

Arduino bazirani sistem za prenos i spremanje senzorskih podataka u realnom vremenu

1. Amna Bumbul
Elektrotehnički fakultet Sarajevo
Univerzitet u Sarajevu
Sarajevo, Bosna i Hercegovina
abumbul1@etf.unsa.ba

2. Amila Čengić
Elektrotehnički fakultet Sarajevo
Univerzitet u Sarajevu
Sarajevo, Bosna i Hercegovina
acengic1@etf.unsa.ba

3. Amina Omerčević
Elektrotehnički fakultet Sarajevo
Univerzitet u Sarajevu
Sarajevo, Bosna i Hercegovina
aomercevic1@etf.unsa.ba

Sažetak—Ovaj rad predstavlja *Arduino* bazirani sistem za prikupljanje i pohranu podataka u realnom vremenu, osmišljen za mjerenje i praćenje parametara okoline poput temperature i vlažnosti zraka. Sistem koristi *Bluetooth* tehnologiju za prijenos podataka sa *DHT11* senzora na mobilni uređaj putem aplikacije, omogućujući korisniku jednostavno praćenje. Osim toga, podaci se ispisuju na *OLED* ekranu i pohranjuju u bazu podataka za dugoročno praćenje i analizu. Korištenjem *VLC* tehnologije, gdje fotorezistor detektuje svjetlost *LED* diode koja svijetli kada su podaci unijeti u bazu, aktivira se *Wi-Fi* modul koji šalje email potvrdu o unosu u bazu.

Index Terms—*Arduino*, *Bluetooth*, *LED*, modul, senzor, temperatura, vlažnost, *VLC*, *Wi-Fi*.

I. UVOD

S velikim napretkom u oblasti bežičnih komunikacija i *IoT* (eng. *Internet of Things*) tehnologije, razvijeni su brojni sistemi za praćenje i pohranu podataka u realnom vremenu s visokom tačnošću i preciznošću. U industrijskim i laboratorijskim uslovima, praćenje parametara poput temperature i vlažnosti zraka igra ključnu ulogu, jer njihova odstupanja mogu imati ozbiljne posljedice po sigurnost i efikasnost procesa. Stoga, sistemi za mjerenje ovih parametara moraju biti precizni, pouzdani i sposobni za kontinuirano praćenje podataka u realnom vremenu. U cilju postizanja što veće učinkovitosti, moderni sistemi, kao jedno od rješenja, koriste bežične tehnologije poput *Bluetooth*-a, koji omogućava brzu i sigurnu transmisiju podataka bez potrebe za kabliranjem, čime se smanjuju troškovi instalacije i održavanja [1].

Kroz izradu i realizaciju ovog projekta razvijen je *Arduino* bazirani sistem koji omogućava očitavanje, praćenje, pohranu i slanje podataka o temperaturi i vlažnosti zraka u realnom vremenu. Sistem je osmišljen da koristi bežične tehnologije uz korištenje određenih protokola koji omogućavaju nesmetan rad sistema. Podatke o temperaturi i vlažnosti prikuplja senzor *DHT11* i proslijeđuje ih na *Arduino Mega*, na koji je također spojen putem jumpera i *Bluetooth* modul *HC-05* pomoću kojeg se bežičnim putem šalju ti podaci na mobilni uređaj. *Bluetooth* modul *HC-05* koristi *Bluetooth 2.0* tehnologiju i ima mogućnost dometa 10 m u zatvorenim prostorijama. *Bluetooth* tehnologija u ovom kontekstu omogućava jednostavan i brz pristup prikupljenim podacima bez potrebe za fizičkom vezom s uređajem, kao i fleksibilnost i mobilnost korisnika.

Drugi dio sistema sadrži jumperima spojen *OLED* ekran (eng. *Organic Light Emitting Diode*) na *Arduino Mega*. Cilj je da se prikupljeni podaci o temperaturi i vlažnosti zraka prikazuju na *OLED* ekranu, čime se omogućava da korisnik ima vizualni uvid u vrijednosti parametara bez potrebe za povezivanjem s mobilnim uređajem.

Za pohranu podataka o temperaturi i vlažnosti zraka koristi se *MySQL* baza podataka, koja omogućava organizirano čuvanje i analizu prikupljenih podataka. *Arduino* sistem koristi *Ethernet Shield* za uspostavljanje mrežne veze i slanje podataka na server putem *HTTP GET* zahtjeva (eng. *HTTP GET request*). *Ethernet Shield* omogućava *Arduinu* povezivanje na lokalnu mrežu ili internet putem žične veze, čime se postiže stabilna i pouzdana komunikacija sa serverom. Podaci se šalju u formi *HTTP GET* zahtjeva, gdje *PHP* skripta na serveru prima očitane vrijednosti i sprema ih u *MySQL* bazu podataka. Ovakav način komunikacije omogućava brzu i sigurnu pohranu podataka bez potrebe za bežičnim modulima, što dodatno povećava pouzdanost sistema.

Dodatno, sistem uključuje i upotrebu *VLC* (eng. *Visible Light Communication*) tehnologije, koja omogućava prijenos podataka putem vidljive svjetlosti [2]. Kada se podaci unesu u bazu, *LED* dioda (eng. *Light Emitting Diode*) zasvijetli i ostaje uključena 10 sekundi. Fotorezistor detektuje ovu svjetlost, a kada prag na fotorezistoru bude premašen, aktivira *Wi-Fi* (eng. *Wireless Fidelity*) *ESP8266* modul koji šalje email obavijest korisniku kao potvrdu da su podaci uspješno uneseni u lokalnu bazu. Ovaj dodatak omogućava efikasniji prijenos podataka i automatsko obavješćavanje korisnika.

Za slanje emaila koristi se *SMTP* (eng. *Simple Mail Transfer Protocol*), standardni protokol za prijenos elektronske pošte preko interneta. *ESP8266* modul, povezan putem *WeMos D1 Mini*, uspostavlja internet vezu pomoću *Wi-Fi* mreže koristeći naziv mreže (*SSID*) i šifru (*AP password*). Nakon uspostavljenih veza, *ESP8266* koristi *SMTP* protokol za autentifikaciju na email serveru pomoću korisničkog imena i šifre za email nalog. Za dodatnu sigurnost korištena je dvofaktorska autentifikacija *2FA* (eng. *Two-Factor Authentication*), koja zahtijeva dodatni sigurnosni kod pored šifre [3]. Ova zaštita sprječava neovlašteni pristup email nalogu, čak i ako šifra bude kompromitovana. Prilikom integracije s *ESP8266*, umjesto standardne šifre koristi se posebna aplikacijska šifra

generisana u postavkama email naloga upravo zbog aktiviranog 2FA. Kada podaci sa senzora pređu unaprijed definisani prag, *ESP8266* automatski šalje email obavijest korisniku. Na ovaj način, sistem omogućava pouzdano i sigurno automatsko obavještanje o promjenama, čime se korisniku osigurava pravovremena reakcija.

II. METODE

Detaljno objašnjenje sistema i metodologije korištene u bežičnom mjerenju obuhvata kako hardverski, tako i softverski aspekt sistema.

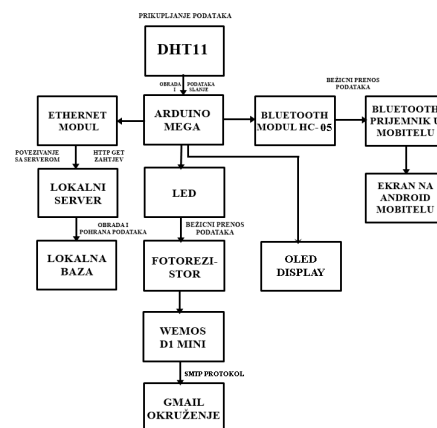
A. Hardver

Sistemske komponente koje čine hardverski dio sistema uključuju:

- 1) *Arduino Mega* - Mikrokontrolerska ploča zasnovana na *ATmega2560* čipu. Ima 54 digitalna pina, 16 analognih ulaza, 4 *UART* (eng. *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*) porta, 16 MHz kristalni oscilator, *USB* (eng. *Universal Serial Bus*) konektor, utičnicu za napajanje, *ICSP* (eng. *In-Circuit Serial Programming*) header i dugme za resetovanje. Ploču je dovoljno povezati sa računarom putem *USB* kabla ili napajati putem *AC-to-DC* adaptera ili baterije, te je kompatibilna sa većinom *shieldova* dizajniranih za *Uno*. U ovom slučaju upravlja svim funkcijama sistema.
- 2) *DHT11 senzor* - Senzor temperature i vlažnosti koji sadrži *NTC* (eng. *Negative Temperature Coefficient*) za mjerenje temperature i 8-bitni mikrokontroler za izlaz podataka o temperaturi i vlažnosti zraka kao serijske podatke. Koristi *VCC* (eng. *Voltage Common Collector*) za napajanje (5V), *GND* (eng. *Ground*) za uzemljenje, a *DATA* pin za isporučivanje podataka o temperaturi i vlažnosti.
- 3) *Bluetooth modul HC-05* - Omogućava bežičnu komunikaciju između *Arduina* i mobilnog telefona ili računara, s 6 pinova, razmjenom podataka u *master* ili *slave* načinu, udaljenosti do 100 metara i brzinom prijenosa do 1 *Mbps* (eng. *Megabits per second*). Ima sljedeće pinove: *VCC* za napajanje, *GND* za zemlju, *TX* (eng. *Transmit*) i *RX* (eng. *Receive*) za serijsku komunikaciju (slanje i prijem podataka), *STATE* za indicaciju statusa veze, *EN* (eng. *Enable*) za omogućavanje modula i *KEY* za aktiviranje "AT" moda za konfiguraciju.
- 4) *OLED ekran* - Predstavlja vrstu displeja koji koristi organska jedinjenja koja emituju svjetlost kada kroz njih prolazi električna struja. Za razliku od tradicionalnih *LCD* (eng. *Liquid Crystal Display*) ekrana, *OLED* displeji ne zahtijevaju pozadinsko osvjetljenje, jer svaki piksel samostalno emituje svjetlost [4]. Ovaj *OLED* displej ima rezoluciju od 128x64 piksela, što omogućava prikazivanje jasnih i preciznih informacija. *OLED* displej koristi *VCC* za napajanje (5V ili 3.3V), *GND* za zemlju, *SCL* (eng. *Serial Clock Line*) za serijski sat i *SDA* (eng. *Serial Data Line*) za serijski prijenos podataka.

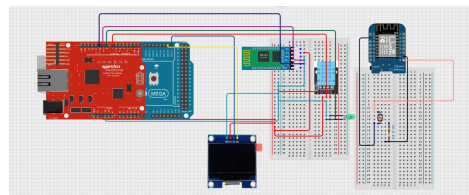
- 5) *WeMOS D1 Mini* - Predstavlja kompaktnu razvojnu ploču zasnovanu na *ESP8266 Wi-Fi* mikrokontroleru. Namijenjena je za projekte koji zahtijevaju bežičnu povezanost. Zahvaljujući svojim malim dimenzijama i niskoj potrošnji energije, idealna je za uređaje koji se povezuju na internet i međusobno komuniciraju.
- 6) *Ethernet shield* - Dodatak za *Arduino* pločice koji omogućava povezivanje uređaja na mrežu putem *Ethernet* kabla, omogućavajući komunikaciju preko interneta ili lokalne mreže.
- 7) *LED* - Elektronska komponenta koja emituje svjetlost kada kroz nju prolazi električna struja [5]. Koristi se kako bi se vršio prenos signala, odnosno podataka, koji trebaju biti prosljeđeni na mail.
- 8) *Fotorezistor* - Senzor koji mijenja svoj električni otpor u zavisnosti od intenziteta svjetlosti. Kada je izložen svjetlu, njegov otpor opada, dok u tamnijim uslovima njegov otpor raste.

Na slici 1, prikazana je blok shema koja daje pregled svih ključnih komponenti sistema i njihove međusobne povezanosti. Ova shema ilustrira kako svaka komponenta doprinosi funkcionisanju cjelokupnog sistema.



Slika 1. Blok dijagram razvijenog sistema

Na slici 2, prikazana je shema spoja koja uključuje sve potrebne komponente za implementaciju sistema. Svaka komponenta je označena, a linije povezivanja prikazuju kako su povezane na fizičkom nivou. Ova shema je ključna za pravilno povezivanje svih dijelova sistema i omogućava pravilno funkcionisanje prema definisanim protokolima.



Slika 2. Shema spajanja svih komponenti koristeći alat Cirkuit

B. Softver

Softverski dio sistema obuhvata nekoliko ključnih komponenta, uključujući mobilnu aplikaciju, razvojno okruženje za programiranje na *Arduinu*, te upotrebu različitih alata za pohranu i slanje podataka. Glavni elementi softverskog dijela sistema su:

- 1) *Mobilna aplikacija (Serial Bluetooth Terminal)* - Aplikacija koja omogućava bežičnu komunikaciju između mobilnog telefona i *Arduina* putem *Bluetooth* modula. Aplikacija prima podatke o temperaturi i vlažnosti te ih prikazuje na ekranu mobilnog uređaja u realnom vremenu.
- 2) *Arduino IDE (eng. Integrated Development Environment)* - Razvojno okruženje koje je korišteno za programiranje *Arduina*. U *Arduino IDE*-u se ispisuje kod koji omogućava *Arduinu* da prikuplja podatke sa senzora (DHT11), šalje ih putem *Bluetooth* modula ka mobilnoj aplikaciji i vrši proces slanja podataka u bazu. Također, ovaj kod upravlja *LCD* ekranom za lokalno prikazivanje podataka.
- 3) *Programski jezik Arduino (C++)* - *Arduino* se programira korištenjem modificirane verzije C++ jezika. Kod definiše pinove za senzor, *Bluetooth* modul i ekran, omogućavajući serijsku komunikaciju, periodično očitavanje podataka i njihovo pohranjivanje u bazu podataka.
- 4) *XAMPP* - Paket koji uključuje Apache server, *MySQL* i *PHP*, te se koristi za postavljanje lokalnog web servera. U ovom sistemu, *XAMPP* prihvata *HTTP* zahtjeve od *Arduina*, pohranjuje podatke u *MySQL* bazu i omogućava upravljanje tim podacima putem *PHP* skripti.
- 5) *Gmail* - Email usluga koja omogućava slanje i primanje obavijesti. U ovom sistemu, *Gmail* se koristi za slanje email obavijesti korisniku sa informacijama o temperaturi i vlažnosti zraka. *WiFi* modul šalje email obavijest putem *Gmail* usluge, potvrđujući upis podataka u bazu.

C. Algoritam

Algoritam za *Arduino* kod uključuje sljedeće korake:

- 1) Uvoz potrebnih biblioteka za rad sa DHT11 senzorom, SPI komunikaciju, serijsku komunikaciju, I2C komunikaciju, *OLED* ekrana, *WiFi* modul, *Ethernet* povezivanje i slanje email obavijesti putem SMTP protokola.
- 2) Inicijalizacija pinova za komunikaciju s *DHT11* senzorom, *Bluetooth* modulom (*HC-05*), (*Ethernet Shield*)-om, *OLED* ekranom i *LED* diodom.
- 3) Inicijalizacija varijabli za temperaturu i vlažnost te postavljanje početnih vrijednosti. Definišu se varijable za pohranu podataka sa senzora, uključujući inicijalizaciju vrijednosti za temperaturu i vlažnost, te konfiguraciju za ostale parametre sistema.
- 4) Postavljanje *baud rate-a* za *Bluetooth* komunikaciju i konfiguracija *Ethernet* modula (IP adresa). Određuje se brzina komunikacije za *Bluetooth* vezu, te se postavlja IP adresa za (*Ethernet Shield*), omogućujući povezivanje na lokalnu mrežu ili internet.

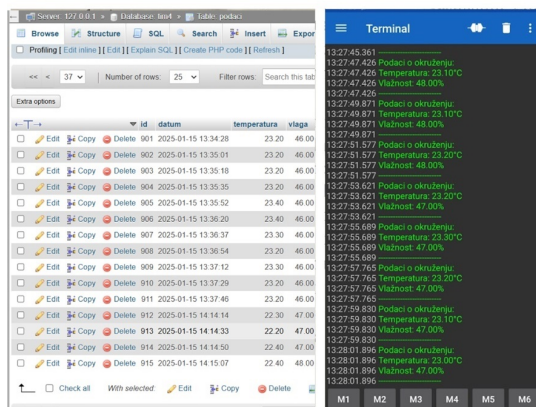
- 5) Čitanje podataka s DHT11 senzora (temperatura i vlažnost). Senzor DHT11 očitava i vraća podatke o temperaturi i vlažnosti, koji se zatim pohranjuju u varijable za daljnju obradu.
- 6) Slanje podataka (temperatura i vlažnost) putem *Bluetooth* modula na mobilnu aplikaciju u realnom vremenu. Podaci se šalju na mobilnu aplikaciju putem *Bluetooth* modula HC-05, omogućujući korisnicima praćenje parametara u stvarnom vremenu.
- 7) Prikazivanje očitanih podataka o temperaturi i vlažnosti na *OLED* ekranu, omogućujući korisnicima vizualni uvid u trenutne vrijednosti bez potrebe za povezivanjem s mobilnim uređajem.
- 8) Slanje prikupljenih podataka putem *HTTP GET* zahtjeva ka *PHP* skripti na serveru, koja zatim obrađuje i pohranjuje podatke u lokalnu *MySQL* bazu podataka.
- 9) Provjera uspješnosti slanja podataka u bazu. Nakon što podaci budu poslani na server, provodi se provjera uspješnosti slanja i pohrane podataka u bazu, kako bi se osigurao ispravan prenos.
- 10) Održavanje stabilne *Ethernet* veze za kontinuirani prijenos podataka u bazu. Sistem osigurava stabilnu *Ethernet* vezu, omogućujući kontinuirani prenos podataka na server bez prekida.
- 11) U slučaju gubitka *Ethernet* veze, ponovno uspostavljanje veze i nastavak slanja podataka. Ako dođe do gubitka *Ethernet* veze, sistem automatski pokušava ponovno uspostaviti vezu i nastaviti slanje podataka, osiguravajući stabilnost sistema.
- 12) Upotreba *VLC* tehnologije za prijenos podataka putem vidljive svjetlosti. Kada se podaci unesu u bazu, *LED* dioda svijetli 10 sekundi, aktivirajući fotorezistor, koji potom pokreće *ESP8266 Wi-Fi* modul.
- 13) Slanje email obavijesti korisniku putem *ESP8266* modula pomoću *SMTP* protokola. Kada fotorezistor detektuje svjetlost *LED* diode, *ESP8266* modul aktivira slanje email obavijesti korisniku putem *SMTP* protokola, potvrđujući da su podaci uspješno pohranjeni u bazu.
- 14) Korištenje *2FA* za sigurnost slanja -maila, tj. osigurava da je pristup emailu zaštićen od neovlaštenog korištenja.
- 15) Algoritam ponavlja proces očitavanja temperature i vlažnosti, slanja podataka na mobilnu aplikaciju i pohranu u bazu podataka, čime sistem osigurava kontinuirani rad i prikupljanje novih podataka.

III. REZULTATI I DISKUSIJA

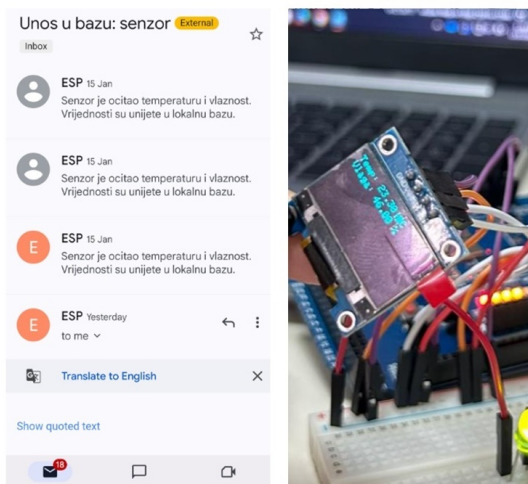
Projekat je uspješno demonstrirao integraciju različitih tehnologija za efikasno prikupljanje, obradu i prenos podataka o temperaturi i vlažnosti zraka. Omogućena je višekanalna komunikacija i pouzdano pohranjivanje podataka u lokalnu bazu. Implementacija *VLC* tehnologije i automatsko slanje e-mail obavijesti osigurali su inovativnu primjenu vidljive svjetlosne komunikacije i unaprijedili funkcionalnost sistema.

Na slikama 3 i 4 prikazani su ispis podataka na *Bluetooth* terminalu na mobilnom uređaju, gdje su podaci o temperaturi i vlažnosti u realnom vremenu prikazani korisniku, kao i ispis na

OLED displeju, koji korisnicima omogućava lokalno praćenje uslova okoline. Pored toga, slike prikazuje pohranjivanje tih podataka u lokalnu bazu podataka, te potvrdu o uspješnom upisu u bazi u vidu email-a. Ove slike potvrđuju uspješnu implementaciju sistema.



Slika 3. Prikaz rezultata - baza podataka i ekran mobitela



Slika 4. Prikaz rezultata - gmail i OLED

Tokom testiranja, izmjerene vrijednosti temperature kretale su se između 21°C i 24°C, dok je vlažnost zraka bila u rasponu od 45% do 48%. Ove vrijednosti su očekivane, s obzirom na to da su mjerenja obavljena u učionici fakulteta s uključenim grijanjem, gdje je ambijentalna temperatura kontrolisana. Ovi podaci potvrđuju tačnost i pouzdanost implementiranog sistema u stvarnim uslovima rada.

Budući da *Bluetooth* podržava samo *peer-to-peer* komunikaciju, jedan *Bluetooth* uređaj ne može istovremeno slati podatke i računaru i mobilnom telefonu. Ovo ograničenje uticalo je na dizajn sistema, zahtijevajući odabir dodatnih tehnologija za proširenje funkcionalnosti.

Iako izbor *Arduino W5100 Ethernet Shield* modula donosi brojne prednosti, njegov osnovni nedostatak je nemogućnost

bežičnog prenosa podataka od senzora do računara na kojem se informacije obrađuju. Također, tokom hardverske realizacije naišli smo na problem u kojem komunikacija sa *OLED* displejom nije bila moguća pri korištenju *Arduino Uno* pločice. Zamjena *Arduino Uno* pločice s *Arduino Mega* omogućila je uspješno očitavanje podataka i nesmetan rad sistema.

Preporuka za unapređenje je integracija *GSM* modula (eng. *Global System for Mobile Communications*), koji bi omogućio slanje *SMS* (eng. *Short Message Service*) obavijesti u situacijama kada internet nije dostupan, osiguravajući pravovremenu reakciju na ekstremne vrijednosti temperature i vlažnosti.

IV. ZAKLJUČAK

Ovaj rad opisuje razvoj sistema zasnovanog na *Arduino* platformi za prikupljanje, pohranu i slanje podataka o temperaturi i vlažnosti zraka. Sistem koristi *DHT11* senzor za mjerenje, *OLED* displej za lokalno prikazivanje podataka, te *Bluetooth* HC05 modul za bežični prenos podataka na mobilni uređaj. Pored toga, podaci se pohranjuju u lokalnu bazu podataka putem *Ethernet shield* modula, dok se koristi *VLC* tehnologija za slanje obavijesti putem *Wi-Fi ESP8266* modula kada se podaci unesu u bazu. Prototip sistema je testiran u laboratorijskim uslovima i postigao je zadovoljavajuće performanse za praćenje parametara okoline u realnom vremenu. Ovaj sistem može se primijeniti u različitim industrijama kao što su poljoprivreda (za praćenje uslova u staklenicima), skladištenje hrane i lijekova (za očuvanje kvaliteta proizvoda), laboratorijima (za precizno praćenje uslova eksperimenta), pametnim kućama (za automatsko podešavanje temperature i vlažnosti) i mnogim drugim oblastima.

LITERATURA

- [1] H. Wang, "Overview of Bluetooth Technology," July 3, 2001.
- [2] H. Burchardt, N. Serafimovski, D. Tsonev, S. Videv, and H. Haas, "VLC: Beyond Point-to-Point Communication," 2014.
- [3] V. V. Riabov, "SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)," Rivier College.
- [4] T. Tsujimura, "OLED display fundamentals and applications," 2017.
- [5] C.-H. Yeh, Y.-L. Liu, and C.-W. Chow, "Real-time white-light phosphor-LED visible light communication (VLC) with compact size"