

Aquaterrius: Integrirani sistem za navodnjavanje poljoprivrednih proizvodnih parcela

Vuk Pavić

Smart Village Knežica
Kozarska Dubica, BiH
wukup123@gmail.com

Mirko Jokić

Ministarstvo poljoprivrede,
šumarstva i vodoprivrede
Republike Srpske
Banja Luka, BiH
mirko.jokic@yahoo.com

Nikola Knežić

Inced
Banja Luka, BiH
nikola.knezic@gmail.com

Mladen Knežić

Željko Ivanović
Elektrotehnički fakultet
Univerzitet u Banjoj Luci
Banja Luka, BiH
mladen.knezic@etf.unibl.org

Sažetak—Široka rasprostranjenost novih tehnologija dovela je do razvoja različitih inovativnih rješenja u poljoprivredi. Nadzor usjeva korišćenjem dronova s ciljem ranog otkrivanja bolesti kod biljaka, autonomne radne mašine za pripremu zemljišta, te različiti robotizovani sistemi za prikupljanje i sortiranje plodova, samo su neki od primjera primjene tehnologije za povećanje produktivnosti u poljoprivrednoj proizvodnji. U ovom radu opisano je jedno rješenje integriranog sistema za navodnjavanje poljoprivrednih proizvodnih parcela s ciljem povećanja efikasnosti proizvodnje uz racionalno angažovanje potrebnih resursa. Sve komponente sistema (hardver i softver) namjenski su projektovane uzimajući u obzir realne aspekte i ograničenja na terenu. U radu su detaljno opisane sve funkcionalne jedinice sistema, a prezentovana su i preliminarna iskustva u radu realizovanog prototipa sistema.

Gljučne riječi—*Internet of Things; Smart Agriculture; LoRa; automatizovano navodnjavanje; senzori vlažnosti zemljišta*

I. UVOD

Klimatske promjene imaju sve veći uticaj na poljoprivredni sektor u BiH [1]. S obzirom da skorašnje projekcije za prostor BiH predviđaju smanjenje padavina, posebno u ljetnjem periodu, biće neophodno u potpunosti planirati zalihe i potrebe za vodom, kako bi se obezbijedilo adekvatno navodnjavanje [1]. Budući da se većina farmi u BiH bavi proizvodnjom na poluintenzivan način, njihova sposobnost za sprečavanje neželjenih događaja je mala. Prema tome, BiH mora forsirati tehnologiju otpornu na klimatske promjene.

Ubrzan razvoj IoT (eng. *Internet of Things*) tehnologija tokom posljednje decenije, posljedično je doveo i do razvoja inovativnih rješenja u različitim segmentima poljoprivrede, a sve sa ciljem poboljšanja efikasnosti i kvaliteta proizvodnje. U [2] su izdvojeni neki od najznačajnijih izazova koji se mogu riješiti primjenom IoT tehnologija: (1) upravljanje potrošnjom vode, (2) efikasni sistemi za navodnjavanje i (3) kontrolisanje parametara zemljišta (pH, vlažnost itd.).

Osnovni koncept primjene IoT rješenja za kontrolu navodnjavanja (npr. rješenja opisana u [3] i [4]), zasniva se na preciznom određivanju vodnog statusa zemljišta i biljke, na osnovu kojeg se primjenjuje optimalna količina vode u datom

momentu za datu poljoprivrednu kulturu. Na ovaj način, biljci su tokom proizvodnog ciklusa omogućeni optimalni uslovi za rast i razvoj, što u konačnici utiče na postizanje stabilnih i kvalitetnih prinosa. Primjenom kontrolera navodnjavanja povezanog sa sensorima za mjerenje vlažnosti zemljišta ostvaruju se uštede u vodi u rasponu od 20% do 92% uz zadržavanje stabilnog prinosa [5].

Trenutno u BiH, primjena automatizovanih sistema za navodnjavanje karakteristična je za veoma mali broj većih, intenzivnih proizvodnih objekata, dok se na manjim poljoprivrednim gazdinstvima navodnjavanje uglavnom još uvijek obavlja ručno. Glavne prepreke za širu primjenu ovih sistema su visoka cijena opreme i nedostatak znanja, a potom i nedostatak usluga i tehničke podrške, te odbojnost proizvođača prema novim tehnologijama. U slučajevima gdje se koristi neki vid automatizacije u navodnjavanju, glavni problemi u korišćenju sistema odnose se na nepostojanje uređaja za precizno određivanje potreba biljaka za vodom (uređaji za mjerenje vlažnosti zemljišta, podaci o evapotranspiraciji i sl.), pri čemu se obrok vode i interval navodnjavanja određuju isključivo na osnovu subjektivne procjene uzgajivača što često dovodi do nedovoljnog ili prekomjernog utroška vode.

U ovom radu je opisano jedno rješenje integriranog sistema za navodnjavanje poljoprivrednih parcela realizovano u okviru projekta čiji je osnovni cilj bio razvoj pristupačnog, robusnog i modularnog sistema, prilagođenog lokalnim proizvodnim uslovima koji bi, uz obezbjeđenje stručne i tehničke podrške, omogućio postizanje viših i kvalitetnijih prinosa uz smanjenje utroška vode na parcelama domaćih uzgajivača. Sistem se sastoji iz sljedećih funkcionalnih jedinica: a) glavne terminalne jedinice, b) senzorskih jedinica povezanih sa c) sondama za mjerenje vlažnosti i temperature zemljišta i d) jedinica za kontrolu ventila. Sve funkcionalne jedinice (hardver i softver) su potpuno namjenski projektovane i realizovane, te testirane na protipu sistema manje veličine u kontrolisanim uslovima.

Rad je organizovan na sljedeći način. U drugoj sekciji prezentovane su funkcionalne jedinice sistema sa detaljnim prikazom strukture, kao i opisom njihove međusobne interakcije. Treća sekcija daje osnovne informacije vezane za veb aplikaciju namijenjenu za konfigurisanje i praćenje rada

Rezultati prezentovani u ovom radu sufinansirani su od strane Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srpske kroz izradu projekta „Sistem automatske regulacije i kontrole navodnjavanja poljoprivrednih proizvodnih parcela“ na osnovu člana 43 Pravilnika o uslovima i načinu ostvarivanja novčanih podsticaja za razvoj poljoprivrede i sela za 2023. godinu, odluka br. 12/2.3-403-12768/23 od 27.07.2023. godine.

sistema od strane korisnika. Konačno, posljednja sekcija, sadrži osnovne zaključke sa diskusijom ostvarenih rezultata tokom testiranja realizovanog pilot sistema, kao i smjernice za budući rad u smislu unapređenja i poboljšanja sistema.

II. OPIS SISTEMA

Sistem čini nekoliko nezavisnih funkcionalnih jedinica koje međusobno razmjenjuju podatke i koje se mogu konfigurisati u skladu sa potrebama krajnjeg korisnika. Na sl. 1. ilustrovan je konceptualni prikaz sistema i njegovih jedinica.

Kao što može da se vidi na slici, poljoprivredna proizvodna parcela je organizovana u cjeline koje nazivamo *sekcije*. Dotok vode svim sekcijama na parceli obezbijeđen je pomoću glavne pumpe koja crpi vodu iz rezervoara sa vodom. Navodnjavanje svake sekcije kontroliše se elektromagnetnim ventilom čije stanje kontroliše *jedinica za upravljanje ventilom*. Voda za navodnjavanje biljnih kultura unutar sekcije distribuira se korišćenjem odgovarajuće mreže crijeva kao što je ilustrovano na slici. Jedinica za upravljanje ventilom posjeduje RS-485 interfejs za komuniciranje sa ostalim jedinicama u sistemu.

U okviru svake sekcije nalazi se jedna ili više sonde za mjerenje temperature i vlažnosti zemljišta koja je povezana sa *senzorskom jedinicom*. Osim toga, senzorska jedinica dodatno obezbjeđuje informacije o temperaturi i vlažnosti vazduha. Komunikacija sa senzorskim jedinicama raspoređenim u polju obavlja se posredstvom LoRa protokola. Da bi omogućili fleksibilnu relokaciju senzorskih jedinica na parceli u skladu sa potrebama krajnjeg korisnika i trenutnim uslovima, senzorske jedinice imaju baterijsko napajanje sa solarnim panelima kako bi se obezbijedila autonomija u radu tokom dužeg vremenskog intervala. Zbog toga, posebna pažnja prilikom projektovanja posvećena je smanjenju potrošnje ovih jedinica.

Centralni dio sistema predstavlja *terminalna jedinica* koja komunicira sa svim ostalim funkcionalnim jedinicama s ciljem agregiranja i pohranjivanja prikupljenih podataka u bazu podataka na serveru. Osim toga, terminalna jedinica

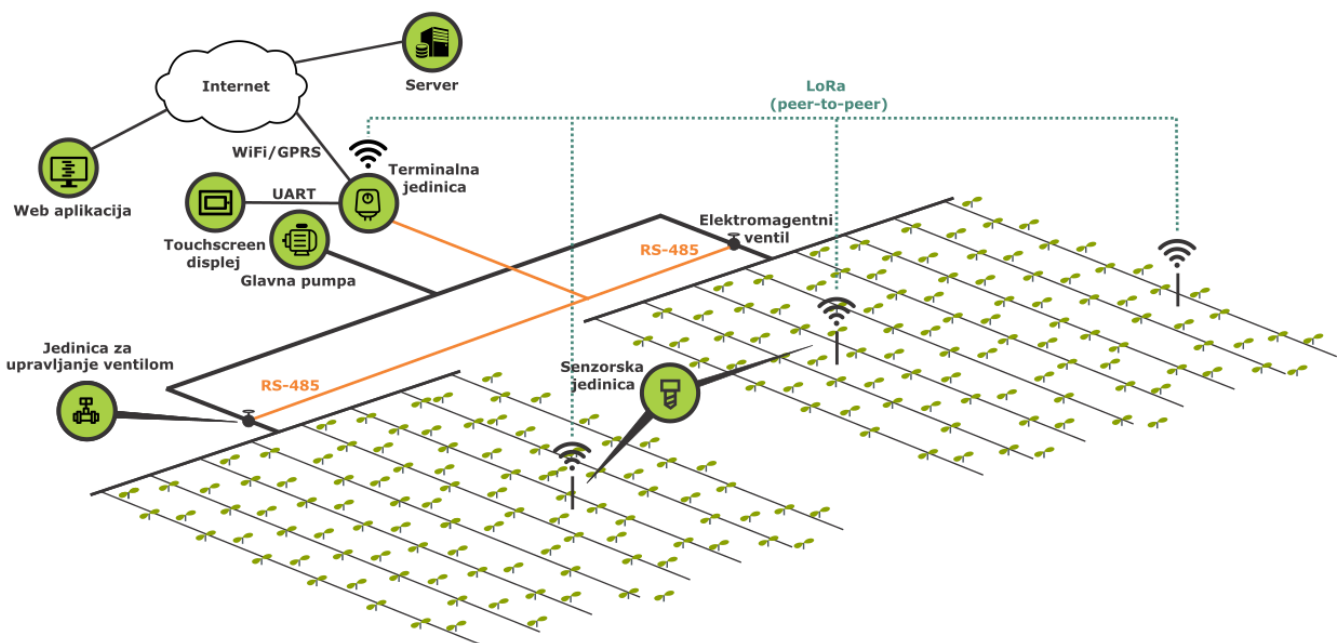
omogućava automatizovano i manuelno upravljanje sistemom navodnjavanja u skladu sa parametrima koji se preuzimaju sa servera. Terminalna jedinica se povezuje na internet posredstvom WiFi mreže, odnosno GSM/GPRS modema (u zavisnosti od uslova na terenu). Dodatno, terminalna jedinica omogućava konfiguraciju sistema lokalno, korišćenjem LCD displeja osjetljivog na dodir koji je integrisan u ovu jedinicu.

Nadzor i administriranje sistema omogućeno je kroz namjenski razvijenu *web aplikaciju* koja se izvršava na strani servera. Ova aplikacija omogućava parametrizovanje sistema (pridruživanje ventila, senzora i terminalnih jedinica sistemu, te njihova konfiguracija), kao i definisanje rasporeda uključivanja ventila sekcija koje se mogu organizovati u logičke grupe pod nazivom *smjene*. Svakoj smjeni se može pridružiti i skup senzorskih jedinica koje obezbjeđuju podatke neophodne za automatizovani režim navodnjavanja. Veb aplikacija osim parametrizacije omogućava nadzor sistema sa prikazom trenutnih vrijednosti relevantnih podataka, uz mogućnost logovanja određenih kritičnih informacija s ciljem njihove kasnije analize.

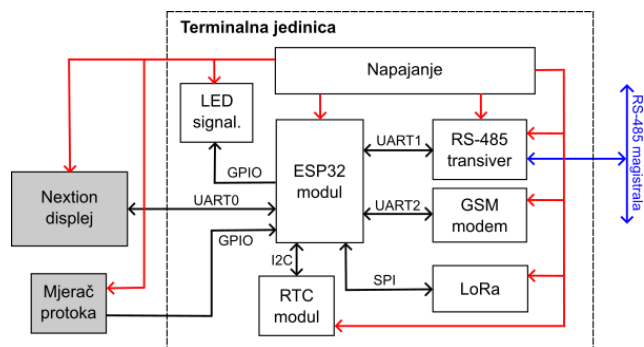
U nastavku teksta ćemo detaljnije objasniti svaku od funkcionalnih jedinica sa naglaskom na različite aspekte koji su bili značajnih prilikom njihovog projektovanja.

A. Terminalna jedinica

Blok-dijagram terminalne jedinice prikazan je na sl. 2. Centralni dio čini mikrokontrolerski modul ESP32-WROVER koji upravlja svim komponentama i modulima terminalne jedinice. S obzirom da je terminalna jedinica fiksirana i locirana u blizini pumpe za vodu, osnovni izvor napajanja čini naizmjenična električna mreža. Modul za napajanje čine komponente koje ispravljaju ovaj napon u jednosmjerni napon od 12V, koji se zatim snižava korišćenjem DC/DC pretvarača i linearnih stabilizatora na stabilne naponske nivoe različitih vrijednosti (5V, 4V i 3.3V) neophodne za napajanje mikrokontrolera i ostalih modula.



Slika 1. Konceptualni prikaz funkcionalnih jedinica sistema.



Slika 2. Blok-dijagram terminalne jedinice.

Osim WiFi interfejsa, koji je integrisan u okviru ESP32 mikrokontrolera, terminalna jedinica sadrži tri komunikaciona interfejsa: LoRa modul Ra-02 (koji se povezuje preko SPI interfejsa mikrokontrolera), SIM800L GSM modem sa GPRS podrškom (sa kojim se komunicira preko UART interfejsa mikrokontrolera), te RS-485 transiver (komponenta MAX485) za prilagođavanje naponskih nivoa u skladu sa RS-485 standardom. Kao što je već pomenuto, RS-485 se koristi kao primarni način komunikacije sa jedinicama za upravljanje ventilima, dok se LoRa protokol koristi pri komunikaciji sa senzorskim jedinicama u sistemu. GSM modem služi kao alternativni način povezivanja terminalne jedinice na internet ukoliko WiFi mrežna infrastruktura nije dostupna. Za razmjenu podataka preko LoRa i RS-485 mreže, razvijen je poseban protokol koji omogućava adresiranje čvorova, te adekvatno omeđavanje i provjeru integriteta okvira.

Terminalna jedinica sadrži i RTC (eng. *Real-Time Clock*) modul za čuvanje trenutnog vremena, kako bi svim podacima mogle da se pridruže precizne vremenske odrednice. U konkretnom slučaju je korišćen modul DS3231 koji se sa mikrokontrolerom povezuje preko I2C interfejsa.

Uz osnovnu LED signalizaciju, u terminalnoj jedinici je integrisan i LCD displej sa ekranom osjetljivim na dodir proizvođača *Nextion*, koji ima podršku za razvoj naprednih grafičkih interfejsa korišćenjem besplatnog editora za razvoj HMI (eng. *Human Machine Interface*) aplikacija. Komunikacija sa displejom se obavlja preko UART interfejsa pomoću specijalnog protokola koji podržava dati displej.

Konačno, terminalna jedinica takođe omogućava povezivanje sa senzorom za mjerenje protoka koji se nalazi na crijevu pumpe, što omogućava procjenu dnevne potrošnje vode koja se koristi za navodnjavanje.

Prototip terminalne jedinice, realizovan sa potrebe testiranja i evaluacije pilot sistema, prikazan je na sl. 3. Na datoj slici se može vidjeti i primjer grafičkog interfejsa koji je realizovan korišćenjem *Nextion* editora.

B. Senzorska jedinica

Za razliku od ventila, lokacije senzorskih jedinica ne mogu da budu unaprijed precizno isplanirane. U zavisnosti od konfiguracije terena, kao i drugih uslova na parceli, najbolju lokaciju za senzorske jedinice najčešće je potrebno odrediti eksperimentalno. Takođe, nije neuobičajeno da postoji potreba



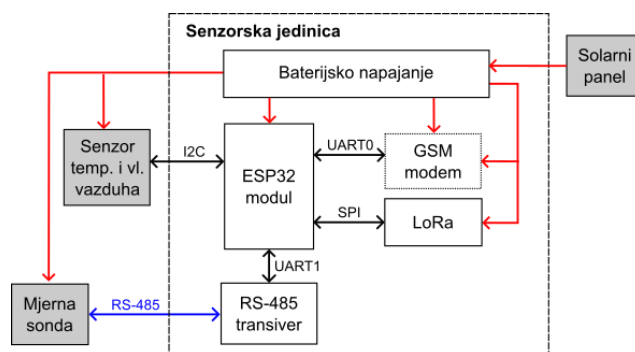
Slika 3. Prikaz realizovanog prototipa terminalne jedinice.

za promjenom lokacije senzorske jedinice tokom vremena. Iz navedenog razloga, ova jedinica je projektovana tako da koristi baterijsko napajanje sa opcijom dopunjavanja baterija pomoću USB adaptera, odnosno korišćenjem solarnog panela manje veličine. Da bi se obezbijedila dovoljno duga autonomija rada, posebna pažnja pri projektovanju softvera u mikrokontroleru koji kontroliše hardverske komponente ove jedinice povećana je smanjenju potrošnje.

Na sl. 4 prikazan je blok-dijagram senzorske jedinice. Kao i kod terminala, za upravljanje se koristi ESP32 mikrokontroler (modul ESP32-WROOM) koji je povezan sa LoRa modulom i RS-485 transiverom. Kao što je ranije pomenuto, LoRa protokol omogućava komunikaciju senzorske jedinice sa terminalnom jedinicom, dok je preko RS-485 interfejsa povezana mjerna sonda čija je uloga da obezbijedi podatke o vlažnosti i temperaturi zemljišta. Takođe, senzorska jedinica je, preko I2C interfejsa, povezana sa senzorom za mjerenje temperature i vlažnosti vazduha (AM2315C). Informacija o ovoj temperaturi omogućava korisnicima sistema da dodatno optimizuju proces navodnjavanja podešavanjem pragova za aktivaciju ventila na osnovu poznatih modela ili sopstvenog iskustva u gajenju određene kulture na datom području.

Opciono, predviđena je i mogućnost dodavanja GSM modema u okviru senzorske jedinice u rijetkim slučajevima kada, zbog različitih razloga (konfiguracija terena, udaljenost senzora, i sl.), nije moguće ostvariti komunikaciju korišćenjem LoRa protokola. U tom slučaju, server komunikaciju sa senzorskom jedinicom ostvaruje direktno preko interneta, a ne preko terminalne jedinice.

Kao što je već pomenuto, posebna pažnja prilikom projektovanja hardvera i softvera posvećena je smanjenju



Slika 4. Blok-dijagram senzorske jedinice.

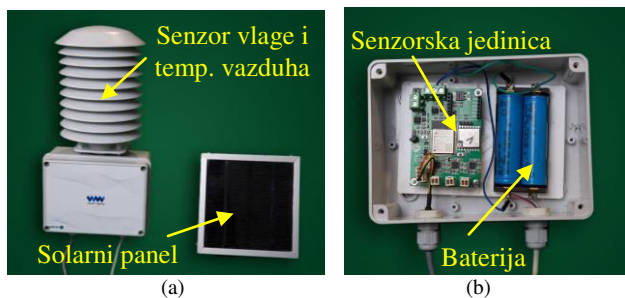
potrošnje kako bi se obezbijedila što duža autonomija rada jedinice. U tom smislu, hardver je projektovan tako da mikrokontroler može softverski da isključi napajanje svih komponenta sa kojima je povezan, a zatim da se odvede u režim minimalne potrošnje energije. U konkretnom slučaju korišćen je *deep-sleep* režim rada ESP32 mikrokontrolera kod kojeg se, prema specifikaciji, struja iz izvora za napajanje kreće u opsegu od $10\mu\text{A}$ do $150\mu\text{A}$. U ovom režimu aktivan je minimalan skup komponenta koje omogućavaju ponovnu aktivaciju mikrokontrolera korišćenjem tajmera. Periodično, u vremenskim intervalima koje korisnik može podešavati, mikrokontroler se vraća iz režima minimalne potrošnje, uključuje ostale komponente kako bi mogao da prikupi neophodne podatke koje zatim dostavlja terminalnoj jedinici. Nakon slanja podatka, mikrokontroler ponovo prelazi u režim niske potrošnje i sve se ponavlja. Da bi se smanjila mogućnost istovremenog emitovanja podataka od strane više senzorskih jedinica, prije slanja se provjerava da li neka stanica već emituje podatke.

Na sl. 5a prikazan je prototip realizovane senzorske jedinice povezan sa senzorom za mjerenje temperature i vlažnosti vazduha, dok sl. 5b prikazuje izgled unutrašnjosti senzorske jedinice povezane sa baterijskim napajanjem. Kao što se vidi na sl. 5a, senzor za mjerenje parametara vazduha smješten je u kućište koje omogućava prirodnu ventilaciju, čime se smanjuje mogućnost očitavanja nekorektnih rezultata zbog direktne izloženosti sunčevoj svjetlosti.

C. Sonda za mjerenje vlažnosti i temperature zemljišta

Sonda za mjernje vlažnosti i temperature zemljišta povezuje se sa senzorskom jedinicom preko RS-485 interfejsa. Za komunikaciju se koristi sličan protokol kao kod komunikacije s ventilima, s tim da adresiranje čvorova nije neophodno jer se koristi *point-to-point* veza. Zbog ograničenja po pitanju veličine kućišta, u sondi je korišćen mikrokontroler ESP32-S3-MINI-1 sa RS-485 transiverom, koji je direktno povezan sa temperaturnim senzorima (DS18B20) i senzorima za mjerenje vlažnosti zemljišta.

Zbog veće robusnosti, vijeka trajanja i preciznosti, za mjernje vlažnosti zemljišta odabran je senzor koji je baziran na mjerenju kapacitivnosti između elektroda. Naime, dielektrična konstanta suvog zemljišta je 2-3, dok u čistoj vodi iznosi 80. Prema tome, potpuno natopljeno zemljište će da ima dielektričnu konstantu oko 30 [6]. Odavde zaključujemo da će kapacitivnost sonde uronjene u zemljište biti veća što je veća vlažnost zemljišta. Dakle, mjerenjem ove kapacitivnosti



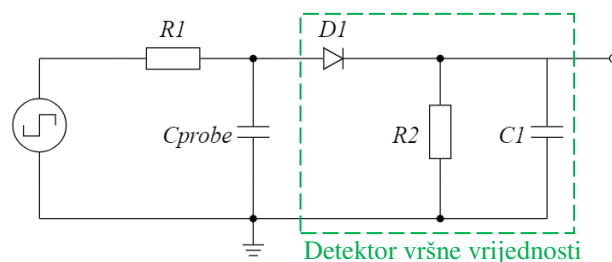
Slika 5. Prikaz realizovanog prototipa senzorske jedinice: (a) jedinica povezana sa solarnim panelom i temperaturnim senzorom i (b) unutrašnjost jedinice.

možemo da izmjerimo i relativnu vlažnost tla.

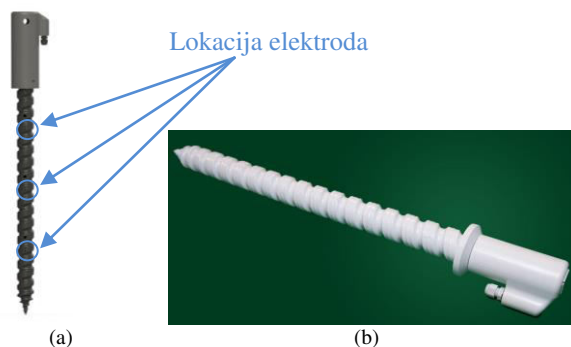
Princip mjerenja se svodi na principijelnu električnu šemu prikazanu na sl. 6 [7]. Na izlaz generatora pravougaonog signala frekvencije od oko 1MHz sa 50% faktorom popune (npr. astabilni multivibrator), preko otpornika R_1 ($10\text{k}\Omega$) povezan je koplanarni kondenzator C_{probe} čije elektrode čine sondu koja se postavlja u zemljište radi mjerenja vlažnosti. Kod manjih kapacitivnosti (suvlje zemljište), kondenzator C_{probe} se brže puni i prazni, što znači da će napon od vrha do vrha na njegovom izlazu biti manji. S druge strane, kada se kapacitivnost poraste, kondenzator ne uspijeva tako brzo da se prazni, što dovodi do porasta vrijednosti pomenutog napona. Ovaj napon se zatim dovodi na ulaz detektora vršne vrijednosti kojeg čine dioda D_1 (npr. 1N4148), otpornik R_2 i kondenzator C_1 . Izdvajanjem vršne vrijednosti dobijamo analogni napon koji je proporcionalan trenutnoj vlažnosti zemljišta.

Pomenuti napon se zatim pomoću A/D konvertora u mikrokontroleru pretvara u digitalni podatak, koji se dalje može obrađivati. Astabilni multivibrator se može realizovati npr. pomoću tajmera 555.

Nedostatak komercijalno dostupnih mjernih sonde čija je cijena relativno pristupačna ogleda se u tome što su uglavnom realizovane za mjerenje vlažnosti na manjim dubinama. Iz tog razloga je odlučeno da se pristupi projektovanju namjenske sonde koja će omogućiti mjerenje vlažnosti na tri različite dubine: 10cm, 20cm i 40cm od površine tla. Na sl. 7a data je renderovana slika 3D modela projektovane sonde sa naznačenim lokacijama elektroda, dok sl. 7b prikazuje sondu nakon fabrikacije. Konstruktivno, ova sonda je izvedena tako da može lako da se montira i demontira u različite tipove zemljišta sa različitim konfiguracijama terena uz minimalno narušavanje prirodne strukture zemljišta.



Slika 6. Principijelna električna šema za mjerenje vlažnosti zemljišta pomoću kapacitivnog senzora.



Slika 7. Prikaz prototipa sonde: (a) renderovan 3D model sa lokacijom elektroda kondenzatora sonde na tri dubine i (b) fabrikovana sonda.

Na lokacijama elektroda za mjerenje vlažnosti montirani su i senzori za mjerenje temperature zemljišta. Informacija o temperaturi zemljišta je korisna za kompenzaciju rezultata mjerenja vlažnosti, s obzirom na osjetljivost kapacitivnih senzora na temperaturu [8], ali i kod donošenja važnih odluka pri uzgoju biljnih kultura na parceli (npr. optimalan trenutak za početak sjetve i sl.).

D. Jedinica za upravljanje ventilima

Kao i prethodne funkcionalne jedinice sistema, i jedinica za upravljanje ventilima (sl. 8) sadrži mikrokontroler (ESP32-WROOM modul) sa kojim su povezane ostale komponente. Komunikacija sa ovom jedinicom primarno se obavlja preko RS-485 magistrale koju može da dijeli više uređaja. S obzirom da je ovo poludupleksna veza, potrebno je obezbijediti mogućnost adresiranja uređaja na magistrali uz korišćenje *master-slave* paradigme za upravljanje višestrukim pristupom.

Maksimalna dužina kabla u RS-485 mreži je 1200 metara sa redukovanom bitskom brzinom i izborom kvalitetnijih kablova. Za jedinice koje se nalaze na većim udaljenostima, kao dodatna opcija, predviđena je komunikacija preko LoRa bežičnog linka kao kod senzorske jedinice.

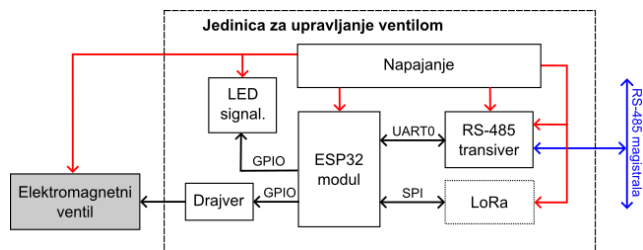
Kao i kod terminalne jedinice, koristi se naizmjenično napajanje iz mreže, s tim da je predviđena i opcija dovođenja nižeg jednosmjernog napona napajanja, što je preporučljivo da se koristi gdje god je moguće zbog bezbjednosnih razloga.

Konačno, izlazni digitalni pin mikrokontrolera nema dovoljan strujni kapacitet da bi mogao da uključuje elektromagnetni ventil, pa je potrebno predvidjeti pogodno drajversko kolo za pogon induktivnog opterećenja. U tom smislu, predviđena su dva tipa izlaza, tranzistorski i relejni, koji omogućavaju kontrolu širokog spektra dostupnih elektromagnetnih ventila.

III. OPIS VEB APLIKACIJE

Za potrebe administriranja i nadzora sistema, kao i za pohranjivanje i prezentaciju podataka koji se dobijaju od prethodno opisanih funkcionalnih jedinica sistema, namjenski je razvijena veb aplikacija koja se izvršava na strani veb servera. Pri razvoju su korišćene sljedeće komponente i tehnologije bazirane na Python programskom jeziku:

- ASGI (eng. *Asynchronous Server Gateway Interface*) *Uvicorn* kao veb server,
- *FastAPI* za razvoj *backend* dijela aplikacije,
- *PostgreSQL* kao sistem za upravljanje bazom podataka,
- *SQLAlchemy* za komunikaciju sa bazom podataka,



Slika 8. Blok dijagram jedinice za upravljanje ventilom.

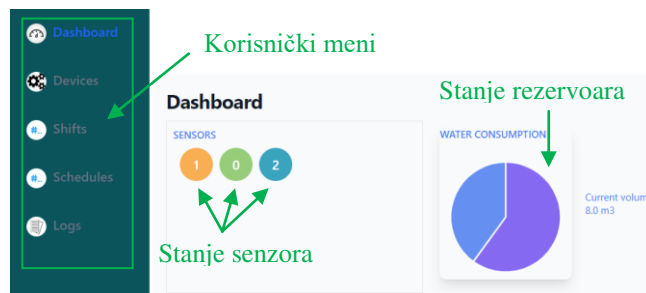
- Kombinacija *HTML*, *Tailwind CSS*, *Javascript* i *Jinja2 Templating Language* za razvoj *frontend* dijela aplikacije
- *Bycrypt* za zaštitu korisničkih šifri.

Arhitektura aplikacije se oslanja na REST (eng. *REpresentational State Transfer*) arhitekturu sa jasno definisanim *RESTful API* krajnjim tačkama (eng. *end-point*) koje omogućavaju pristup servisima aplikacije preko standardnog HTTP protokola. U tom smislu, aplikacija obezbeđuje sljedeće servise: (1) administriranje korisnika, (2) administriranje uređaja (sistem, pumpa, ventil, smjena, senzor), (3) vizuelizaciju podataka i (4) autorizaciju i autentifikaciju korisnika.

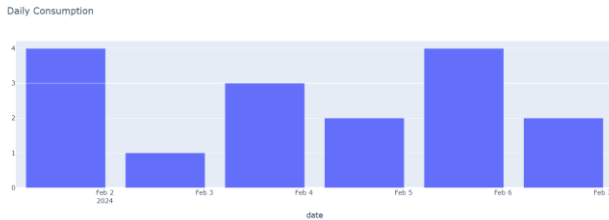
Da bi autorizovani korisnik mogao da pristupi podacima, potrebno je prvo da se obavi registracija terminalne jedinice koja predstavlja sistem u kontekstu veb aplikacije. Registraciju obavlja ovlašćeni operater sa administrativnim privilegijama korišćenjem odgovarajućih opcija u konfiguracionom režimu rada na samom displeju terminalne jedinice. Tokom ovog procesa, terminalna jedinica generiše jedinstveni identifikator sistema i dostavlja ga veb aplikaciji zajedno sa ostalim relevantnim podacima (lokacija, naziv i korisničko ime vlasnika sistema). Sličnim postupkom, operater dodaje i ostale komponente sistema (pumpu i korišćeni broj ventila i senzora).

Kada je sistem inicijalizovan, korisnik može da se loguje u okviru veb aplikacije sa svojim korisničkim imenom i da pristupi prethodno registrovanim resursima koji pripadaju njegovom sistemu. Nakon logovanja, prezentuju mu se različite opcije za konfiguraciju rada sistema, kao i za prikaz pohranjenih podataka. Na sl. 9, prikazan je segment korisničkog *dashboard*-a u na kojem se vide opcije menija koje su na raspolaganju, kao i neke osnovne informacije o stanju senzora i rezervoara sa vodom. Od ostalih opcija (nisu prikazane na slici), na raspolaganju su osnovne informacije o smjenama i informacije o izmjerenoj temperaturi i vlažnosti vazduha, te nivou napunjenosti baterije za odabrani senzor (informacije za svaki senzor se mogu pregledati skrolovanjem liste senzora). Izborom opcije *Devices*, korisnik može da pregleda uređaje pridružene sistemu (pumpe, ventile i senzore), te da ih eventualno konfigurira u skladu sa svojim potrebama.

Pumpi su pridruženi podaci od kapacitetu rezervoara sa vodom, kao i o dnevnoj potrošnji koja se dobija od terminalne jedinice sistema na osnovu očitavanja sa senzora koji mjeri protok vode kroz pumpu. Korisnik može da provjeri trenutno stanje rezervoara i da ga ručno postavi na željenu vrijednost (npr. nakon što dopuni rezervoar). Osim toga, istorija dnevne potrošnje čuva se u bazi i može da se prikaže korisniku kada je potrebno. Prikaz istorije ilustrovan je na sl. 10.



Slika 9. Korisnički *dashboard* sa prikazom dostupnih opcija.



Back

Slika 10. Prikaz podataka o potrošnji vode na pumpi.

Za ventile može samo da se provjeri trenutni status (otvoren ili zatvoren) koji dostavlja terminalna jedinica sistema, kao i kojoj smjeni ventil pripada, dok kontrolisanje stanja ventila nije moguće iz veb aplikacije.

U listi senzora možemo da dobijemo informaciju o trenutnoj vlažnosti zemljišta za nivoe koji su omogućeni za dati senzor, identifikator sekcije u kojoj se senzor nalazi, te prikaz istorije mjerenja kao što je ilustrovano na sl. 11. U datom slučaju se prikazuju mjerenja za sva tri nivoa, ali se u konfiguraciji senzora mogu odabrati samo nivoi koji su od interesa korisniku (npr. samo mjerenja na dubini 20cm i 40cm).

Kao što je pomenuto, svaki ventil navodnjava samo određenu sekciju, ali se oni logički mogu grupisati u smjene (opcija *Shifts*). Režim navodnjavanja unutar smjene može biti automatski, tj. uključenje (isključenje) ventila određuje vrijednost donjeg (gornjeg) praga vlažnosti zemljišta, pri čemu možemo da definišemo različite varijante: bilo koji senzor u smjeni je dostigao vrijednost praga, prosječna vrijednost senzora je dostigla vrijednost praga, ili su svi senzori su dostigli vrijednost praga. Osim toga, smjene se mogu konfigurirati tako da se navodnjavanje vremenski kontroliše postavljanjem sedmičnog rasporeda u opciji *Schedule* menija.

IV. ZAKLJUČAK I BUDUĆI RAD

Projektovano rješenje je testirano u kontrolisanim uslovima na pilot sistemu manje veličine kojeg čine terminal, ventil i senzor, pri čemu je verifikovana ispravnost rada svake funkcionalne jedinice za različite testne scenarije. Osim toga, sistem je testiran u uslovima međusobne kooperacije funkcionalnih jedinica, kao i pri povezivanju sa servisima realizovane veb aplikacije. Funkcionalnost veb aplikacije je dodatno testirana korišćenjem sintetičkih podataka i scenarija.

Predstoji period detaljnog testiranja funkcionalnosti komponenti prototipa u poljskim uslovima. U 2024. godini, u okviru EU4Agri programa podrške, predviđena je instalacija sistema i njegovo testiranje na eksperimentalnom dobru poljoprivrednog fakulteta u Aleksandrovcu. Aktivnost će se realizovati u okviru projekta „Itree“, kroz saradnju PZ „Smart



Back

Slika 11. Prikaz podataka o vlažnosti zemljišta za tri nivoa.

Village“ iz Knežice i Poljoprivrednog fakulteta iz Banje Luke. Osim toga, planirana je laboratorijska kalibracija senzora za vlažnost zemljišta u lokalno dominantnim tipovima zemljišta. Izrada kalibracionih krivulja za lokalna zemljišta će omogućiti tačniju interpretaciju rezultata i, shodno tome, preciznije upravljanje navodnjavanjem.

LITERATURA

- [1] G. Trbic, T. Popov, V. Djurdjevic, I. Milunovic, T. Dejanovic, S. Gnjato, M. Ivanisevic, “Climate Change in Bosnia and Herzegovina According to Climate Scenario RCP8.5 and Possible Impact on Fruit Production,” *Atmosphere*, vol. 13, pp. 1–14, 2022.
- [2] B. B. Sinha and R. Dhanalakshmi, “Recent advancements and challenges of Internet of Things in smart agriculture: A survey,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 126, pp. 169–184, 2022.
- [3] I. Froiz-Míguez, P. Lopez-Iturri, P. Fraga-Lamas, M. Celaya-Echarri, Ó. Blanco-Novoa, L. Azpilicueta, F. Falcone, T. M. Fernández-Caramés, “Design, Implementation, and Empirical Validation of an IoT Smart Irrigation System for Fog Computing Applications Based on LoRa and LoRaWAN Sensor Nodes,” *Sensors*, vol. 20, pp. 1–33, 2020.
- [4] F. Puig, J. A. Rodríguez Díaz, and M. A. Soriano, “Development of a Low-Cost Open-Source Platform for Smart Irrigation Systems,” *Agronomy*, vol. 12, pp. 1–19, 2022.
- [5] S. Touil, A. Richa, M. Fizir, J.E. Argente García, and A. Skarmante Gómez, “A review on smart irrigation management strategies and their effect on water savings and crop yield,” *Irrigation and Drainage*, vol. 71, pp. 1396–1416, 2022.
- [6] R. R. Mohan, Binu Paul, S. Mridula, and P. Mohanan, “Measurement of Soil Moisture Content at Microwave Frequencies,” *Procedia Computer Science*, vol. 46, pp. 1238–1245, 2015.
- [7] P. Placidi, L. Gasperini, A. Grassi, M. Cecconi, and A. Scorzoni, “Characterization of Low-Cost Capacitive Soil Moisture Sensors for IoT Networks,” *Sensors*, vol. 20, pp. 1–14, 2020.
- [8] H. Mittelbach, I. Lehner, and S. I. Seneviratne, “Comparison of four soil moisture sensor types under field conditions in Switzerland,” *Journal of Hydrology*, vol. 430–431, pp. 39–49, 2012.

ABSTRACT

Recently, innovative solutions in agriculture have been driven by ubiquitous availability of new technologies. Crop surveillance using drones for an early discovery of plant diseases, autonomous agricultural machinery, and harvesting robots are just few examples that are used for increasing productivity of the agricultural production. In this paper, we describe an integrated system for irrigation of agricultural production lots aimed at increasing the production efficiency with reasonable utilization of the required resources. All system components (both hardware and software) were custom designed, taking into account real aspects and limitations in the field. In the paper, we provided a detailed description of all system functional units, and presented some preliminary experiences about the operation of the implemented system prototype.

AQUATERRIUS: AN INTEGRATED SYSTEM FOR IRRIGATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION LOTS

Vuk Pavic, Mirko Jokic, Nikola Knezic, Mladen Knezic, Zeljko Ivanovic