vršenja neke djelatnosti, a nedostatak je manjak pouzdanosti, točnosti i nemogućnost detaljnog pregleda ispod površine zemlje.

2.2.2 Gravimetrijska metoda određivanja vlage

Gravimetrijska metoda određivanja vlage u tlu jednostavan je fizikalni proces koji se bazira na prikupljanju uzoraka tla (Krevh & Dvorski, 2018).

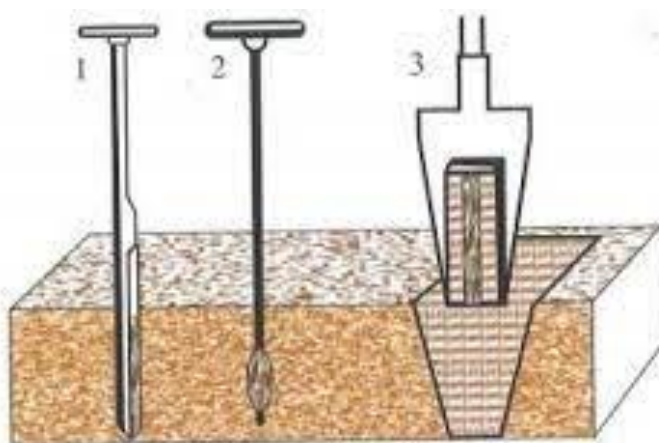
Gravimetrijska metoda naziva se još i metoda sušenja te je jedna od izravnih metoda mjerenja vlažnosti a bazira se na isušivanju tla.

Ova metoda vrlo je precizna, a vlaga se određuje na način da se prikupljenoj količini tla odredi masa kako bi se na kraju procesa mogli usporediti ulazni i izlazni podatci. Određena količina tla se stavlja u posudicu te se zagrijava na 105°C dok sva voda iz tla ne ispari. Razlika u masi tla prije i nakon procesa zagrijavanja predstavljat će vodu koja se nalazila u tlu (Krevh & Dvorski, 2018).

Uvrštavanjem mase isparene vode u formulu dobiva se količina vlage izražena u postocima. Za pretvorbu težinskih postotaka u volumske postotke potreban je podatak o volumnoj gustoći tla koji se određuje unutar laboratorija.

$$\text{količina vlage} = \frac{\text{težina mokrog tla} - \text{težina suhog tla}}{\text{težina suhog tla}} * 100 [\%]$$

Zbog potrebe za velikim brojem uzoraka (Slika 2) ova metoda nije praktična za svakodnevno korištenje te se koristi periodički. Najčešća primjena ove metode je prilikom provjere mjerne opreme te određivanja etalona (Ancelj, 2020).



Slika 2: Prikaz uzimanja uzorka tla za Gravimetrijsku metodu

Izvor: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/gfv%3A559/datastream/PDF/view>

2.2.3 Količine vlage u tlu

Matematički proračun količine vlage u tlu sastavljen je od referentnog računanja količine vlage.

U praksi postoji nekolicina matematičkih formula za dobivanje referentnih vrijednosti vlage gdje sama pouzdanost proračuna ovisi o broju parametara preko kojih dobivamo vrijednost vlage u tlu.

Jedna od najpreciznijih i najpouzdanijih formula jest Penman-Monteith-ova formula (Krevh & Dvorski, 2018) koja je po svojoj jednostavnosti i preciznosti pogodna je za izračune koji se baziraju na svakodnevnoj bazi.

Za proračun nam je potrebna nekolicina parametara kao što su: temperatura zraka, vlaga zraka, solarno zračenje, brzina vjetra, količina oborina, koeficijent potrošnje tekućine (vlage) za uzgajanu kulturu, vodeni kapacitet tla i količina dostupne vode za navodnjavanje.

Ubacivanjem tih parametara u formulu dobivamo količinu vode koja se gubi sa promatranog tla uslijed atmosferskih uvjeta i razvoja uzgajane kulture.

Zbog razvoja uzgajane kulture mijenja se i njena potreba za potrebnom količinom potrošnje tekućine te se iz tih razloga proračun treba ponavljati minimalno uslijed promjene stupnja razvoja uzgajane kulture (Krevh & Dvorski, 2018).

$$D_V = D_{Vpd} + ET_c - O_{ef} - I_{rr}$$

Gdje je:

D_V – deficit vode

D_{Vpd} – deficit vode prethodnog dana

O_{ef} – efektivna količina oborina

I_{rr} – količina navodnjavanja

ET_c – koeficijent potrošnje vode za uzgajanu kulturu

2.2.4 Metoda određivanja količine vlage u tlu uz pomoć senzora

Senzori su tehnički pretvornici odnosno osjetila koja reagiraju na fizikalne veličine te ih pretvaraju u nama lakše čitljivije električne signale.

Kao takve podijelili smo ih u više skupina (Kovačić, 2019):

- Prema načinu napajanja:
 - Aktivni- za svoj rad trebaju pobudni signal
 - Pasivni-bez pomoćnog napajanja generiraju fizikalnu veličinu
- Prema mjernoj veličini:
 - Toplinski
 - Radijacijski
 - Otpornički
 - Kemijski, itd...
- Prema izlaznoj veličini:
 - Digitalni
 - Analogni
- Prema načinu pretvorbe signala:
 - Piezoelektrični
 - Fotoelektrični
 - Termoelektrični
- Vrste senzora:
 - Kapacitivni
 - Magnetski
 - Optički
 - Pneumatski
 - UZV
 - Otpornički, itd...

Senzori postaju vrlo bitna stavka u svakodnevnom životu te gotovo nema područja industrije u kojemu se ne javlja potreba za primjenu istih. Razvojem senzora težimo dobiti dimenzijski što manje senzore koji će imati vrlo visoke performanse u vidu mjernih područja, preciznosti i tolerancije.

Mjerno područje predstavlja granicu minimalne i maksimalne vrijednosti detekcije senzora, a razlika minimalne i maksimalne vrijednosti predstavlja mjerni opseg senzora.

Preciznost i tolerancija dvije su vrlo slične stavke koje ovise jedna o drugoj sa povećanjem preciznosti raste i sama tolerancija senzora. Preciznost nam ukazuje koliko točno možemo izmjeriti nekakvu promatranu veličinu (1,0.1,0,001 ...) dok tolerancija govori o dozvoljenom odstupanju od izmjerenih vrijednosti (+-0.1,0.01...).

Određivanje vlage pomoću senzora jedna je od najraširenijih suvremenih metoda, a ponajviše ju odlikuju jednostavnost, brzina odziva i brzina prikupljanja podataka.

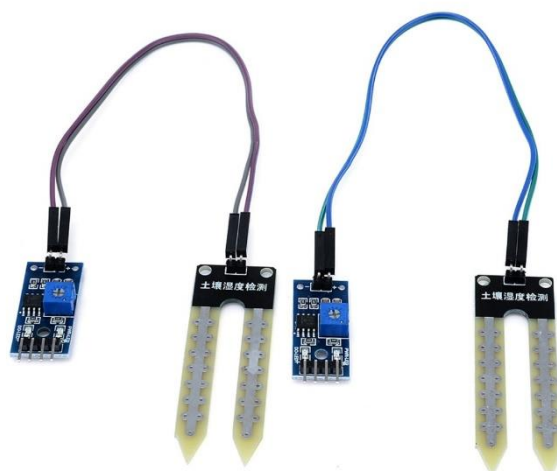
Učinkovitost ove metode ponajviše ovisi o tipu sustava koji koristimo. Odabirom željenog sustava koji zadovoljava naše standarde bitno je koristiti adekvatno propisanu opremu za izvođenje odabranog sustava. Korištenje opreme niže kvalitete odnosno drugih proizvođača može dovesti do smanjenja učinkovitosti odnosno kvalitete rada sustava.

Vlagu u tlu možemo mjeriti uz pomoć senzora (Slika 3) promatrajući različite fizikalne veličine koje mogu biti : Sila, vodljivost, dielektrična konstanta, termalne karakteristike, mjerenjem zračenja i sl.

Za svaku promatranu fizikalnu veličinu postoje sustavi sa adekvatnim sensorima koji su:

- Sustav određivanja vlage tenzinometrom (princip mjerenja sile)
- Sustav određivanja vlage elektrometrijskom metodom
- Sustav određivanja vlage mjerenjem dielektrične konstante
- Sustav određivanje vlage mjerenjem termalnih karakteristika
- Sustav određivanja vlage spektraknom refleksijom
- Sustav određivanja vlage mjerenjem radioaktivnog zračenja

Ovaj rad proučavati će sustav određivanja vlage elektrometrijskom metodom odnosno određivanje vlage mjerenjem električne vodljivosti.



Slika 3: Prikaz određivanja vlage pomoću senzora

Izvor: <https://brandmaded.news/img/products/29995-2-komada-precizan-senzor-za-detekciju-vlage-tla-mikro-hygrometer-detektor-sa-zicama-mayitr.jpg>

2.2.4.1 Sustav određivanja vlage tenziometrom

Određivanje količine vlage u tlu uz pomoć tenziometra odnosno mjerenjem količine sile u tlu moguće je uspostaviti pomoću senzora sile sa kojom se promatra količina sile kojom se voda zadržava u tlu.

Primjer ovakvog senzora je irrometar koji se postavlja uz korijenje promatranog bilja (Slika 4).



Slika 4: Prikaz postavljanja irrometra

Izvor: <https://www.linkedin.com/company/irrometer>

Irrometar je jednostavan mehanički senzor koji se sastoji od vakumiranog zupčanika, poroznog vrha (sitne pore ili sitni otvori) i zatvorene cijevi koja je potpuno napunjena vodom.

Dolaskom sušnih perioda javlja se potreba za povećanom količinom vode odnosno vlage. Irrometar očitava smanjenu količinu vlage na način da voda iz zatvorene cijevi kroz porozni vrh polako izlazi.

Smanjivanjem vode u spremniku stvara se podtlak koji za posljedicu ima rotaciju zupčanika na kojemu kasnije očitavamo vrijednosti. Što je manje vlage u tlu stvara se veći podtlak i dobivaju se znatno veće vrijednosti. Kod pojave vlažnog tla odnosno dolaskom do navodnjavanja podtlak koji je nastao u cijevi se smanjuje, voda se uz pomoć poroznog vrha vraća u zatvorenu posudu te zupčanik pokazuje manju vrijednost.

Ukoliko govorimo o sustavu (Slika 5) koji će softverski bilježiti podatke minimalnih, maksimalnih i srednjih vrijednosti u promatranom periodu na zupčanik se instalira enkoder koji će pokazivati kutni zakret osovine (zupčanika).



Slika 5: Prikaz softverskog irrometra

Izvor: https://megadepot.com/assets_images/product/image.640x640/irrometer/206-RSU-V.jpg

U ovisnosti o proizvođaču koji definira mjerno područje zakretanja zupčanika softverski se preračunava broj okretaja odnosno mjerni opseg zakreta osovine na način da se podjeli sa 100%. Dobiveni broj govori koliki zakret enkodera odgovara 1% vlage. Daljnjom programskom logikom sustav bilježi vrijednosti za željene periode. Umjesto enkodera postoje i sustavi koji su opremljeni sa tlačnim senzorom (Slika 5) u tome slučaju se ne mjeri količina kutnog zakreta već količina nastalog podtlaka (Vukadinović, 2021). Logika preračunavanja vrši na isti način kao i kod enkoderskog sustava.

Irrrometar jedan je od uređaja koji mjeri cijelo polje vlažnosti od suhog do potpuno vlažnog tla (0-100% vlažnosti), a najpouzdaniji je u područjima više razine vlage.

Glavna prednost ovakvoga sustava je niska cijena i jednostavnost rukovanja bez potrebe za prevelikom edukacijom radnika. Glavni nedostatak ovakvog sustava je izloženost konstrukcije na lom pa je potrebno raditi vrlo pažljivo.

2.2.4.2 Određivanje vlage termalnim senzorom

Određivanje količine vlage u tlu uz pomoć termalnih senzora bazira se na promatranju toplinske (termalne) inercije (Sposobnost promatranog objekta da pohrani i preda primljenu toplinsku energiju u potpunosti) (Zhang & Zhou, 2016).

Promatranje toplinske inercije u potpunosti je povezano sa količinom vlage u tlu. Definira se kao otpornost na temperaturne oscilacije koje za posljedicu imaju promjenu temperature. Odnosno povećanjem temperaturne inercije temperatura tla manje varira.

Poveznicu između toplinske inercije i količine vlage u tlu možemo odrediti iz promjene temperature tla ili površinske temperature. Izračun toplinske inercije uključuje toplinsku vodljivost tla i toplinski kapacitet tla kao u formuli (Zhang & Zhou, 2016):

$$P = \sqrt{\lambda\varphi C}$$

Gdje je:

λ – toplinska vodljivost tla

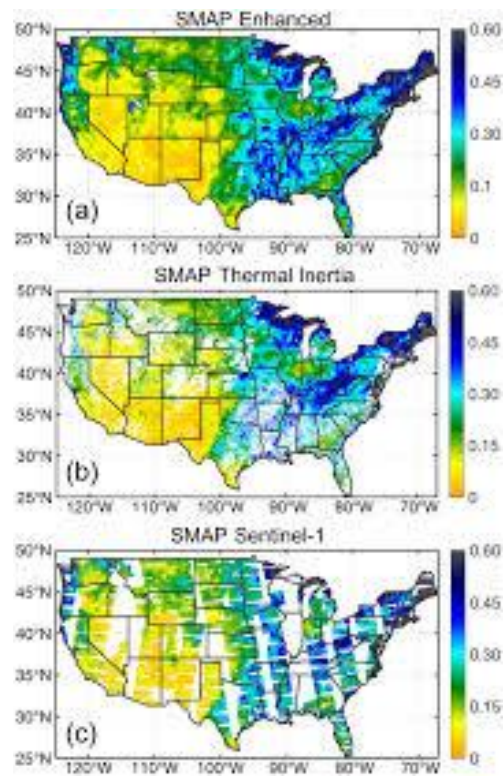
φ – gustoća tla

C – toplinski kapacitet tla

Povećavanjem vlage tla toplinska inercija se povećava u istom omjeru (Slika 6).

Jedan od načina mjerenja je mjerenje toplinskog pulsa na jednoj lokaciji i mjerenja vremena dolaska identičnog pulsa na drugu promatranu (mjerenu) lokaciju.

Vrijeme koje je potrebno da toplina prođe s jedne na drugu lokaciju ovisi o toplinskoj provodnosti tla koja je ovisna o količini vlage u tlu. Ukoliko uzmemo u obzir da je tlo loš provodnik topline i toplinske energije i da su rezultati mjerenja lošiji u odnosu na druge metode ovu metodu koristimo za određivanje vodljivih konstanti tla i kalibracije senzora (Krevh & Dvorski, 2018).



Slika 6: Prikaz predviđanja količine vlage tla u Sjevernoj Americi za 2021. godinu

Izvor: <https://www.ncei.noaa.gov/>

2.2.4.3 Određivanje vlage putem Globalnog navigacijskog satelitskog sustava (GPS)

Gotovo svi sustavi mjerenja količine vlage tla koriste prirodne signale kako bi odredili količinu vlagu tla najčešće uz pomoć osjetila odnosno mjernih sonde. Jedna od novih metoda je određivanje vlage putem Globalnog navigacijskog satelitskog sustava (GPS). Oni koriste GPS prijemnike da bi obrađivali antropogene signale (signali koji su nastali promjenom u okolišu kao posljedica ljudske aktivnosti) (Ochsner et al., 2013).

GPS signali prate putanje između dva tijela. Prva je satelit koji prenosi GPS signal, a drugi je antena koja prima te signale. Jedan dio signala koji putuje izravno od satelita do antene služi za navigacijske i geodetske svrhe. Dok drugi dio signala koje primaju te antene se reflektira od površinu kopna i naziva se : „eng.multipath (višestruki putevi) objavljeno od geodetske zajednice „Georgiadou i Kleusberg, 1988.g.“ (Ochsner et al., 2013).

Ti signali su mikrovalni signali u rasponu pojasa (1.57542 -1.22760 GHz) što je i više nego optimalno za osjet vode odnosno količine vlage u okolišu.

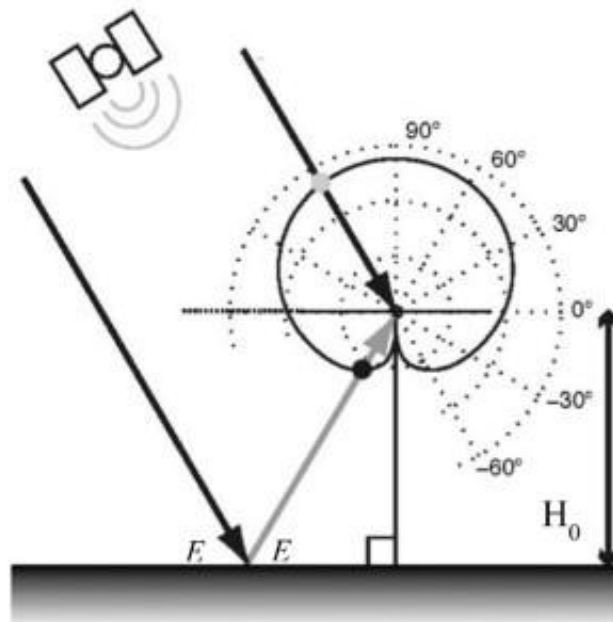
Ukoliko promatramo golo odnosno obrađeno tlo bez posađene agrarne kulture koeficijent refleksije signala od tla ovisiti će o hrapavosti površine i kutu elevacije refleksije signala. (Elevacija - uzdignutost neke točke od horizontalne ravnine odnosno površine zemlje).

Tako reflektirane signale možemo koristiti za procjenu vlažnosti tla.

GPS antene i prijemnike možemo montirati i na avione ali ovakve signale smatramo promatranjem na daljinu. GPS refleksiju možemo mjeriti pomoću antena koje će biti postavljene vrlo blizu površine kopna sa time ćemo promatrajući relativnu tehniku mjerenja refleksije. Ovu metodu često nazivamo i interferometrijska reflektometrija (GPS-IR eng. Global Positioning System interferometric reflectometry) zbog korištenja smetnji odnosno izravnih i reflektiranih signala.

Osjetno područje ovakvih senzora ovisi o visini antene iznad tla i kutu elevacije satelita koji se koriste u analizi. Povećanjem kuta elevacije povećava se zrcalna refleksija te

se antena pomiči bliže tlu. Tipična geodetska visina je 2m, a središte osjetilnog područja varira od 25m nadmorske visine sa kutom od 5° do 5m pod kutom elevacije od 30° (Slika 7). Veće područje uzorkovanja može se postići podizanjem antene na visinu od 100 m, sve iznad te visine je komplicirano za GPS kodove. Ova metoda koristi više od 30 satelita koji će u ovisnosti o svojim orbitalnim karakteristikama mjeriti refleksije. Za visinu antene od 2 m prosječno se promatra područje od približno 1000m^2 . Za većinu uvjeta ova faza pruža dobru procjenu prosječne vlažnosti u gornjih 5 cm tla. Relativna iznimka je kada vrlo vlažno tlo prekriva suho tlo, na primjer neposredno nakon kratkotrajnih kišnih oluja kada se područje vlaženja nije proširio na približno 5cm.



Slika 7: Prikaz geodetske visine antene i kuta elevacije signala

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Geometric-relationship-of-the-direct-signal-and-reflected-signal-8-A-typical-geodetic_fig13_265913058

3. Sustav mjerenja električne vodljivosti

Sustavi koji se baziraju na metodi mjerenja električne vodljivosti jedni su od najpouzdanijih sustava, a gotovo trenutno određuju količinu vlage.

Građa ovakvih sustava vrlo je jednostavna te se sastoji od senzora za očitavanje količine vlage i mikroupravljača koji služi za prikupljanje i skladištenje podataka.

Postoje dva tipa senzora koji se koriste prilikom mjerenja vlage pomoću električne vodljivosti, a to su watermark senzor (gipsani senzor)(Slika 8) i volumetrijski senzor (vitroplast senzor – Vitroplast je visokokvalitetni materijal sastavljen od epoksid smole i staklenog platna otporan na temperature sa niskim faktorom upijanja vlage) (Tehnoguma, 2010).



Slika 8: Primjer Watermark senzora

Izvor: <https://5.imimg.com/data5/SELLER/Default/2022/1/CV/RO/ZL/41679765/soil-moisture-sensor-meter-250x250.jpeg>

Princip rada senzora je isti: konstrukcijski imamo dvije elektrode (Slika 9) koje su odvojene na određenu udaljenost. Jedna elektroda je predajna dok je druga prijemna. Promatranjem električne vodljivosti odnosno sposobnosti tijela da propušta (provodi) električnu struju mjerimo promjenu otpora koja će se dogoditi. Kada na predajnoj elektrodi dovedemo napon struja proteče kroz vlažno tlo te zatvori strujni krug preko prijemne elektrode. U navedenoj formuli možemo vidjeti ovisnost električne vodljivosti o promjeni električnog otpora.

Mjerna jedinica električne vodljivosti je Simens [S] (Galović & Srdelić, 2022).

$$G = 1/R \text{ [S]}$$



Slika 9: Primjer volumetrijskog senzora

Izvor: <http://agroszenzor.hu/wp-content/uploads/2015/08/10hs-decagon-devices.jpg>

Promatranjem same električne vodljivosti ne mogu se dobiti vrlo precizni podatci kojima bi utvrdili preciznu količinu vlage u tlu.

Razvijanjem ovih sustava i ove metode potrebno je u obzir uzeti električnu provodnost materijala (specifičnu električnu vodljivost) koja jednako tako opisuje svojstva tvari da provode električnu struju, a recipročna je električnom otporu.

Mjerenjem električne vodljivosti odnosno otpora uz poznatu duljinu vodiča između elektroda koji je u ovome slučaju promatrani tip tla i površine poprečnog presjeka između elektroda dobivamo električnu provodnost vidljivo u formuli.

$$\sigma = \frac{G * l}{P}$$

Gdje su:

σ – *Specifična električna vodljivost* $\left[\frac{S}{m} \right]$

G – *električna vodljivost* [S]

l – *duljina između elektroda* [m]

P – *površina između elektroda* [m²]

Tipična specifična vodljivost za pojedina tla vidljiva je u (Tablica 2) na temperaturi od 20°C.

Material	Tla	Električni otpor (Ωm)	Električna provodnost (mS/m)
Vrsta tla	Ilovača	1 - 100	10 - 1000
	Glina	4 - 40	25 - 250
	Gornji sloj tla	40 - 200	5 - 25
	Tlo bogato glinom	100 - 400	2.5 - 10
	Pjeskovito tlo	400 - 4000	0.25 - 2.5
	Rastresito tlo	1000 - 10^5	0.01 - 1
Vrsta gline	Kaolinit	50 - 5000	0.2 - 20
	Montmorilonit	4 - 15	67 - 250

Tablica 2: Prikaz otpornosti i električne provodnosti tla

Izvor: [https://www.researchgate.net/profile/Me-](https://www.researchgate.net/profile/Me-Best/publication/252476189/figure/tbl3/AS:393164671209485@1470749170817/Electrical-conductivity-EC-characteristics-of-some-major-soils-and-clays-14.png)

[Best/publication/252476189/figure/tbl3/AS:393164671209485@1470749170817/Electrical-conductivity-EC-characteristics-of-some-major-soils-and-clays-14.png](https://www.researchgate.net/profile/Me-Best/publication/252476189/figure/tbl3/AS:393164671209485@1470749170817/Electrical-conductivity-EC-characteristics-of-some-major-soils-and-clays-14.png)

Tablične vrijednosti dobivene su u visoko kontroliranim laboratorijskim uvjetima Gravimetrijskom metodom ili drugim sličnim metodama.

U gore navedenom tekstu ovakvi tipovi referentnih tablica rade se za standardne laboratorijske uvjete pri temperaturi od 20°C. Iz razloga što na poljima prevladavaju atmosferski uvjeti te su senzori izloženi raznim temperaturama i padalinama.

Vrijednosti koje bi dobivali mjerenjem vlage bi odstupali od stvarnih vrijednosti ovisno o promjeni temperature. Poznavanjem referentnih vrijednosti električne provodnosti odnosno električnog otpora na 20°C možemo izračunati temperaturni koeficijent otpora.

Iz razloga što je temperatura veličina o kojoj ovise otpor vodiča i električna otpornost vrlo je bitna stavka pri određivanju količine vlage na atmosferskim uvjetima.

Temperaturni koeficijent otpora jednak je relativnoj promjeni otpora pri promjeni temperature za 1 K. Temperaturni koeficijent otpora je karakteristika materijala te se kao takva mijenja s temperaturom u temperaturnom području 0-100°C njegova vrijednost se promatra kao konstanta za vrlo precizne rezultate potrebno ga je konstantno proračunavati.

Formula za proračun temperaturnog koeficijenta zadana je sljedećim izrazom (Galović & Srdelić, 2022):

$$\alpha = \frac{1}{\Delta T} * \frac{\Delta R}{R}$$

Pri čemu je:

α – Temperaturni koeficijent otpora [K^{-1}]

ΔT – Promjena temperature [K^{-1}]

ΔR – Promjena otpora usljed promjene temperature [Ω]

R – Otpor pri početnoj temperaturi [Ω]

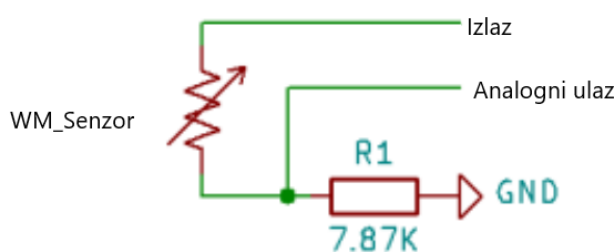
Periodičnim izračunom temperaturnog koeficijenta dobivamo znatno precizniju vrijednost električne vodljivosti i provodnosti a samim time i preciznost otpora preko kojega promatramo količinu vlage u tlu.

3.1 Watermark senzor

Watermark senzori elektronički su uređaji koji preko mjerenja električnog otpora očitavaju količinu vlažnosti tla.

Za mjerenje otpora unutar senzora potrebno ga je u seriju spojiti sa odgovarajućim otporom. Jedna od vrijednosti otpora je 7870 Ω (Slika 10). Korištenjem standardnih vrijednosti napajanja 12-24V možemo očitati vrijednost otpora na analognom ulazu ili ju proračunati prema formuli (Irrometer, 2015).

$$R = 7870 * (V_s - A_1) / A_1$$



Slika 10: Prikaz spajanja Watermark senzora

Izvor: <https://www.irrometer.com/200ss.html>

Vodeni potencijal odnosno količina vlage u tlu mjeri se u kilo Paskalima (kPa) te se najčešće nalazi u rasponu od 0-200 KPa. Za vrijednost od 10-100 KPa smatramo da je sustav linearan iz razloga što mjerene vrijednosti ne odstupaju uslijed promjene temperature pa ga promatramo kao konstantu. Za promatranje ne linearnih sustava koji su u rasponima od 0-10 i 100 na više KPa upotrebljava se formula koju je izmislio Dr.Clinton Shock te kao takva daje preciznu viziju ovakvih sustava (Irrometer, 2015).

$$\text{kPa} = (-3.213 * R - 4.093) / (1 - 0.009733 * R - 0.01205 * T)$$

Gdje je :

R-vrijednost mjerenog otpora senzora [Ω]

T- temperatura [°C]

Bitno je naglasiti da vrijednost otpora potpuno vlažnog senzora iznosi 550 Ω pri temperaturi od 24°C te da senzor nije potrebno kalibrirati za svaki pojedini tip tla (Irrrometer, 2015).

Ovakav tip senzora nije osjetljiv na pH vrijednosti tla, temperaturu tla i tipove tla (Krevh & Dvorski, 2018).

Proučavanjem vrijednosti vlage tla od 0-200 KPa možemo tlo podijeliti u nekoliko skupina (Krevh & Dvorski, 2021):

0 – 10 KPa = Tlo sa dovoljnom količinom vode.

10 – 30 KPa = Tlo sa dovoljnom količinom vode za nesmetan rast i razvoj biljke (osim kod pjeskovitih tla, kod kojih se na oko 30 KPa počinje javljati deficit vode).

30 – 60 KPa = Idealno vrijeme za početke navodnjavanja (osim kod teških tla).

60 – 100 KPa = Vrijednost za početak navodnjavanja teškog tla.

100 – 200 KPa = Pre suho tlo.

3.2 Volumetrijski (Vitroplast) senzor

Volumetrijski senzori su tipovi senzora koji dielektričnu vodljivost tla pretvaraju u količinu vlage.

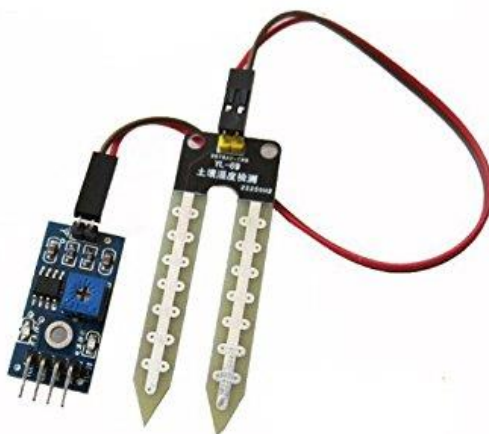
Konstruktivski su sastavljeni od dvije elektrode koje se nalaze između slojeva vitroplasta (Slika 11) sa kojim su dodatno izolirane od dodira sa tlom.

Glavna prednost ovih senzora je što mogu ostati unutar tla cijele sezone (godine) bez negativnih utjecaja na mjerene rezultate.

Kao što i samo ime kaže volumetrijski senzori mjere električnu vodljivost preko određenog volumena koji ovisi o građi odnosno veličini senzora i mjerene površine nasada. Volumeni tla u kojima senzor mjeri vlagu kreću se između 0.3l i 1l (Krevh & Dvorski, 2018).

Kada se radi o manjim nasadima i plastenicima koriste se manji senzori volumena 0.3 -0.5l dok su nešto veći senzori primjereniji za nadzor vlage na velikim otvorenim površinama.

Ovakav tip senzora standardizirao je već unaprijed kalibrirane parametre za većinu standardnih tla.



Slika 11: Prikaz Volumetrijskog senzora obloženog vitroplastom

Izvor: https://images.tokopedia.net/img/cache/900/product-1/2019/10/4/454072/454072_61f3deea-3bcc-4e0a-9d93-bb883befe40e_342_342

4. Sustav za mjerenje vlage

4.1 Siemens LOGO!

Za izradu programa pomoću kojega radi ovaj sustav koristi se program LOGO! Soft Comfort od tvrtke Siemens. Program pruža odličnu podršku u području manjih automatiziranih projekata i operacija. U izradi ovoga rada koristila se verzija 8.2..

Izrada programa moguća je korištenjem funkcijskih blokova uz brojne opcije poput uzimanja gotovih funkcija i njihove implementacije povlačenjem u radni prostor ili promjenom parametara. Ovaj program omogućava slanje programa na fizički uređaj ali i učitavanje podataka sa uređaja na računalo (dvosmjerna komunikacija). Za potrebe ovoga rada – komunikacija se vršila pomoću mrežnog (LAN) kabla.

Program sadržava osam osnovnih funkcija i specijalne funkcije. Specijalne funkcije su: 14 vremenskih funkcija (eng. timer), 3 usporedne funkcije (eng. counter), 13 analognih, jedna za praćenje podataka i osam raznovrsnih (Siemens, 2019).

4.2 Komponente sustava

Sustav se sastoji od LOGO! logičkog kontrolera, njegovog napajanja, pretvarača napona, komparatora i senzora vlage.

4.2.1 LOGO! logički kontroler

U radu je korišten modul oznake 6ED1052-1MD00-0BA8. Ovaj logički kontroler ili modul sastoji se od osam digitalnih ulaza (od kojih četiri mogu biti korišteni u analognom načinu rada 0 do 10 V). Ima četiri digitalna izlaza koji ne sadržavaju zaštitu od kratkog spoja (vanjska zaštita potrebna). Prednosti ovog modelu su male dimenzije i kompaktnost uz veliki broj ulaza koji se može dodatno povećati sa dodatcima.



Slika 12: LOGO! logički kontroler

Izvor: Autor

Na slici 12 je prikazan korišteni logički kontroler. Vidljivi su priključci za komunikaciju i njegovo sučelje za lokalno upravljanje. Slika 13 prikazuje drugu stranu:



Slika 13: LOGO! logički kontroler – 2

Izvor: Autor

4.2.2 LOGO!Power napajanje

LOGO! Power napajanje omogućava pretvorbu napona sa izvora (230 V) na odgovarajući napon. U ovom slučaju potreban je napon od 24 V. Ovo napajanje je dobar izbor zbog njegovih sposobnosti rada u uvjetima od -20°C do $+70^{\circ}\text{C}$.

Korišten je model 6EP1332-1SH43 koji podržava ulazni napon od 85 do 264 V (izmjenično) ili 110 do 300 V (istosmjerno). Izlaz iz napajanja je odgovarajućih 24 V istosmjerne struje snage 2.5 A.



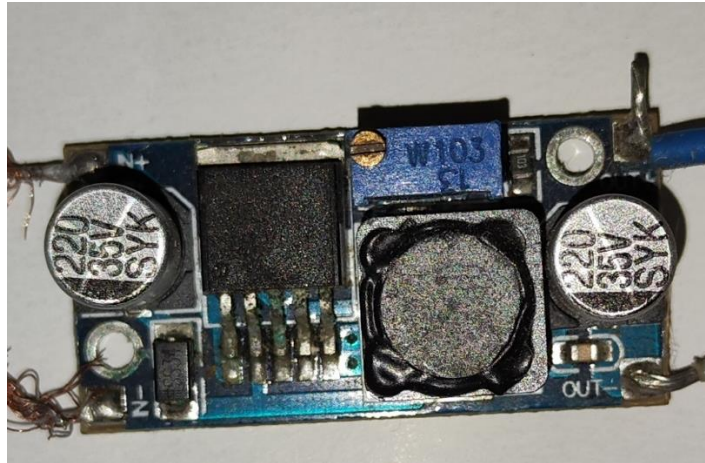
Slika 14: LOGO! Power napajanje

Izvor: Autor

Na slici 14 je prikazano spomenuto napajanje i vidljive su preporučene vrijednosti ulaznog napona od 100 do 240 V izmjenične struje i njegovog izlaza 24 V istosmjerno. Također, ovo napajanje sadrži indikator postignute transformacije (24 V) i finu regulaciju napona od 22.2 do 26.4 V za posebne potrebe.

4.2.3 Pretvarač napona

Za potrebe rada komparatora i senzora vlage – implementiran je i pretvarač napona. On služi kako bi izlazni napon koji šalje LOGO! Power napajanje, pretvorio na 5 V istosmjerno budući da se radi o istosmjernog pretvaraču napona (slika 15).

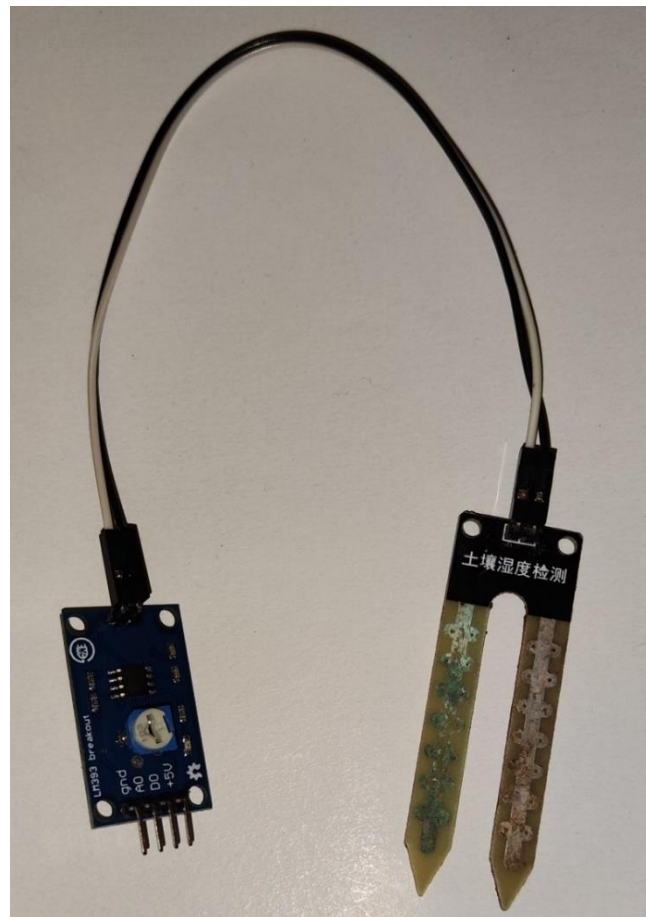


Slika 15: Pretvarač napona

Izvor: Autor

4.2.4 Komparator i senzor vlage

Za potrebe ove simulacije korišten je komparator LM393¹. Jednostavan i kompaktan sklop koji sadržava ulaz od 3 do 5 V, te negativni pol odnosno uzemljenje. Ima dva izlaza – analogni i digitalni (slika 16). Ti izlazi pokazuju visoke ili niske vrijednosti, odnosno 0 ili 5 V ovisno o stanju vode (vlage). Na tom principu on uspoređuje tj. komparira rezultate i šalje informaciju nazad na logički kontroler koji to bilježi.



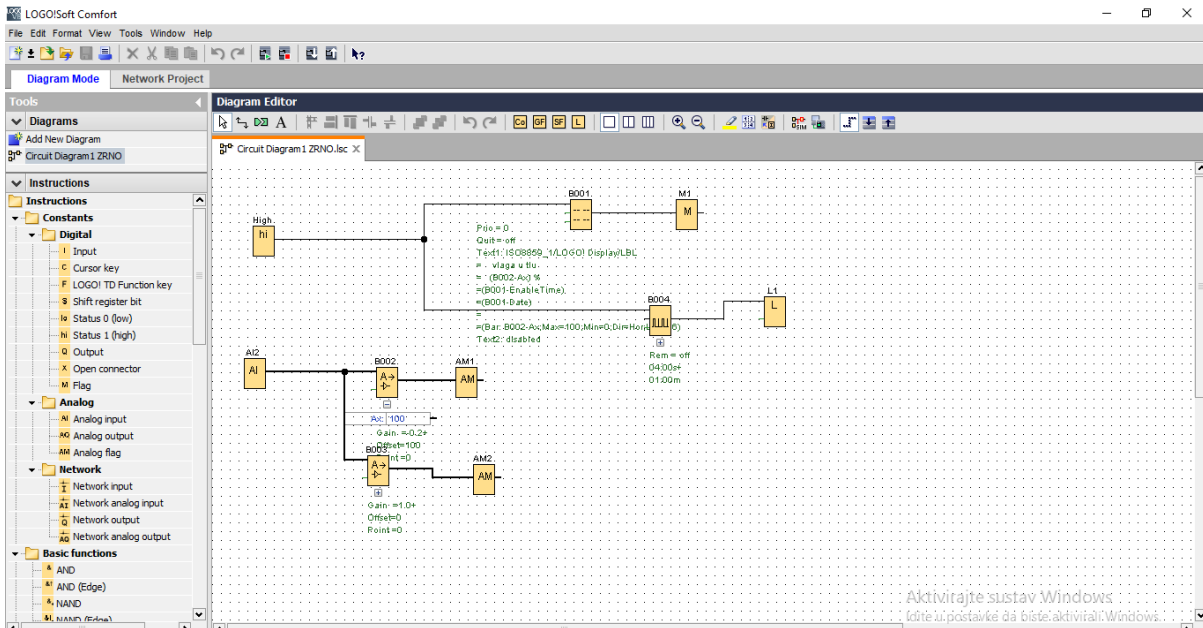
Slika 16: Komparator i senzor vlage

Izvor: Autor

¹ <https://soldered.com/hr/learn/kkm-lm393-breakout/>

4.3 Rad sustava

Kako bi sustav bio funkcionalan potrebno je imati napravljen program prema kojemu on radi:

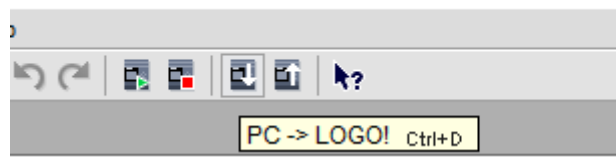


Slika 17: Program rada

Izvor: Autor

Na slici 17 je prikazan program sa svojim funkcionalnim sklopovima.

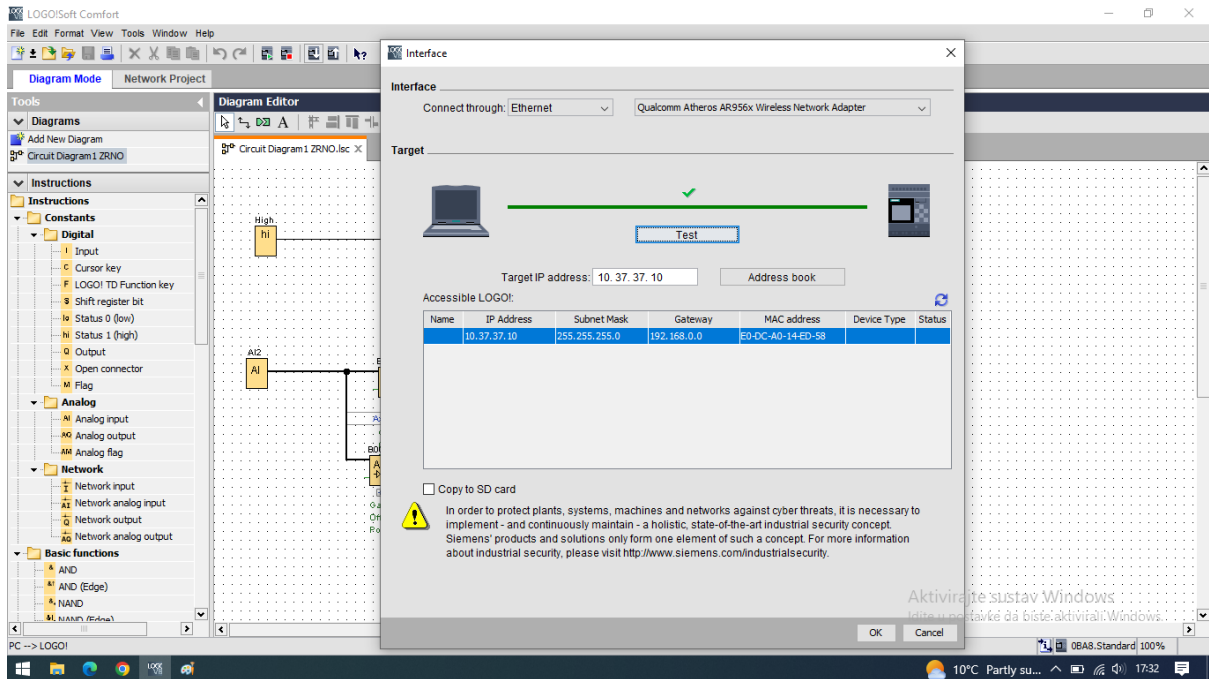
Kada je program napravljen potrebno ga je učitati na logički kontroler:



Slika 18: Učitavanje programa

Izvor: Autor

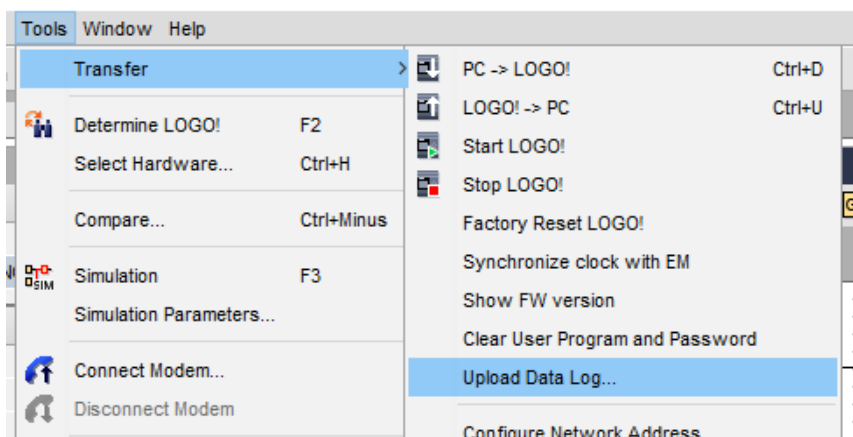
Odabirom opcije sa slike 18 otvara se sljedeće sučelje:



Slika 19: Povezivanje

Izvor: Autor

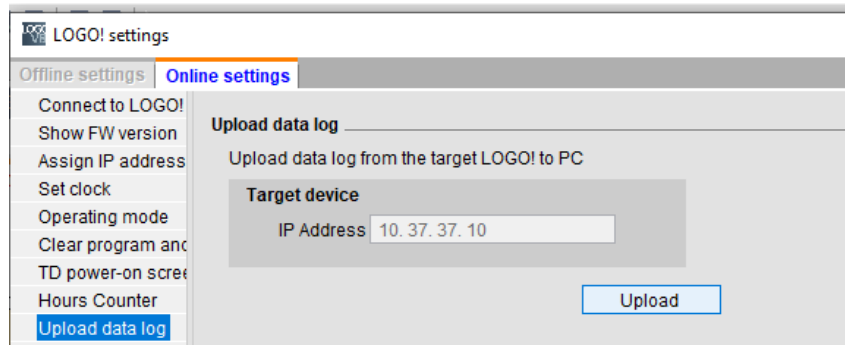
Na prikazanom sučelju potrebno je testirati vezu koja potvrđuje da su računalo i kontroler pravilno povezani te da je moguće uspostaviti komunikaciju. Za ovakav prijenos potrebno je direktno spojiti računalo sa mrežnim kablom.



Slika 20: Prijenos zapisa

Izvor: Autor

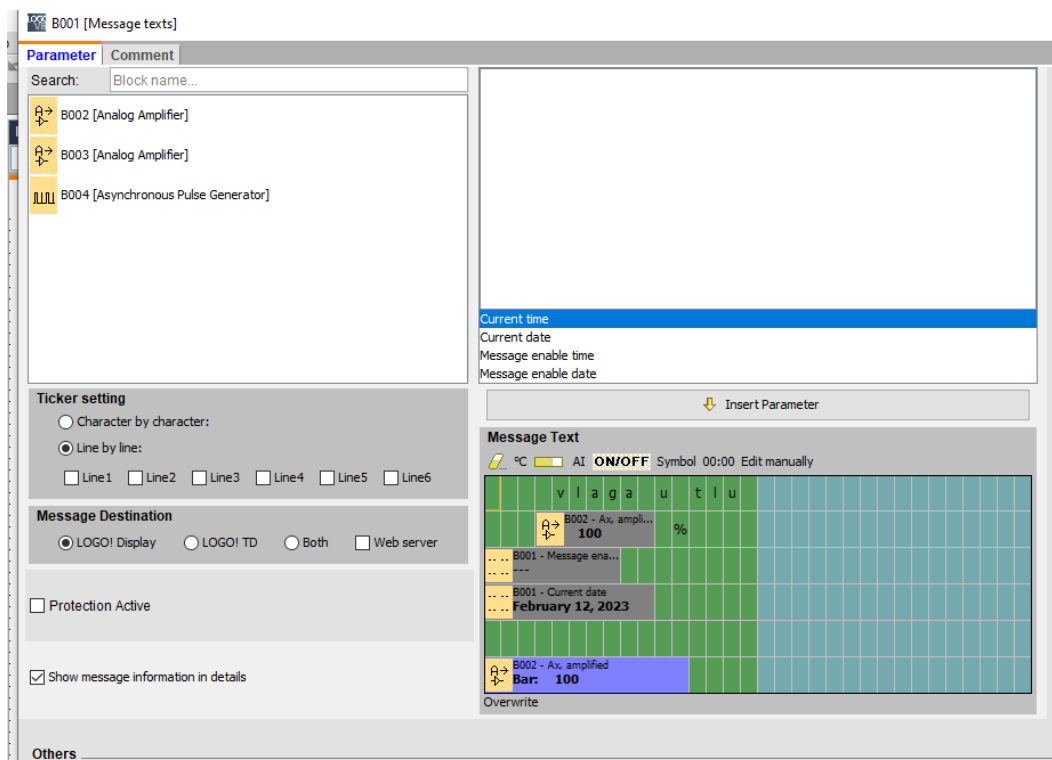
Slika 20 prikazuje potreban odabir učitavanja spremljenih zabilježenih podataka. Nakon toga provjerava se željena IP adresa za komunikaciju i prijenos. Ta adresa odgovara već postojećoj ukoliko je uređaj prethodno povezan (slika 21).



Slika 21: Prijenos zapisa – 2

Izvor: Autor

U samom radu ispisuju se vrijednosti i na ekranu logičkog kontrolera, kao i ostali željeni podatci. Taj dio se definira u samim funkcionalnim sklopovima i moguće ga je nadzirati:



Slika 22: Prikaz podataka

Izvor: Autor

Postavljene vrijednosti potrebno je učitati na uređaj, a samo učitavanje je vidljivo na istome (slika 23).



Slika 23: Učitavanje na uređaj

Izvor: Autor

Definirani podatci za prikaz na uređaju očituju se na sljedeći način (slika 24):

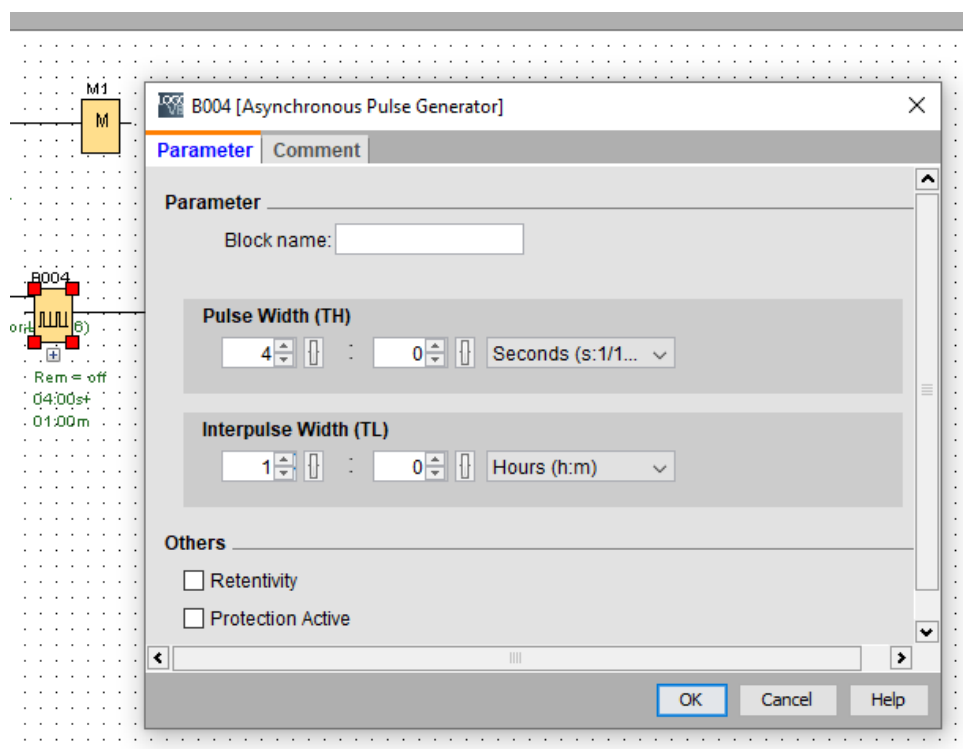


Slika 24: Prikaz podataka na logičkom kontroleru

Izvor: Autor

4.4 Mjerenja i rezultati

Kako bi mjerenje bilo uspješno potrebno je postaviti parametre poput širine (trajanja) pulsa i njegovih razmaka. To definira koliko dugo će se mjeriti vrijednosti i koliko često. Za potrebe ovoga rada odabrano je trajanje pulsa od četiri sekunde svakih sat vremena (slika 25):



Slika 25: Definiranje parametara

Izvor: Autor

Početak mjerenja je moguće započeti na samom uređaju (lokalno) ili preko računala (slika 26).



Slika 26: Izbornik na kontroleru

Izvor: Autor

Nakon provedenom mjerenja i spremanja podataka potrebno je podatke učitati sa logičkog kontrolera na računalo (opisano na slikama 20 i 21). Nakon izvršavanja prijenosa nazad na računalo – spremaju se podatci u CSV (eng. Comma Separated Values) formatu. Taj format omogućava zadržavanje točnih vrijednosti i njihovo uređivanje. Za lakši rad i prikaz dobiveni rezultati su iz CSV formata preneseni u Excel datoteku.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Time,B004.Ta ,B002.Ax,B003.Ax						
2	2022-08-12 09:08:04,	0,	77,	437			
3	2022-08-12 10:08:07,	0,	75,	445			
4	2022-08-12 11:08:11,	0,	72,	445			
5	2022-08-12 12:08:13,	0,	68,	446			
6	2022-08-12 13:08:17,	0,	64,	446			
7	2022-08-12 14:08:20,	0,	60,	445			
8	2022-08-12 15:08:24,	0,	55,	445			
9	2022-08-12 16:08:27,	0,	51,	446			
10	2022-08-12 17:08:29,	0,	49,	446			
11	2022-08-12 18:08:33,	0,	48,	446			
12	2022-08-12 19:08:36,	0,	46,	446			
13	2022-08-12 20:08:40,	0,	81,	446			

a)

	A	B	C	D	E
1	Time	B004.Ta	B002.Ax	B003.Ax	
2	12.8.2022	9:08:04	0	77	437
3	12.8.2022	10:08:04	0	75	445
4	12.8.2022	11:08:04	0	72	445
5	12.8.2022	12:08:04	0	68	446
6	12.8.2022	13:08:04	0	64	446
7	12.8.2022	14:08:04	0	60	445
8	12.8.2022	15:08:04	0	55	445
9	12.8.2022	16:08:04	0	51	446
10	12.8.2022	17:08:04	0	49	446
11	12.8.2022	18:08:04	0	48	446
12	12.8.2022	19:08:04	0	46	446
13	12.8.2022	20:08:04	0	81	446

b)

Slika 27: Usporedba prikaza CSV i Excel

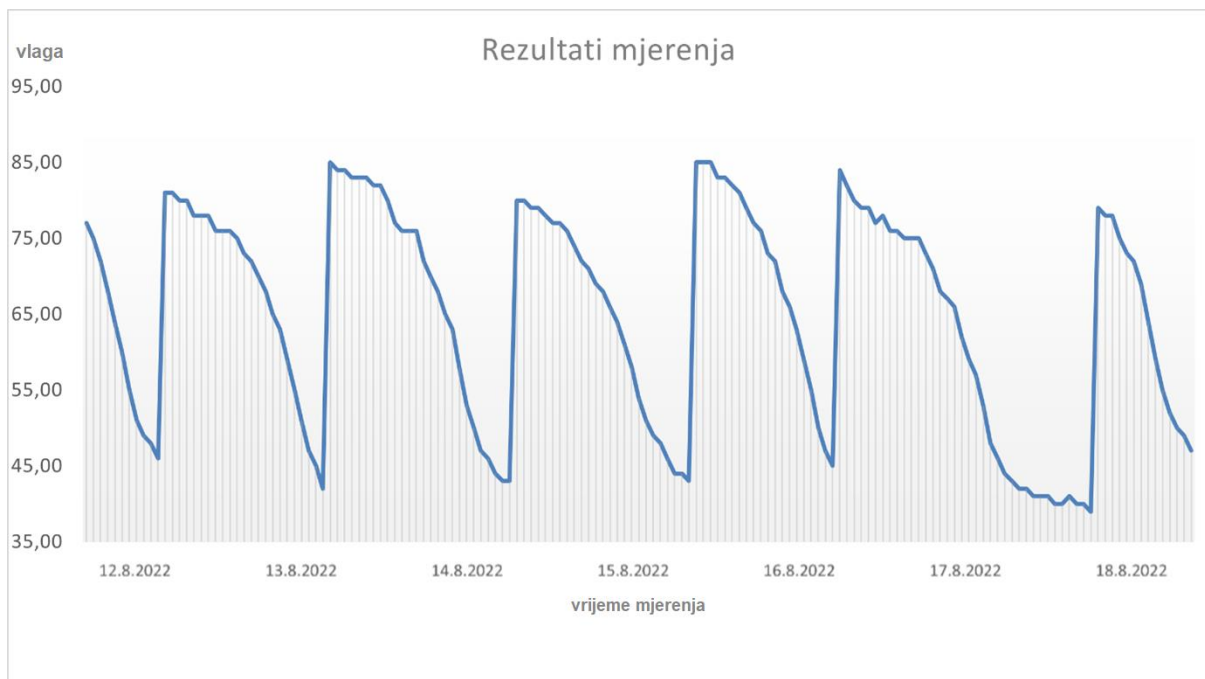
- a) CSV
- b) Excel

Izvor: Autor

Slika 27 jasno prikazuje razliku u formatima datoteka. Kod CSV datoteke podatci su smješteni unutar jedne ćelije, a njihove vrijednosti odvojene zarezom. Nakon spremanja CSV datoteke u standardnu .xlsx Microsoft Excel datoteku, moguće je sortirati podatke. Podatci se sortiraju pomoću definiranja odvajanja sa zarezom, a to omogućava dijeljenje istih u zasebne stupce.

Izmjereno je ukupno 155 zapisa koji datiraju od 12.8. 2022. g. do 18.8. 2022.g. .

Kao što je ranije spomenuto, mjerenja su vršena u razmacima od sat vremena. Dobiveni rezultati su za lakše shvaćanje prikazani na grafu:



Slika 28: Prikaz rezultata

Izvor: Autor

Na slici 28 je vidljiv pad vlage u vremenu, te je u svrhu boljeg prikaza vršeno zalijevanje vodom u večernjim satima. Vidi se variranje vrijednosti vlage, njeno opadanje i ponovno povećanje prilikom zalijevanja. Vidljivo je i zadržavanje tj. sporije opadanje vrijednosti vlage u noćnim satima zbog visokih razina vlage zraka.

5. Zaključak

Implementacija sustava za nadzor vlage pruža mogućnost uvida u trenutno stanje. Dobar odabir je sustav uz pomoć PLC-a zbog njegovih mogućnosti regulacije, nadzora i automatiziranog praćenja podataka. Korisno je imati ispis prethodnih stanja kako bi se moglo uvidjeti ponašanje sustava kroz vrijeme i shodno tome računati moguće periode sa kritičnim vrijednostima (previše nisko ili visoko stanje vlage). Ovakav sustav iziskuje potrebu postojanja izvora napajanja, što nije uvijek mogućnost u agrikulturi. Prednost je moguća ugradnja modula za SMS ili bežično (WLAN) odašiljanje podataka na udaljenim lokacijama.

Za realizaciju ovakvog sustava potrebno je imati logički kontroler, njegovo napajanje, pretvarač napona za manje komponente i komparator sa senzorom vlage. Ova relativno mala investicija može nadzirati i regulirati jedan jednostavan sustav u agrikulturi.

Sam PLC sustav je relativno kompleksan za stvaranje programa, ali su njegova kasnija upotreba, komunikacija i transfer podataka jednostavni.

Prema odabranim parametrima širine impulsa i vremena uzorkovanja pohranjuju se vrijednosti stanja i nakon završetka mjerenja – vrlo lako prebacuju na računalo u CSV formatu, koji se uz male preinake prebacuje u Excel tablicu. Tu tablicu se može prikazati kao graf kako bi se pružio lakši uvid i uočila kritična stanja, kao i njihova ponovljivost (postojanje uzorka).

S obzirom da PLC uređaj ima limitiran broj ulaza i izlaza, postoji mogućnost spajanja dodatnih komponentni tj. proširenja kako bi se jedan ovakav sustav mogao nadograditi i vršiti upravljanje i regulaciju. To bi omogućilo direktno upravljanje komponentama za navodnjavanje ili ventilaciju potpuno automatizirano, ali to iziskuje veći budžet i proširenje programa.

6. Literatura

- [1] [Krevh, V., & Dvorski, T. \(2018, May 21\). Metode određivanja vlage u tlu. Pinova Meteo. https://pinova-meteo.com/hr_HR/blog/metode-odredivanja-vlage-u-tlu](https://pinova-meteo.com/hr_HR/blog/metode-odredivanja-vlage-u-tlu) 26.01.2022
- [2] [Kovačić, D. \(2019\). Senzori i njihova primjena u preciznoj poljoprivredi \[Master's thesis\]. https://repositorij.fazos.hr/islandora/object/pfos%3A1764/datastream/PDF/view%20%2030.01.2022](https://repositorij.fazos.hr/islandora/object/pfos%3A1764/datastream/PDF/view%20%2030.01.2022)
- [3] Vukadinović, V. (2019, December 11). Voda u tlu [Lecture notes]. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. http://pedologija.com.hr/Literatura/Pedologija/Voda-zrak-toplina_u_tlu.pdf 2.2.2022
- [4] Jug, D. (2015, May 20). Agrometeorološke osnove biljne proizvodnje [Lecture notes]. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. <https://dokumen.tips/documents/agrometeoroloske-osnove-biljne-proizvodnje.html?page=1> 2.2.2022
- [5] Szavits-Nossan, V. (2014, February 24). Osnovna svojstva tla i fazni odnosi [Lecture notes]. Građevinski Fakultet Zagreb. https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/2._Predavanje_MT.pdf
- [6] Ochsner, T., Cosh, M. H., Cuenca, R., & Dorigo, W. A. (2013). State of the Art in Large-Scale Soil Moisture Monitoring. Soil Science Society of America Journal, 77(6), 1888-1919. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.03.0093> 6.2.2022
- [7] [Ruirui, Z., Liping, C., & Gang, X. \(2012\). Probabilistic relational model-based scheduling approach for farmland soil sensor network \[National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing, China\]. https://www.ispag.org/proceedings/?action=download&item=1174](https://www.ispag.org/proceedings/?action=download&item=1174) 6.2.2022
- [8] [Ancelj, S. \(2020\). Gravimetrijske metode analize \[Undergraduate thesis, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički Fakultet\]. https://zir.nsk.hr/islandora/object/gfv%3A559/datastream/PDF/view](https://zir.nsk.hr/islandora/object/gfv%3A559/datastream/PDF/view) 9.2.2022
- [9] (2009, December 22). Tehnički laminati. Tehnoguma. <https://tehnoguma-zg.hr/tehnicki-laminati-2/> 15.2.2022

[10] [Galović, S., & Srdelić, M. \(2022, September 1\). Električni otpor \[Lecture notes\]. E-ŠKole. https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/452e1469-e362-4711-abcb-6f535c3b5254/html/7571_Elektricni_otpor.html](https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/452e1469-e362-4711-abcb-6f535c3b5254/html/7571_Elektricni_otpor.html)
[28.2.2022](https://www.irrometer.com/200ss.html)

[11] Irrrometer (2015, January 7). Reading WATERMARK Soil Moisture Sensors.
<https://www.irrometer.com/200ss.html>

[12] [Krevh, V., & Dvorski, T. \(2021, October 21\). Senzor vlage tla - Watermark sonda. Pinova Meteo. https://pinova-meteo.com/hr_HR/proizvodi/senzor-vlage-tla-watermark-sonda](https://pinova-meteo.com/hr_HR/proizvodi/senzor-vlage-tla-watermark-sonda) 09.02.2022

[13]Zhang, D., & Zhou, G. (2016). Estimation of Soil Moisture from Optical and Thermal Remote Sensing: A Review. *Sensors*, 16(8), 1308.
<https://doi.org/10.3390/s1608130818.03.2022>

[14] Siemens (2019, May 14). LOGO! Software.
<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-software.html> 10.1.2023.

7. Popis slika

<i>Slika 1: Prikaz nedovoljne i prekomjerne količine vlage u tlu</i>	5
<i>Slika 2: Prikaz uzimanja uzorka tla za Gravimetrijsku metodu</i>	6
<i>Slika 3: Prikaz određivanja vlage pomoću senzora</i>	10
<i>Slika 4: Prikaz postavljanja irrometra</i>	11
<i>Slika 5: Prikaz softverskog irrometra</i>	12
<i>Slika 6: Prikaz predviđanja količine vlage tla u Sjevernoj Americi za 2021. godinu..</i>	14
<i>Slika 7: Prikaz geodetske visine antene i kuta elevacije signala</i>	16
<i>Slika 8: Primjer Watermark senzora</i>	17
<i>Slika 9: Primjer volumetrijskog senzora</i>	18
<i>Slika 10: Prikaz spajanja Watermark senzora</i>	21
<i>Slika 11: Prikaz Volumetrijskog senzora obloženog vitoplastom</i>	23
<i>Slika 12: LOGO! logički kontroler</i>	25
<i>Slika 13: LOGO! logički kontroler – 2</i>	25

<i>Slika 14: LOGO! Power napajanje</i>	26
<i>Slika 15: Pretvarač napona</i>	27
<i>Slika 16: Komparator i senzor vlage</i>	28
<i>Slika 17: Program rada</i>	29
<i>Slika 18: Učitavanje programa</i>	29
<i>Slika 19: Povezivanje</i>	30
<i>Slika 20: Prijenos zapisa</i>	30
<i>Slika 21: Prijenos zapisa – 2</i>	31
<i>Slika 22: Prikaz podataka</i>	31
<i>Slika 23: Učitavanje na uređaj</i>	32
<i>Slika 24: Prikaz podataka na logičkom kontroleru</i>	32
<i>Slika 25: Definiranje parametara</i>	33
<i>Slika 26: Izbornik na kontroleru</i>	34
<i>Slika 27: Usporedba prikaza CSV i Excel a) CSV b) Excel</i>	34
<i>Slika 28: Prikaz rezultata</i>	35

8. Popis tablica

<i>Tablica 1: Prikaz idealnih parametara za rast tipičnih vrsta bilja u nasadima</i>	4
<i>Tablica 2: Prikaz otpornosti i električne provodnosti tla</i>	19