

# IoT APLIKACIJA ZA NADZOR KVALITETE ZRAKA

---

**Petanović, David**

**Graduate thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split / Sveučilište u Splitu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:228:069777>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-01**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Stručni diplomski studij Elektrotehnika

**DAVID PETANOVIĆ**

**ZAVRŠNI RAD**

**IoT APLIKACIJA ZA NADZOR**  
**KVALITETE ZRAKA**

Split, rujan, 2023.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Stručni diplomski studij Elektrotehnika

**Predmet:** Senzorske mreže

**ZAVRŠNI RAD**

**Kandidat:** David Petanović

**Naslov rada:** IoT aplikacija za nadzor kvalitete zraka

**Mentor:** dr.sc. Tonko Kovačević

**Komentor:** Marko Meštrović, pred.

Split, rujan, 2023.

## SADRŽAJ

IoT aplikacija za nadzor kvalitete zraka.....	1
SAŽETAK:.....	1
1 UVOD.....	2
2 SENZORSKE MREŽE.....	3
2.1 Primjena.....	3
2.2 Arhitektura senzorskih mreža.....	4
2.3 Topologija senzorskih mreža.....	5
3 LoRaWan.....	7
3.1 Prednosti i nedostaci LoRaWAN.....	7
4 WIFI.....	10
4.1 Wifi opcije.....	10
4.2 Wifi standardi.....	11
4.3 Prednosti i nedostaci.....	12
5 IoT – Internet of things.....	14
5.1 IoT aplikacije.....	14
6 RAZVOJNA PLATFORMA.....	16
6.1 LoRa thing plus expLoRaBLE.....	16
6.1.1 Tehničke karakteristike.....	17
6.2 ESP32 – S2 WROOM Thing Plus.....	18
6.2.1 Tehničke karakteristike.....	18
6.3 Senzor kvalitete zraka.....	20
6.3.1 Tehničke karakteristike.....	21
6.3.2 VOC index.....	21
6.4 Temperaturni senzor.....	23
6.4.1 Tehničke karakteristike.....	23
6.5 Senzor tlaka.....	24
6.5.1 Tehničke karakteristike.....	25
6.5.2 MPR senzor.....	25

6.6	Qwiic konektorski sustav.....	26
7	IMPLEMENTACIJA.....	27
7.1	Bitne arduino biblioteke i funkcije .....	27
7.1.1	void OcitanjeKvaliteteZraka().....	28
7.1.2	void OcitanjeTemperature() .....	28
7.1.3	void OcitanjeTlaka() .....	29
7.1.4	void receiveEvent() .....	31
7.1.5	void loop() .....	32
8	ThingSpeak .....	34
8.1	Kreiranje kanala.....	35
8.2	Grafički prikaz.....	36
9	ZAKLJUČAK .....	38
	LITERATURA.....	39
	POPIS SLIKA .....	40
	POPIS TABLICA.....	41

## **IoT aplikacija za nadzor kvalitete zraka**

### **SAŽETAK:**

Problematika razmatrana u ovome radu obuhvaća projektiranje te realizaciju bežične senzorske mreže koristeći Wifi. Svrha senzorske mreže je mjerenje kvalitete zraka, temperature i tlaka zraka na području u kojem je instaliran senzorski čvor. Navedeni ishodi rada izvedeni su koristeći Sparkfun – ove senzore i mikrokontrolere koji su programirani u Arduino IDE programskom paketu a obrada i analiza podataka izvedena je na stranici ThingSpeak koja omogućuje IoT aplikaciju. Podatci se sa senzora na IoT aplikaciju šalju putem Wifi – a.

Ključne riječi: Sparkfun, ArduinoIDE, ThingSpeak, bežična senzorska mreža, senzorski čvor

## **IoT application for air quality monitoring**

### **SUMMARY:**

The problem considered in this work includes the design and implementation of a wireless sensor network using Wifi. The purpose of the sensor network is to measure air quality, temperature and air pressure in the area where the sensor node is installed. The above work results were performed using Sparkfun sensors and microcontrollers programmed in the Arduino IDE software package and data processing and data analysis was performed on ThingSpeak website which enables the IoT application. Data from sensor is sent to the IoT application via Wifi.

Keywords: Sparkfun, ArduinoIDE, ThingSpeak, wireless sensor network, sensor node

# 1 UVOD

Senzorske mreže predstavljaju jedno od najperspektivnijih područja suvremenih informacijskih tehnologija. Ovo područje se izdvaja po svojoj sposobnosti da transformira način na koji prikupljamo, analiziramo i koristimo podatke iz različitih okoliša i konteksta. Senzorske mreže su se razvijale i primjenjivale u različitim domenama, od praćenja okoline i medicinske dijagnostike, do industrijske automatizacije i pametnih gradova.

Ovaj diplomski rad će istražiti senzorske mreže, analizirajući ključne koncepte, tehnologije i primjene. Kroz ovu analizu, težimo ka boljem razumijevanju njihovog utjecaja na suvremeno društvo i industriju, kao i potencijalnim perspektivama za budući razvoj. Senzorske mreže su ključni dio šireg ekosustava "Internet stvari" (IoT), i kao takve, igraju nezaobilaznu ulogu u našem sve više povezanom svijetu.

Ovaj uvod nam služi kao polazna točka za istraživanje senzorskih mreža u narednim poglavljima ovog diplomskog rada, gdje ćemo dublje analizirati njihovu arhitekturu, tehničke izazove, primjene i buduće perspektive. U prvom poglavlju upoznat ćemo se sa osnovama senzorskih mreža, zatim ćemo se spomenuti Wifi senzorske mreže te LoRa Wan senzorske mreže zato što se ovaj rad može nadograditi na LoRa Wan mrežu. U trećem poglavlju objašnjene su komponente koje su korištene za izradu Wifi senzorske mreže te ćemo se u zadnjem poglavlju upoznati sa samom implementacijom diplomskog rada.

## 2 SENZORSKE MREŽE

Bežične senzorske mreže[1] prostorno su distribuirane računalne mreže koje se sastoje od međusobno udaljenih čvorova čija je namjena mjeriti stanja promatranog procesa te svrsishodno usmjeravati priskrbljene podatke kroz mrežu na željenu lokaciju. Takovi lokalno umreženi sustavi se potom putem gateway -a mogu povezati i na internet te na taj način postati dio IoT (*engl. Internet of Things*) nadsustava. Internet stvari (IoT) označava povezivanje uređaja putem interneta. Predstavlja mrežnu infrastrukturu u kojoj fizičke i virtualne "stvari" svih vrsta komuniciraju i nevidljivo su integrirane. Uređaje na pojedinim čvorovima u mreži karakteriziraju ograničeni hardverski resursi, mala potrošnja energije te energetska autonomija.

Senzorski čvorovi su obično gusto raspoređeni u senzorskom polju i prikupljaju i prosljeđuju prikupljene podatke iz neposrednog okruženja u kome se nalaze. Zavisno od toga jesu li implementirani u proaktivnim ili reaktivnim bežičnim senzorskim mrežama, postoje dvije grupe senzorskih čvorova:

- Senzorski čvorovi koji periodično uključuju senzore, prikupljaju i obrađuju podatke iz okruženja i informacije od interesa prosljeđuju korisnicima.
- Senzorski čvorovi koji u realnom vremenu reagiraju na svaku promjenu u mreži.

U ovome radu korištena je senzorska mreža bazirana na Wifi povezivosti te slanju podataka na gateway stranice ThingSpeak putem Wifi – a kao senzorska mreža koja periodično uključuje senzore, prikuplja informacije i šalje ih na gateway. Mikrokontroler korišten u radu u sebi sadrži LoRa pločicu te postoji mogućnost nadogradnje ovog sustava sa Wifi povezivosti na LoRa Wan bežičnu senzorsku mrežu.

### 2.1 Primjena

U današnje vrijeme, primjena senzorskih mreža se javlja u mnogobrojnim područjima kao što su:

- Vojne potrebe
- Praćenje životne sredine
- Medicinska i zdravstvena kontrola



- Industrijske primjene
- Primjena u prometu
- Precizna lokacija ljudi i objekata
- Pametne zgrade (smart house)

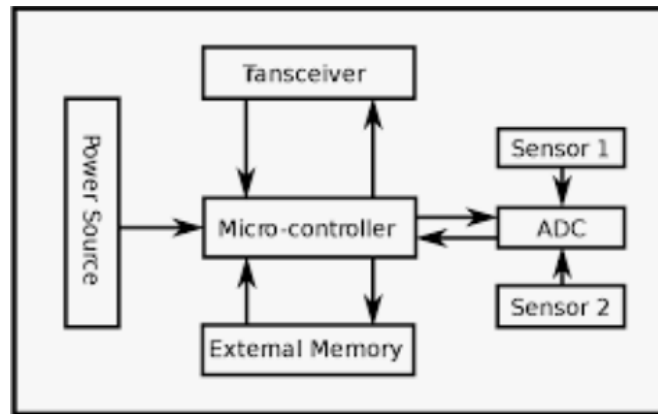
Mogućnosti senzorske mreže su izuzetno velike - od nadgledanja šumskih požara, do praćenja nivoa šećera u krvi čovjeka, pa do upotrebe u umjetnosti ili poljoprivredi. Niz scenarija gdje mogu naći primjenu je izuzetno veliki. Sa svojim djelovanjem na čovjeka i njegovu okolinu, može se reći da su senzorske mreže napravile revoluciju u tome kako i na koji način gledamo i djelujemo na svijet oko sebe. Senzorske mreže svakako predstavljaju veliko dostignuće čovječanstva, i otvaraju neslućene mogućnosti upotrebe.

## 2.2 Arhitektura senzorskih mreža

Senzorski čvorovi su raspoređeni u senzorskom polju. Svaki senzorski čvor prikuplja podatke i šalje ih primatelju. Strukturu senzorskog čvora čine sljedeća četiri osnovna bloka:

- senzorska jedinica (sensing unit) - Zadužena za prikupljanje podataka sa senzora
- primopredajna jedinica (transceiver unit) - Zadužena za prosljeđivanje podataka
- procesna jedinica (processing unit) - Zadužena za obradu prikupljenih podataka
- jedinica za napajanje (power unit) - Zadužena za napajanje cijelog sustava

Na slici 1 prikazana je osnovna arhitektura svake senzorske mreže. Baterija napaja mikrokontroler koji dalje upravlja i napaja ostale elemente sustava tj. senzore. Senzor prikuplja podatke o mjerenoj veličini i šalje ih na mikrokontroler koji te podatke sprema u memoriju i preko transceiver – a šalje na određeno odredište a to može biti drugi mikrokontroler kao primatelj, gateway i sl.



Slika 1 – Arhitektura senzorske mreže

### 2.3 Topologija senzorskih mreža

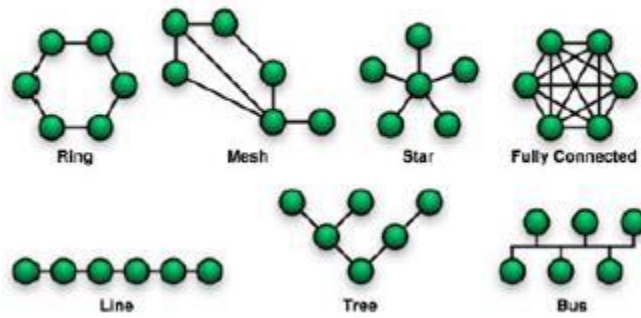
Topologija mreže [2] je raspored uređaja i veze između njih.

Mrežna topologija je shematski prikaz čvorova mreže i veza među njima. Postoje dvije vrste topologije mreže, to su:

- Fizička topologija – Pokazuje na koji su način fizički povezani čvorovi mreže
- Logička topologija – Govori o načinu na koji se prostire signal između čvorova mreže

Na slici 2 prikazane su vrste topologija senzorskih mreža a mogu biti:

- Linijska topologija
- Sabirnička topologija
- Zvezdasta topologija
- Prstenasta topologija
- Point to point topologija i dr.



Slika 2 - Vrste topologija senzorske mreže

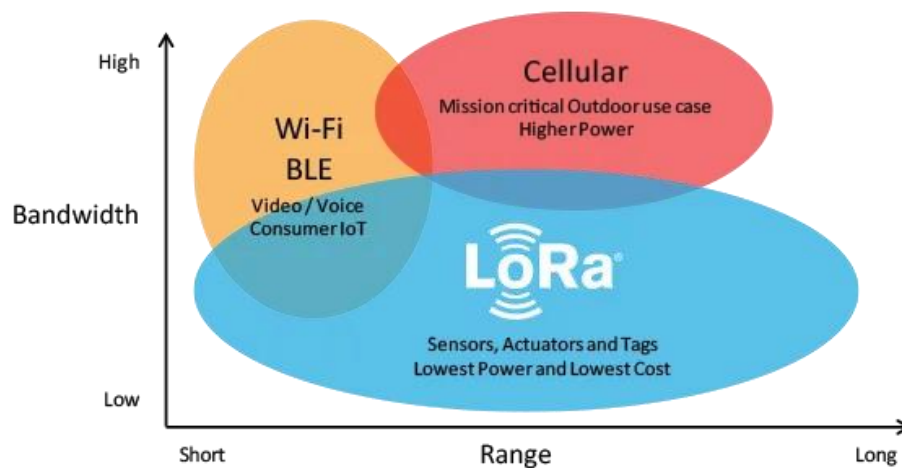
U topologiji zvijezde centralna stanica zahtjeva veću procesorsku moć zbog istovremene komunikacije sa više uređaja. Linijska ima sve uređaje spojene na centralnu jedinicu kroz zajedničku liniju. Centralna jedinica može komunicirati sa samo jednim uređajem u datom trenutku. Kod mrežaste topologije svi uređaji su spojeni na najmanje još dva uređaja (ili svi međusobno) a ako postoji - i glavnu stanicu. Kod point-to-point topologije ne postoji grananje veza (osim centralne jedinice). Ovakva mreža ima centralnu jedinicu vezanu na prvi uređaj, on sa drugim itd. i to su primjeri topologije zvijezde ili linije.

Topologija koja je korištena u ovome radu je linijska topologija.

### 3 LoRaWan

LoRaWAN je baziran na Media Access Control (MAC) protokolu izgrađen na osnovu LoRa modulacije. To je softverski sloj koji definira kako uređaji koriste LoRa hardver, na primjer kada odašilju, te koji im je format poruka.

LoRaWAN je prikladan za prijenos malih korisnih tereta (poput podataka senzora) na velike udaljenosti. LoRa modulacija pruža značajno veći komunikacijski raspon s niskim propusnostima od ostalih konkurentskih tehnologija bežičnog prijenosa podataka. Slika 3 prikazuje neke pristupne tehnologije koje se mogu koristiti za bežični prijenos podataka i njihove očekivane domete prijenosa u odnosu na propusnost.



Slika 3 – Pristupne tehnologije za bežični prijenos podataka

#### 3.1 Prednosti i nedostaci LoRaWAN

Prednosti LoRaWAN

- Veliki domet (veliko područje pokrivanja signalom) – gateway temeljen na LoRa tehnologiji može primiti i prenositi signale na udaljenosti većoj od 15 kilometara u ruralnim područjima. Čak i u gustom gradskom okruženju, poruke mogu prijeći i do pet kilometara, ovisno o tome koliko su duboko u zatvorenom prostoru krajnji uređaji (krajnji čvorovi).

- Niska potrošnja električne energije – podatkovni paketi su vrlo mali i prenose se samo nekoliko puta dnevno. Nadalje, kada krajnji uređaji spavaju, potrošnja energije mjeri se u milivatima (mW), omogućujući bateriji uređaja/senzora da traje 10-20 godina.
- Izvrsna penetracija radijskog signala unutar objekata
- Vrlo velik stupanj sigurnosti podataka.
- Fleksibilnost poslovnog modela LoRaWAN – Može biti usluga od strane pružatelja infrastrukture koja korisnicima omogućuje implementaciju senzora i rješenja bez investicije u izgradnju vlastite mreže. S druge strane može se koristiti za izgradnju privatnih mreža, koje omogućuje investitoru jednostavno i jeftino prikupljanje i upravljanje „mission-critical“ podacima.
- Veliki kapacitet - LoRaWAN mreža može podržati milijune poruka. Međutim, broj podržanih poruka u bilo kojoj implementaciji ovisi o broju instaliranih gateway-ova. Jedan osam-kanalni gateway može podržati nekoliko stotina tisuća poruka tijekom razdoblja od 24 sata. Ako svaki krajnji uređaj dnevno pošalje 10 poruka, takav gateway može podržati oko 10.000 uređaja. Ako mreža uključuje 10 takvih gateway-ova, mreža može podržati otprilike 100.000 uređaja i milijun poruka. Ako je potreban veći kapacitet, sve što je potrebno jest dodavanje novih pristupnika mreži.
- Niski kapitalni i operativni troškovi - Minimalna infrastruktura, jeftini krajnji čvorovi i softver otvorenog koda

Nedostatci za izgradnju privatnih mreža s LoRaWAN-om:

- LoRaWAN dobro funkcionira za neke aplikacije, ali nije najbolje prilagođen za klijentska rješenja (eng. customer-deployed solutions), odnosno privatne mreže. Glavni razlozi za to su:
  - Koegzistencija većeg broja gateway-a omogućuje interferencije, jer su s LoRaWAN-om svi pristupnici, bez obzira tko ih posjeduje ili upravlja s njima, podešeni na iste frekvencije.
- Ograničenje trajanja radnog ciklusa. U Europi je u većini slučajeva ograničenje radnog ciklusa jedan posto, što znači da svaki pojedinačni gateway ne može odašiljati duže od 1 % određenog ukupnog vremena. Zbog toga je gateway prilično ograničen u količini podataka koje može prenijeti. U SAD-u, FCC propisi za ISM pojas nemaju takva ograničenja.
- Promjenjiva jedinica maksimalnog prijenosa (MTU). Još jedno veliko ograničenje LoRaWAN-a je veličina korisničkog opterećenja MTU koja je promjenjiva ovisno o

faktoru širenja koji mreža dodjeljuje čvoru. Ako je čvor udaljen od pristupnika broj bajtova koji može prenijeti je mali, dok je onog koji je u blizini daleko veći. Stoga, firmver čvora ili aplikacija moraju biti sposobne prilagoditi se promjenama veličine korisničkog opterećenja na aplikacijskom sloju, što je vrlo teško kod razvoja firmvera.

## 4 WIFI

WiFi je tehnologija koja omogućuje uređajima poput računala (prijenosna i stolna računala), mobitela i drugih uređaja bežično komuniciranje jednih s drugima i s Internetom (pisači, kamere). Uređaji povezani s WiFi-em mogu međusobno razmjenjivati informacije, stvarajući mrežu. Prema IEEE 802.11 standardu, trenutni WiFi bežični uređaji, uključujući rutere i pristupne točke, koriste IEEE 802.11 protokol za razmjenu informacija. Različiti IEEE standardi podržani su bežičnim pristupnim točkama, a svaki je standard ratificiran tijekom vremena. Svaki standard djeluje na različitim frekvencijama i širinama pojasa i ima različit broj kanala. Za komunikaciju s uređajima, WiFi koristi radio frekvencije koje se mjere u gigahercima (GHz). WiFi koristi frekvencijske pojaseve od 2,4 GHz ili 5 GHz za signal. Neki uređaji s dvostrukim pojasom imaju mogućnost koja korisniku omogućuje odabir frekvencije koju želi koristiti za svoju WiFi mrežu. Različiti frekvencijski pojasevi imaju različit raspon i širine pojasa. 2,4 GHz nudi veću pokrivenost WiFi-em, ali sporije brzine. S druge strane, 5 GHz spektar brže prenosi podatke s manje pokrivenosti područja.

Razlika između interneta i Wifi – ja je da WiFi omogućuje uređajima da se međusobno povezuju i komuniciraju. Internet je, s druge strane, tehnologija koja omogućuje pristup informacijama iz cijelog svijeta koje su pohranjene na različitim poslužiteljima.

### 4.1 Wifi opcije

#### Bežična pristupna točka

Bežične pristupne točke (AP) omogućuju bežičnim uređajima povezivanje s Internetom ili drugim uređajima.

#### Bežični usmjerivač (ruter)

Bežični usmjerivač (ruter) je uređaj koji obično daju davatelji internetskih usluga (ISP) i obično se nalazi u privatnim domovima. Korisnici upotrebljavaju ove uređaje za povezivanje s Internetom putem kableske ili bežične tehnologije.

### Mobilna pristupna točka i prijenosni WiFi uređaj

Danas su mobilne pristupne točke uobičajena značajka svih mobitela. Imaju mogućnost napraviti mobilnu pristupnu točku s vlastitim mobilnim telefonom i podijeliti ga s drugim uređajima, dijeleći tako internetsku vezu.

Prijenosni WiFi uređaj je mali mobilni uređaj (često u obliku stika) koji se može nositi sa sobom kako bi se stvorila internetska veza i na njega povezalo različite uređaje poput mobitela ili prijenosnih računala. Koristi repetitore mobilnih operatera za pružanje usluge i ima 3G, 4G i 5G širokopojasni signal.

### WiFi mreže dugog dometa

Kao što ime govori, ova tehnologija vam pomaže proširiti WiFi signal tako da se mogu razmjenjivati podatci na većim udaljenostima nego inače.

U ovome radu korištena je bežična pristupna točka koja omogućuje mikrokontroleru ESP – 32 da se pomoću svog ugrađenog Wifi modula spoji na Iot.

## **4.2 Wifi standardi**

- 802.11

Prvi i izvorni standard. Koristio je frekvenciju od 2,4 GHz s maksimalnom brzinom 1 – 2 Mbits (megabitova u sekundi).

- 802.11b

Ovaj standard koristio je frekvenciju 2,4 GHz poput izvornog standarda i imao je teoretsku maksimalnu brzinu od 11 Mbps. Raspon je bio do 45 metara.

- 802.11a

Ovaj standard djelovao je na frekvenciji 5GHz s teoretskom maksimalnom brzinom od 54 Mbps. Imao je kraći domet od 802.11b.

- 802.11g



Ima teoretski maksimum od 54Mbps, ali djeluje u 2,4 GHz spektru. Kao rezultat toga, ima bolju pokrivenost od standarda 802.11a.

- 802.11n

Ovaj standard djeluje i u 2.4GHz i u 5GHz spektru. Teoretski maksimum bio je do 600 Mbps.

Uveo je MIMO tehnologiju. Također je retroaktivno nazvana WiFi 4.

- 802.11ac

Ovaj je standard djelovao samo u opsegu 5GHz. Donio je velika povećanja brzine, dosegnuvši do nekoliko Gbps. Uveo je MU-MIMO tehnologiju. Također se retroaktivno nazivao WiFi 5.

- 802.11ax

Poznat i kao WiFi 6 trenutni je standard koji se koristi širom svijeta. Pruža bolju potporu za 2,4 i 5 GHz spektar, a djeluje i u spektru od 6 GHz (WiFi6E). Može doseći brzinu do 9,6 Gbps.

Sadrži OFDMA tehnologiju koja je dizajnirana za WLAN upotrebu u gustim okruženjima kao što su uredi ili trgovački centri.

- 802.11be

Budući standard koji se jednostavno zove WiFi 7. Djelovat će u opsezima 2.4, 5 i 6 GHz. Očekuje se da će ponuditi veće brzine, veći doseg i veću povezanost.

### **4.3 Prednosti i nedostatci**

Prednosti korištenja Wifi mreže:

- Pogodnost - omogućuje se korisnicima pristup mrežnim resursima s gotovo bilo kojeg prikladnog mjesta u njihovom primarnom mrežnom okruženju (dom ili ured). Ovo je posebno relevantno radi sve veće zasićenosti prijenosnih računala.
- Mobilnost - pojavom javnih bežičnih mreža korisnici mogu pristupiti internetu čak i izvan svog uobičajenog radnog okruženja. Na primjer, većina lanaca kafića svojim kupcima nudi bežičnu vezu s internetom uz malu ili nikakvu cijenu.
- Produktivnost - korisnici povezani na bežičnu mrežu mogu održavati gotovo stalnu povezanost sa željenom mrežom dok se kreću od mjesta do mjesta. Za tvrtku to

podrazumijeva da zaposlenik potencijalno može biti produktivniji jer se njegov posao može obavljati s bilo kojeg prikladnog mjesta.

- Raspoređivanje - početno postavljanje bežične mreže temeljene na infrastrukturi zahtijeva nešto više od jedne pristupne točke. Žične mreže, s druge strane, imaju dodatne troškove i složenost stvarnih fizičkih kabela koji se provode na brojna mjesta (što čak može biti i nemoguće za teško dostupna mjesta u zgradi).
- Proširivost - bežične mreže mogu uslužiti naglo povećan broj klijenata s postojećom opremom, dok u ožičenoj mreži dodatni klijenti trebaju dodatno ožičenje.
- Trošak - bežične mreže i njihovo postavljanje su relativno isplativije za instalaciju u nekoj tvrtki

Nedostatci korištenja Wifi mreže:

- Sigurnost - bežične mreže smatraju se ranjivijima na hakerske napade. To uključuje neovlašteni pristup vašoj osobnoj mreži i može dovesti do krađe osjetljivih podataka. Neophodno je postaviti jaku lozinku za bežičnu mrežu. Wi-Fi treba isključiti kada ga više ne koristi.
- Domet - Tipični domet zajedničke 802.11g mreže sa standardnom opremom je reda veličine desetaka metara. Iako je dovoljan za tipičan dom, u većoj strukturi neće biti dovoljan. Da bi se dobio dodatni domet, morat će se kupiti repetitori ili dodatne pristupne točke. Troškovi za ove stavke mogu se brzo zbrojiti.
- Pouzdanost - Kao i svaki radiofrekvencijski prijenos, i bežični mrežni signali izloženi su širokom spektru smetnji, kao i složenim učincima širenja koji su izvan kontrole mrežnog administratora.
- Brzina - Brzina na većini bežičnih mreža (obično 1-54 Mbps) daleko je sporija od čak i najsporijih uobičajenih žičnih mreža (100 Mbps do nekoliko Gbps). Međutim, u specijaliziranim okruženjima možda će biti potreban protok žičane mreže

## 5 IoT – Internet of things

Internet stvari (*engl. Internet of Things*[4]) opisuje mrežu fizičkih objekata - "stvari" - u koje su ugrađeni senzori, softver i druge tehnologije u svrhu povezivanja i razmjene podataka s drugim uređajima i sustavima putem interneta. Ovi uređaji variraju od običnih kućanskih predmeta do sofisticiranih industrijskih alata.

Tehnologije koje su omogućile IoT su:

- Pristup jeftinoj tehnologiji senzora male snage. Pristupačni i pouzdani senzori omogućuju IoT tehnologiju većem broju proizvođača.
- Povezivost. Mnoštvo mrežnih protokola za internet olakšalo je povezivanje senzora s oblakom i drugim "stvarima" za učinkovit prijenos podataka.
- Platforme za računalstvo u oblaku. Povećanje dostupnosti platformi u oblaku omogućuje i tvrtkama i potrošačima pristup infrastrukturi koja im je potrebna za povećanje, a da zapravo ne moraju upravljati svime.
- Strojno učenje i analitika. S napretkom u strojnom učenju i analitici, zajedno s pristupom različitim i golemim količinama podataka pohranjenih u oblaku, tvrtke mogu prikupljati uvide brže i lakše. Pojava ovih srodnih tehnologija nastavlja pomicati granice IoT-a, a podaci koje proizvodi IoT također potiču te tehnologije.

### 5.1 IoT aplikacije

Sposobnost IoT-a da pruži informacije senzora, kao i da omogući komunikaciju između uređaja, pokreće širok skup aplikacija a neke od njih su:

- Nove učinkovitosti u proizvodnji putem praćenja stroja i kvalitete proizvoda.
  - Strojevi se mogu kontinuirano nadzirati i analizirati kako bismo bili sigurni da rade unutar potrebnih tolerancija. Proizvodi se također mogu nadzirati u stvarnom vremenu kako bi se identificirali i otklonili nedostaci kvalitete.
- Praćenje i "ograđivanje" fizičke imovine.
  - Praćenje omogućuje tvrtkama da brzo utvrde lokaciju imovine. Ograđivanje im omogućuje da budu sigurni da je imovina visoke vrijednosti zaštićena od krađe i uklanjanja.

- Nosivi uređaji za praćenje analitike ljudskog zdravlja i uvjeta okoliša.
  - IoT nosivi uređaji omogućuju ljudima da bolje razumiju vlastito zdravlje, a liječnicima omogućuju daljinski nadzor pacijenata. Ova tehnologija također omogućuje tvrtkama da prate zdravlje i sigurnost svojih zaposlenika, što je posebno korisno za radnike zaposlene u opasnim uvjetima.
- Povećana učinkovitost i nove mogućnosti u postojećim procesima.
  - Jedan primjer za to je korištenje IoT-a za povećanje učinkovitosti i sigurnosti u povezanoj logistici za upravljanje voznim parkom. Tvrtke mogu koristiti IoT nadzor voznog parka za usmjeravanje kamiona, u stvarnom vremenu, za poboljšanje učinkovitosti.
- Meteorološka stanica
  - Primjer je ovaj diplomski rad koji mjeri temperaturu i kvalitetu zraka na području Sveučilišnog odjela za stručne studije u Splitu gdje svaka osoba može sa bilo koje lokacije vidjeti kakvi su uvjeti zraka i temperature na točno tome području

## 6 RAZVOJNA PLATFORMA

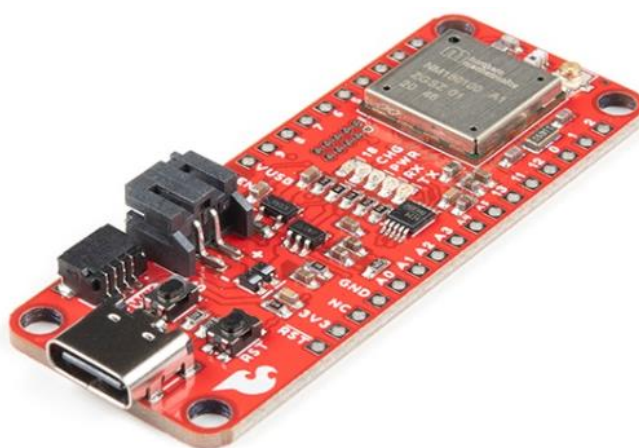
U tablici 1 navedene su i prikazane sve hardware komponente korištene pri izradi senzorske mreže.

NAZIV KOMPONENTE	OPIS	KOLIČINA
LoRa Thing Plus - expLoRaBLE	Mikrokontroler	1
ESP32 – S2 Thing Plus	WiFi kompatibilan mikrokontroler	1
Sparkfun SGP40	Senzor kvalitete zraka	1
Sparkfun AS6212	Temperaturni senzor	1
Sparkfun SEN - 16476	Senzor tlaka	1

Tablica 1 – Popis komponenti

### 6.1 LoRa thing plus expLoRaBLE

LoRa thing plus expLoRaBLE[5] je mikrokontroler koji zahvaljujući NM180100 paketu podržava radio frekvencijske pojaseve u opsegu 868MHz - 915MHz i Bluetooth® Low Energy. Povrh svega ostalog, EXLORABLE Thing Plus koristi naš Qwiic Connect System što znači da nije potrebno lemljenje ili razvojna pločica za povezivanje s ostatkom sustava već se sve komponente međusobno povezuju u linijsku topologiju pomoću Qwiic kabela.



Slika 4 – LoRa thing plus expLoRaBLE mikrokontroler

Mikrokontroler ima glavnu ulogu u ovome radu. On je povezan sa svim senzorima i svake sekunde prima njihova očitavanja koja zatim šalje na ESP – 32 mikrokontroler putem integrirane

I2C Qwiic komunikacije te ESP – 32 svake minute ta očitavanja šalje na ThinSpeak gateway gdje su rezultati grafički prikazani i može im pristupiti bilo tko u bilo kojem trenutku i može vidjeti trenutno stanje kvalitete zraka i osjeta temperature na području Sveučilišnog odjela.

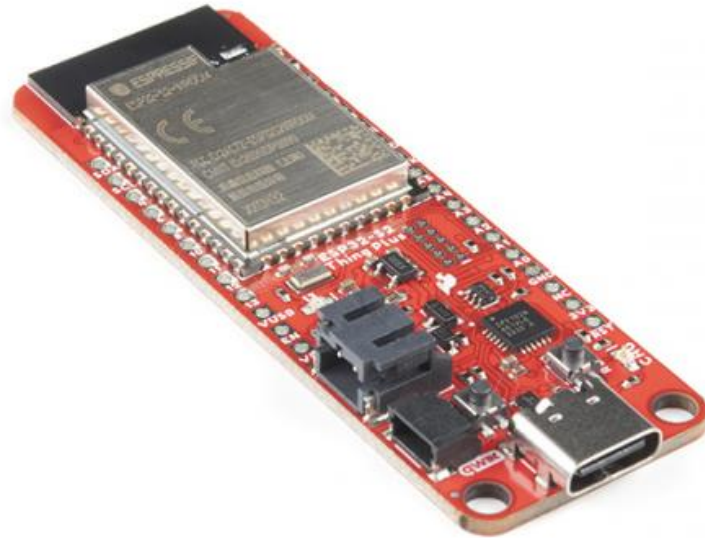
### 6.1.1 Tehničke karakteristike

Tehničke karakteristike mikrokontrolera su:

- 3,3 V - regulirani izvor napona od 3,3 V.
  - Regulira se putem USB 5V priključka za napajanje i/ili baterije.
  - Koristi se za napajanje NM180100 SiP i Qwiic I 2 C sabirnice.
- USB - Napon iz USB-C konektora, obično 5V.
- VBAT - Napon iz JST konektora baterije; namijenjen za jednoćelijske LiPo baterije.
- GND - zajedničko uzemljenje ili referenca od 0 V za napajanje naponom.
- 2 – PIN JST konektor za napajanje LiPo baterijom
- 4 – PIN JST Qwiic konektor za povezivost sa ostatkom sustava
- 21 analogni (PWM) ulaz/izlaz
- Dimenzije: 5.8 x 2.2 cm
- LoRa pojas:
  - 863-870 MHz (Europa)
  - 902-928 MHz (SAD)
  - Maksimalna snaga prijensa +22 dBm
  - Osjetljivost prijemnika -147,6 dBm
- Bluetooth:
  - 2,402-2,480 GHz
  - Maksimalna snaga prijensa +2 dBm
  - Osjetljivost prijemnika -95 dBm
- Arhitektura:
  - Ambiq Apollo3 ARM® Cortex® M4 s FPU do 96MHz
  - Arduino IDE kroz SparkFun Apollo3 Arduino Core
  - Flash: 1 MB na čipu s podrškom za vanjski flash
  - RAM: 384 kB

## 6.2 ESP32 – S2 WROOM Thing Plus

SparkFun ESP32-S2 WROOM Thing Plus [6] prikazan na slici 6 je visoko integrirana razvojna ploča opremljena 2,4 GHz WiFi sustavom na čipu (SoC).



Slika 5 – ESP32 – S2 WROOM Thing Plus

U ovom diplomskom radu uloga mikrokontrolera ESP32 – S2 je da komunicira sa LoRa thing plus expLoRaBLE mikrokontrolerom i od njega prima očitane vrijednosti senzora te ih šalje na gateway gdje su ti rezultati i grafički prikazani. ESP32 – S2 je potreban u komunikaciji sa sa LoRa thing plus expLoRaBLE mikrokontrolerom zato što ESP32 podržava standardni Arduino Core te pomoću svog integriranog Wifi modula može se spojiti na internet i slati informacije na gateway. ESP32 – S2 ne podržava popratne programske datoteke korištenih senzora koje su potrebne za rad istih te se zato koristi LoRa thing plus expLoRaBLE mikrokontroler koji podržava te datoteke, očitava vrijednosti senzora i šalje ih na ESP32 – S2 koji ih prima i prosljeđuje na gateway, dok LoRa thing plus expLoRaBLE mikrokontroler nema integriran Wifi i ne može se povezati sa IoT već mikrokontroler koristi antenu za slanje i primanje RF signala prema LoRa standardu.

### 6.2.1 Tehničke karakteristike

ESP32-S2 Thing Plus zahtijeva samo 3,3 V za napajanje ploče. Ipak, najjednostavniji način napajanja ploče je USB-C konektor. Na ploči su dostupni dodatni pinovi za napajanje:

- 3,3 V - regulirani izvor napona od 3,3 V.
  - Regulira se putem USB 5V priključka za napajanje i/ili baterije.
  - Koristi se za napajanje ESP32-S2 modula i Qwiic I 2 C sabirnice.
- USB - Napon iz USB-C konektora, obično 5V.
- VBAT - Napon iz JST konektora baterije; namijenjen za jednoćelijske LiPo baterije.
- GND - zajedničko uzemljenje ili referenca od 0 V za napajanje naponom.
- Xtensa® Jednojezgreni 32-bitni LX7 mikroprocesor (do 240MHz)
  - RISC-V ULP koprocesor
  - 128KB ROM i 320KB SRAM
  - 4 MB ugrađene SPI flash memorije
- Kriptografski hardverski akceleratori
  - AES, ECB/CBC/OFB/CFB/CTR, GCM, SHA, RSA i ECC (digitalni potpis)
- Fizičke sigurnosne značajke
  - Transparentna vanjska flash i RAM enkripcija (AES-XTS)
  - Značajka Secure Boot osigurava da se pokreće samo potpisani firmware (s RSA-PSS potpisom)
  - Moduli HMAC i digitalni potpis koriste softverski nedostupne ključeve za generiranje SHA-MAC i MAC potpisa
- Integrirani 802.11 b/g/n WiFi 2,4 GHz primopredajnik (do 150 Mbps)
- Integrirani senzor temperature (-20°C do 110°C)
- Radni napon: 3,0 do 3,6 V
  - WiFi: 310 mA (vršno)
  - Light-Sleep: 550µA
  - Deep-Sleep: 20-235µA
- 21 Dostupan GPIO
  - 16x 12-bitnih ADC kanala
  - 2x 8-bitni DAC
  - 14x kapacitivni senzor dodira
  - 4x SPI (samo je jedan konfiguriran prema zadanim postavkama u Arduino IDE)
  - 1x I 2 S
  - 2x I 2 C (samo je jedan konfiguriran prema zadanim postavkama u Arduino IDE)



- 2x UART (oba su konfigurirana prema zadanim postavkama u Arduino IDE, jedan UART se koristi za bootloading/debug)
- 8x PWM kanala

### 6.3 Senzor kvalitete zraka

SparkFun SGP40 [7] prikazan na slici 7 senzor kvalitete zraka omogućuje mjerenje kvalitete zraka prostora u kojem se nalazi.



Slika 6 – SGP40 Senzor kvalitete zraka

SGP40 koristi senzor metalnog oksida (MOx) s temperaturno kontroliranom mikro grijaćom pločom i daje signal kvalitete zraka temeljen na hlapljivom organskom spoju (VOC) s kompenzacijom vlage. I senzorski element i VOC algoritam imaju neusporedivu robusnost protiv kontaminirajućih plinova prisutnih u stvarnim aplikacijama, omogućujući jedinstvenu dugotrajnu stabilnost kao i nisko pomicanje i varijacije između uređaja.

SGP40 ne vraća specifične koncentracije ili VOC plinove. Umjesto toga, daje digitalnu vrijednost temeljenu na uobičajenim VOC plinovima prisutnim u zatvorenom prostoru i ta se vrijednost može kombinirati sa Sensirionovim algoritmom indeksa VOC za otkrivanje relativnog intenziteta VOC događaja u odnosu na prosječna očitavanja u razdoblju od 24 sata.

SGP40 komunicira putem I<sup>2</sup>C tako da su pinovi na senzoru zamijenjeni na Qwiic konektore tako da se može jednostavno spojiti na SparkFunov Qwiic sustav.

### 6.3.1 Tehničke karakteristike

Tehničke karakteristike SGP40 senzora kvalitete zraka su:

- Koristi I 2 C sučelje (omogućeno za Qwiic)
  - I 2 C Adresa: 0x59
  - 2x Qwiic konektora
- Raspon radnog napona:
  - 1,7 V - 3,6 V (Tip. 3,3 V)
  - Qwiic sučelje pruža 3,3 V
- Tipična strujna potrošnja:
  - 2,6 mA tijekom neprekidnog rada (na 3,3 V)
  - 34 $\mu$ A u mirovanju (grijač isključen)
- Izlazni signal:
  - Digitalna neobrađena vrijednost (SRAW): 0 - 65535 tikova
  - Digitalno obrađena vrijednost (VOC Index): 0 - 500 VOC Index bodova
- Ponašanje pri uključivanju:
  - Vrijeme do pouzdanog otkrivanja VOC događaja: <60 s
  - Vrijeme do ispunjavanja specifikacija: <1h
- Preporučeni interval uzorkovanja:
  - VOC indeks: 1s
  - SRAW: 0,5 s - 10 s (tip. 1 s)

### 6.3.2 VOC index

VOC indeks skraćeno od *engl. Volatile Organic Compounds* što znači hlapljivi organski spojevi opisuje trenutni VOC status okoline u kojoj se nalazi.

Hlapljivi organski spojevi su skupina spojeva koji se kao plinovi emitiraju u zrak iz proizvoda i procesa. Stvari kao što su boje, otapala, aerosoli, pesticidi, osvježivači zraka, ljepila, proizvodi za čišćenje i dezinficijensi proizvode VOC. Uredski pisari i fotokopirni strojevi mogu biti drugi izvori hlapljivih organskih spojeva u zgradama, a prisutni su u nekim materijalima za ispis kao što su tinte.

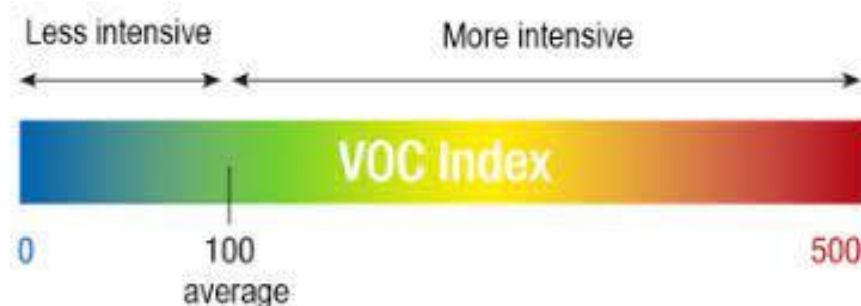
Također se emitiraju iz novog namještaja i tepiha u procesu poznatom kao 'otplinjavanje'. Što znači da, iako je primamljivo razmišljati o starim zgradama kao o najgorim krivcima za kvalitetu zraka, nove ili nedavno renovirane zgrade zapravo mogu imati više razine hlapljivih organskih spojeva. VOC također mogu ući u zgradu putem onečišćenog vanjskog zraka.

Uobičajeni primjeri hlapljivih organskih spojeva su:

- Benzin, ispušten iz nafte
- Formaldehid, čest u mnogim tkaninama, premazima i građevinskim materijalima
- Aceton, pronađena tapeta
- Etanol, koji se nalazi u bojama
- Butanon, koji se nalazi u bojama i drugim premazima, ljepilima i proizvodima za čišćenje
- Etilen glikol, koristi se u industrijskim otapalima, bojama i deterdžentima
- Metilen klorid, koristi se za skidanje boje, odmašćivanje, čišćenje i proizvodnju

Na temelju navedenog možemo zaključiti kako se SGP40 senzor kvalitete zraka na temelju VOC indeksa ponaša kao ljudski nos koji osjeća trenutni intenzitet VOC indeksa u prostoriji ili okolini u kojoj se nalazi te na temelju toga možemo dobiti podatke o onečišćenju ili čistoći zraka.

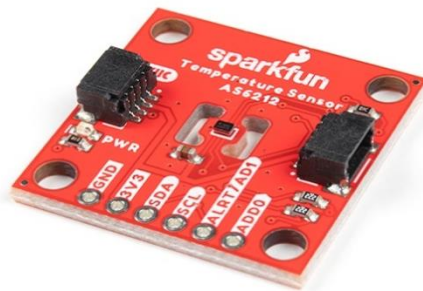
Na slici 8 prikazana je razina VOC indeksa koja prikazuje da prosječna kvaliteta zraka ima vrijednost 100. Ako je vrijednost indeksa manja od prosječne znači da je zrak čišći i manje intenzivan, sa samim time i kvalitetniji. Ako je vrijednost indeksa veća od prosječne znači da je zrak onečišćeniji i jače intenzivan.



Slika 7 – VOC indeks

## 6.4 Temperaturni senzor

SparkFun Qwiic AS6212 digitalni temperaturni senzor [8] prikazan na slici 9 pruža kombinaciju točnosti visoke temperature s izvrsnom niskom potrošnjom energije pomoću digitalnog temperaturnog senzora AS6212 tvrtke ams AG.



Slika 8 – AS6212 senzor

Senzor mjeri podatke o temperaturi do  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ; točnost u širokom rasponu ( $-40^{\circ}\text{C}$ ; do  $+125^{\circ}\text{C}$ ;) i troši prosječno  $6\mu\text{A}$  u normalnom radu ( $0,1\mu\text{A}$  u stanju pripravnosti). AS6212 komunicira preko I<sup>2</sup>C i ima osam dostupnih I<sup>2</sup>C adresa odabranih parom lemljenih kratkospojnika na ploči. Zadani rad senzora je napravljen preko spajanja 4 – pin JST konektora preko ranije spomenutog Qwiic sustava gdje nije potrebno lemljenje niti dodatna PCB pločica za spajanje sa ostatkom sustava već se povezivost ostvaruje kabelom.

### 6.4.1 Tehničke karakteristike

Tehničke karakteristike AS6212 temperaturnog senzora su:

- Komunicira putem I<sup>2</sup>C (Qwiic omogućen)
- Osam I<sup>2</sup>C adresa koje se mogu odabrati ( 0x48 zadano)
- Raspon radne temperature:  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $125^{\circ}\text{C}$
- Preciznost visoke temperature:
  - $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $65^{\circ}\text{C}$
  - $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $-10^{\circ}\text{C}$  i  $65^{\circ}\text{C}$  do  $85^{\circ}\text{C}$
  - $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  od  $85^{\circ}\text{C}$  do  $125^{\circ}\text{C}$
- Raspon radnog napona: 1,7 V - 3,6 V

- Niska potrošnja energije
  - $6\mu\text{A}$  tipično
  - $0,1\mu\text{A}$  stanje pripravnosti

## 6.5 Senzor tlaka

SparkFun Qwiic MicroPressure Sensor [9] prikazan na slici 10 je senzor atmosferskog tlaka opremljen Honeywellovim piezorrezistivnim silikonskim senzorom tlaka od 25 psi (1723.7hPa).



Slika 9 – Qwiic senzor tlaka

MicroPressure senzor nudi kalibrirani i kompenzirani raspon senzora tlaka od 60mbar do 2,5bar, lako čitljiv 24-bitni digitalni I<sup>2</sup>C izlaz, i može se kalibrirati i kompenzirati u određenom temperaturnom rasponu za pomak senzora. Senzor je poznat po ultra-niskoj potrošnji energije i jednostavnim Qwiic priključcima.

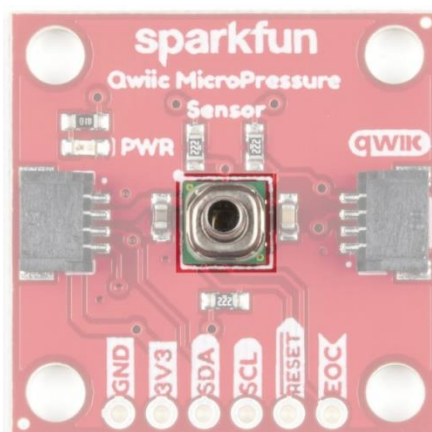
Svaki Qwiic MicroPressure senzor ima kalibrirani raspon senzora tlaka od 1-25 psi i stopu potrošnje energije od samo 0,01 mW obično. Prosječna snaga, frekvencija mjerenja od 1Hz za vrhunsku prenosivost. SparkFun Qwiic MicroPressure Sensor koristi se u više grana kao što su zdravstvo (kontrola krvnog tlaka, terapija rana negativnim tlakom), industrija (sustavi zračnog kočenja, mjerači plina i vode) i široke potrošnje (aparati za kavu, ovlaživači zraka, zračni kreveti, perilice rublja, perilice posuđa).

### 6.5.1 Tehničke karakteristike

- Vrsta tlaka: Apsolutni
- Radni tlak: 25 psi (172,37 kPa)
- I 2 C Adresa: 0x18
- Točnost:  $\pm 0,25\%$
- Napon - Napajanje: 1,8V-3,6V
- Veličina priključka: muški - 0,1" (2,5 mm)
- Maksimalni tlak: 60 psi (413,69 kPa)
- 2x Qwiic konektora

### 6.5.2 MPR senzor

Honeywellov senzor MPR serije MPRLS0025PA00001A, prikazan na slici 11 vrlo je mali piezorezistivni silikonski senzor tlaka koji nudi digitalni izlaz spreman za I 2 C za očitavanje tlaka preko navedenog raspona tlaka i temperature u punoj ljestvici. Sam senzor ima dimenzije 5 mm x 5 mm i ima kalibrirani raspon senzora tlaka od 1-25 PSI. Kompatibilan je s raznim tekućim medijima, ima kompenzirani temperaturni raspon od 0°C do 50°C (32°F do 122°F) i ima raspon ukupnih pogrešaka nakon automatskog postavljanja na nulu samo od  $\pm 1,25\%$  FSS.

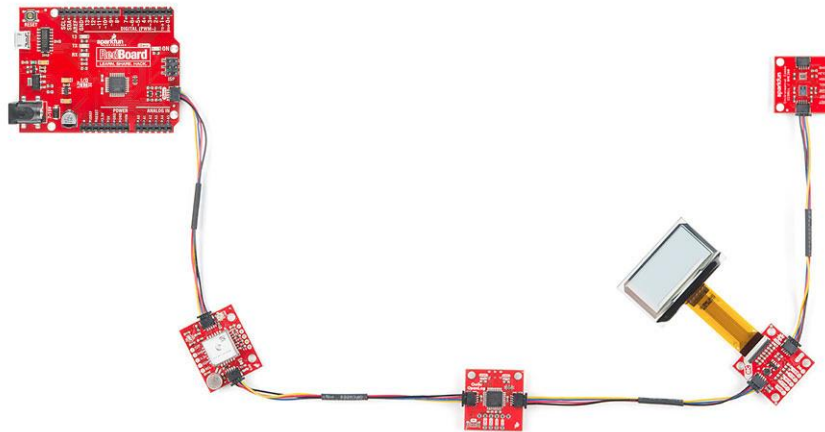


Slika 10 – MPR senzor

## 6.6 Qwiic konektorski sustav

U prethodnim potpoglavljima spomenuto je kako se sve komponente spajaju preko Qwiic konektora.

SparkFun - ov Qwiic Connect System prikazan na slici 12 koristi 4-pinske JST konektore za brzo povezivanje razvojnih ploča sa sensorima, LCD-ima, relejima i više.



Slika 11 – Qwiic sustav

Prednosti:

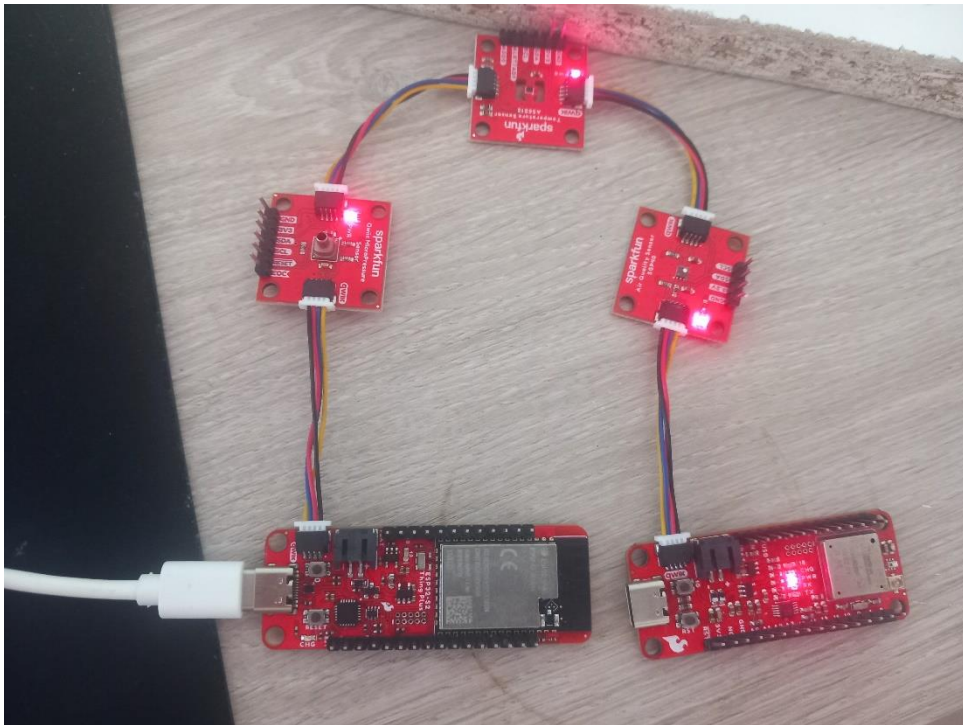
- Nema lemljenja, nije potrebno praviti dodatnu PCB pločicu za povezivanje senzora
- Polarizirani konektor – konektor kabela je dimenzioniran na način da se ne mogu slučajno zamijeniti pinovi već se kabel može priključiti na samo jedan način.
- Lančano sposoban – senzori su dimenzionirani da imaju po 2 Qwiic konektora tako da se senzori mogu spajati u liniju jedan s drugim

Qwiic konektor koji se nalazi na sensorima i mikrokontrolerima sastoji se od 4 pina:

- Napajanje od 3.3V
- GND
- SDA – Serial data
- SCL – Serial clock

## 7 IMPLEMENTACIJA

Senzorska mreža korištena u ovome radu prikazana je na slici 13 i sastoji se od dva mikrokontrolera i senzora koji su objašnjeni u prethodnom poglavlju. Mikrokontroler LoRa thing plus expLoRable prikuplja informacije sa senzora te te informacije putem I2C komunikacije šalje na Esp32 koji preko Wifi modula podatke šalje na stranicu gdje su podatci prikazani grafički.



Slika 12 – LoRa Wan senzorska mreža

### 7.1 Bitne arduino biblioteke i funkcije

Pri realizaciji bežične senzorske mreže u okviru pisanja programskog koda za Arduino mikrokontrolere korištene su sljedeće biblioteke koje sadrže neke od gotovih setova korištenih funkcija i metoda:

- SparkFun\_MicroPressure.h – biblioteka za senzor tlaka



- "SparkFun\_SGP40\_Arduino\_Library.h" – biblioteka za senzor kvalitete zraka
- "SparkFun\_AS6212\_Qwiic.h" - biblioteka za senzor temperature
- "WiFi.h" – biblioteka za korištenje Wifi modula
- "ThingSpeak.h" – biblioteka za povezivost sa ThingSpeak stranicom

Neke od bitnijih funkcija koje se koriste na strani mjeriteljskog čvora su :

- void OcitanjeKvaliteteZraka()
- void OcitanjeTemperature()
- void OcitanjeTlaka()

Neke od bitnijih funkcija koje se koriste na strani ESP32 su:

- void receiveEvent()
- void loop()

### 7.1.1 void OcitanjeKvaliteteZraka()

Funkcija služi za očitavanje kvalitete zraka sa senzora SGP40 i podatke šalje na ESP32 putem I2C komunikacije.

```
void OcitanjeKvaliteteZraka()
{
x = SenzorKvaliteteZraka.getVOCindex(); //pohranjivanje vrijednosti u varijablu
Wire.beginTransmission(8); // početak I2C komunikacije na adresi 8
Wire.write("Kvaliteta zraka: "); // slanje teksta
Wire.write(x); //slanje vrijednosti kvalitete zraka
Wire.endTransmission(); // zaustavljanje prijenosa
Serial.print("Kvaliteta zraka: "); //ispis teksta na serijskom monitoru
Serial.println(x); //ispis vrijednosti na serijskom monitoru
}
```

### 7.1.2 void OcitanjeTemperature()

Funkcija služi za očitavanje podatka s senzora AS6212 koji mjeri temperaturu te podatke šalje na ESP 32 putem I2C komunikacije.

```
void OcitanjeTemperature()
{
  x = TemperaturniSenzor.readTempC(); //pohranjivanje vrijednosti u varijablu
  Wire.beginTransmission(8); // početak I2C komunikacije na adresi 8
  Wire.write("Temperatura: ");      // slanje teksta
  Wire.write(x); //slanje vrijednosti o temperaturi
  Wire.endTransmission(); // zaustavljanje prijenosa
  Serial.print("Temperatura"); //ispis teksta na serijskom monitoru
  Serial.println(x); //ispis vrijednosti na serijskom monitoru
}
```

### 7.1.3 void OcitanjeTlaka()

Funkcija služi za očitavanje vrijednosti sa senzora tlaka te ju šalje na ESP 32 putem I2C komunikacije. I2C komunikacija služi za prijenos cijelih brojeva i to u vrijednosti od 0 do 255 bajtova (*engl. bytes*). Pri očitavanju vrijednosti o tlaku dobijemo decimalni broj u iznosu od nekoliko tisuća pascala. Taj broj nam predstavlja problem jer ga se ne može poslati I2C komunikacijom koja ne može prenijeti toliko bajtova i ne može prenijeti decimalni broj. Senzor tlaka vrijednost može očitati u nekoliko mjernih jedinica. Senzor mjeri tlak u mjernoj jedinici PSI (*engl. Pound per square inch*) koja mjeri tlak u rasponu od 1 – 25 PSI. Rezultati su grafički prikazani u hPa (skr. hekto pascal) ili točnije u  $10^2$  Pa.

Mjernu jedinicu PSI pretvaramo u Pa tako da se rezultat pomnoži sa koeficijentom koji iznosi da  $1 \text{ PSI} = 6894,75729 \text{ Pa}$ . Drugi problem je da je vrijednost decimalna a decimalni broj se ne može poslati I2C komunikacijom. Zato u funkciji prvo pošaljemo cijeli broj.

Npr. ako dobijemo vrijednost od 15.53 PSI. I2C komunikacijom prvo pošaljemo cijeli broj 15 zatim decimalni broj 15.53 oduzmemo sa cijelim brojom samim sebe i dobijemo 0.53 te tu vrijednost pomnožimo sa 100 i dobijemo vrijednost 53 te ju pošaljemo I2C komunikacijom. ESP32 prvo primi vrijednost cijelog broja a kada primi drugi broj, u ovome slučaju broj 53, njega podijeli sa 100 te zbroji ova dva broja i dobije vrijednost 15,53 koju tada množi sa koeficijentom da dobije vrijednost u paskalima.

```

void OcitanjeTlaka()
{
  x = SenzorTlaka.readPressure(); // pohranjivanje vrijednosti u varijablu x
  Wire.beginTransmission(8); // početak I2C komunikacije na adresi 8
  Wire.write("Tlak1: ");      // slanje teksta
  Wire.write(x);              // slanje podatka o tlaku
  Wire.endTransmission();

  zaokruzeno = round(x); //zaokruzivanje na cijeli broj
  cc = x - zaokruzeno; //pohranjivanje vrijednosti u varijablu cc
  Serial.print("zaokruzeno");
  Serial.println(zaokruzeno);
  delay(1000);

  if (cc < 0) //ako je vrijednost cc manja od 0
  {
    x = cc + 1; //vrijednost x = vrijednost cc + 1
    x = x * 100; //vrijednost x = vrijednost x * 100;
    Wire.beginTransmission(8); // početak I2C komunikacije na adresi 8
    Wire.write("Tlak2: ");      // slanje teksta
    Wire.write(x);              // slanje podatka o tlaku
    Wire.endTransmission(); //završetak komunikacije
    Serial.print("tlak2");
    Serial.println(x);
  }

  if (cc > 0) //ako je vrijednost cc veća od 0
  {
    x = cc * 100; // vrijednost x = vrijednost cc * 100
    Wire.beginTransmission(8); // početak I2C komunikacije na adresi 8
    Wire.write("Tlak3: ");      // slanje teksta
    Wire.write(x);              // slanje podatka o tlaku
    Wire.endTransmission(); //završetak komunikacije
    Serial.print("tlak3");
    Serial.println(x);
  }
}

```

```
}  
}
```

#### 7.1.4 void receiveEvent()

Funkcija void receiveEvent() se poziva unutar ESP32 mikrokontrolera svaki put kada se pojavi podatak na I2C komunikaciji.

```
void receiveEvent(int howMany)  
{  
  while (1 < Wire.available()) //  
  {  
    char c = Wire.read(); // primi bajt kao karakter tj. primanje teksta  
    Serial.print(c);      // ispis vrijednosti  
  }  
  int x = Wire.read();    // primanje bajta kao integer  
  Serial.println(x);  
  
  if (KontrolniBroj == 3) //ako je kontrolni broj jednak vrijednosti 3  
  {  
    temp = x; //pohranjivanje x vrijednosti u varijablu temp  
    KontrolniBroj = (-1); //postavljanje vrijednosti kontrolnog broja -1  
  }  
  
  else if (KontrolniBroj == 0) //ako je kontrolni broj jednak nuli, primamo drugu vrijednost  
  tlaka - decimalni dio  
  {  
    x = (x / 100) + temp; //dijelimo dobiveni broj sa 100 kako bi dobili decimalnu vrijednost  
    x = (x * 6894.7) // 100; //pretvorba PSI u Pa  
    KontrolniBroj = 3; //resetiranje kontrolnog broja  
    Serial.println("Tlak ");  
    Serial.print(x);  
  }  
  
  if (KontrolniBroj >= 1) //ako je kontrolni broj manji ili jednak 1
```

```

{
  Serial.println(KontrolniBroj);

  zapis = ThingSpeak.writeField(myChannelNumber, KontrolniBroj, x, myWriteAPIKey); //slanje
informacije na Thingspeak
}

KontrolniBroj++; //povećanje kontrolnog broja za 1

if (KontrolniBroj > 3) //ako kontrolni broj pređe granicu od 3
{
  KontrolniBroj = 1; //resetiranje kontrolnog broja
}

if(zapis== 200){ //ako je zapis jednak vrijednosti 200 znači da je kanal uspješno ažuriran
  Serial.println("Channel update successful.");
}
else{
  Serial.println("Problem updating channel. HTTP error code " + String(x));
}

  lastTime = millis(); //pohranjivanje vrijednosti zadnjeg slanja informacije u trenutno
vrijeme
}

```

### 7.1.5 void loop()

U nastavku je prikazan program za funkciju loop() unutar ESP32 mikrokontrolera. Funkcija loop() se poziva cijelo vrijeme osim ako se ne pozove neka druga funkcija. Ukoliko se pozove i kada se završi ta funkcija, opet se poziva funkcija loop(). Zadani timerDelay iznosi jednu minutu. To znači da se svake jedne minute šalje po jedan podatak na gateway.

```

void loop() {

  if ((millis() - lastTime) > timerDelay) { //ako je sadašnje vrijeme minus zadnje vrijeme
veće od zadanog zakašnjenja izvršit će se blok naredbi

  // Connect or reconnect to WiFi

  if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) { //ako ESP32 nije povezan na wifi izvrši blok naredbi
    Serial.print("Attempting to connect");

```

```
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) { //sve dok se ne poveže izvršavaj blok naredbi
    WiFi.begin(ssid, password); //povezivanje na zadani ssid sa njegovom šifrom
    delay(5000);
}

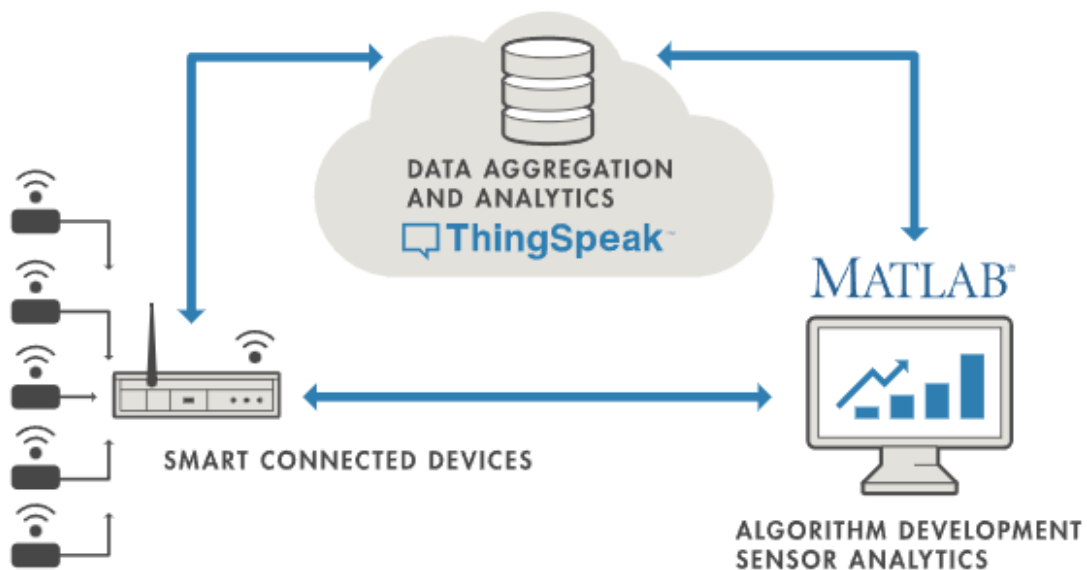
Serial.println("\nConnected."); //kada se uspješno poveže izlazi se iz while funkcije
i ispisuje se da se ESP32 uspješno povezoao na zadanu wifi mrežu

}
}
}
```

## 8 ThingSpeak

ThingSpeak™[10] je usluga IoT analitičke platforme koja omogućuje prikupljanje, vizualizaciju i analizu tokova podataka uživo u oblaku. ThingSpeak pruža trenutne vizualizacije podataka koje uređaji objavljuju na ThingSpeak.

IoT sustavi mogu se opisati pomoću dijagrama prikazanog na slici 13.



Slika 13 – Dijagram IoT sustava

S lijeve strane imamo pametne uređaje. Ovi uređaji prikupljaju podatke i uključuju stvari poput nosivih uređaja, bežičnih temperaturnih senzora, monitora otkucaja srca i senzora hidrauličkog tlaka te strojeva u tvornici.

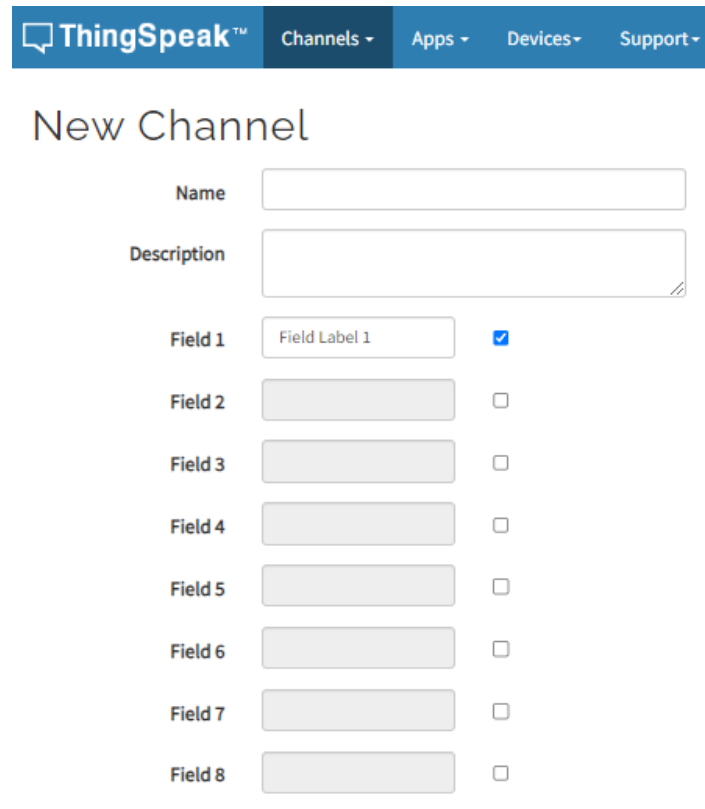
U sredini imamo oblak u kojem se podaci iz mnogih izvora skupljaju i analiziraju u stvarnom vremenu, često putem IoT analitičke platforme dizajnirane za tu svrhu.

Desna strana dijagrama prikazuje razvoj algoritma povezanog s IoT aplikacijom. Ovdje inženjer ili podatkovni znanstvenik pokušava dobiti uvid u prikupljene podatke vršeci povijesnu analizu podataka. U ovom slučaju, podaci se povlače s IoT platforme u softversko okruženje stolnog računala kako bi inženjeru ili znanstveniku omogućili izradu prototipa algoritama koji bi se na kraju mogli izvršiti u oblaku ili na samom pametnom uređaju.

IoT sustav uključuje sve te elemente. ThingSpeak se uklapa u cloud dio dijagrama i pruža platformu za brzo prikupljanje i analizu podataka sa senzora povezanih s internetom.

## 8.1 Kreiranje kanala

Kanal služi za grafički prikaz i obradu prikupljenih podataka.



The screenshot shows the 'New Channel' page in the ThingSpeak interface. At the top, there is a navigation bar with the ThingSpeak logo and menu items: 'Channels', 'Apps', 'Devices', and 'Support'. Below the navigation bar, the title 'New Channel' is displayed. The form consists of several input fields: a 'Name' field, a 'Description' field, and eight 'Field' entries. Each 'Field' entry includes a text input box for a label and a checkbox to the right. The first field, 'Field 1', has the label 'Field Label 1' and its checkbox is checked. The other fields, 'Field 2' through 'Field 8', have empty input boxes and their checkboxes are unchecked.

Slika 14 – Kreiranje kanala

Za kreiranje kanala potrebno je odabrati Channels > My Channels > New Channel. Nakon toga odabira otvori se prozor prikazan na slici 14. Potrebno je unijeti ime kanala, kratki opis te odabrati broj polja i dodati im naziv. Polje zapravo služi za prikaz jednog podatka.

U ovome radu polje broj 1 služi za prikaz kvalitete zraka, polje 2 služi za prikaz temperature a polje 3 služi za prikaz podataka o tlaku zraka. Prethodno je spomenuto kako se podatci ažuriraju svake jedne minute. Npr. Kada senzor temperature izmjeri temperaturu, ESP32 primi taj podatak i odredi da se taj podatak šalje na gateway na polje 2. To se izvrši u sljedećoj liniji koda

```
zapis = ThingSpeak.writeField(Broj_kanala, Broj_Polja, Izmjerena_vrijednost, API_ključ);
```



API\_ključ je jedinstveni ključ koji omogućuje pisanje podataka na kanal. Kanal se može odrediti da bude privatn ili javan. Ako je privatn može ga viditi samo korisnik koji ga je napravio a ako je javan može ga vidjeti bilo tko ali na kanal se mogu slati podatci i mjenjati kanal uz pomoć API ključa.

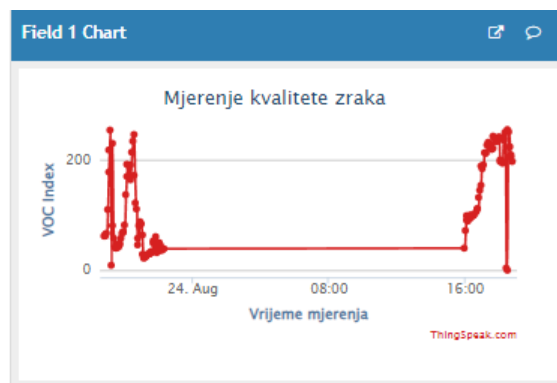
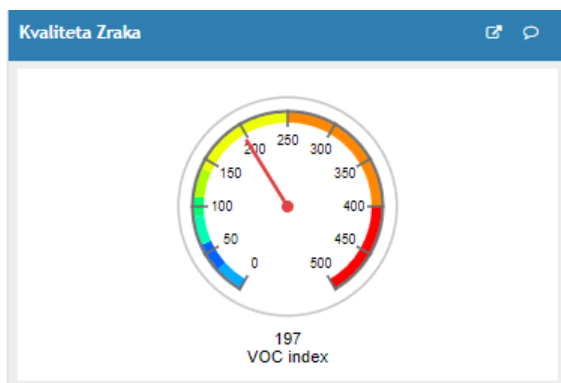
API ključu se pristupa na ThingSpeak stranici unutar postavki kanala prikazanih na slici 15

The screenshot shows the ThingSpeak interface for a channel named 'Meteorološka postaja Split - Kopilica'. The channel ID is 2215679 and the author is mwa000030544769. The channel is public. The page has a navigation bar with 'Kanali', 'aplikacije', 'Uredaji', and 'podrška'. The main content area has tabs for 'Privatni pogled', 'Javni prikaz', 'Postavke kanala', 'Dijeljenje', 'API ključevi', and 'Uvoz/izvoz podataka'. The 'API ključevi' tab is active. On the left, there is a section 'Napišite API ključ' with a text input field containing '0HUHNWZ8WMEQYLRO' and a 'Generirajte novi API ključ pisanja' button. Below it is a section 'Pročitajte API ključeve' with a text input field containing 'W09BBMTOCM7J5HUO'. On the right, there is a 'Pomozite' section with instructions on how to use API keys and a 'Postavke API ključeva' section with a list of instructions: 'Zapiši API ključ', 'Čitaj API ključeve', and 'Napomena'. There is also an 'API zahtjevi' section.

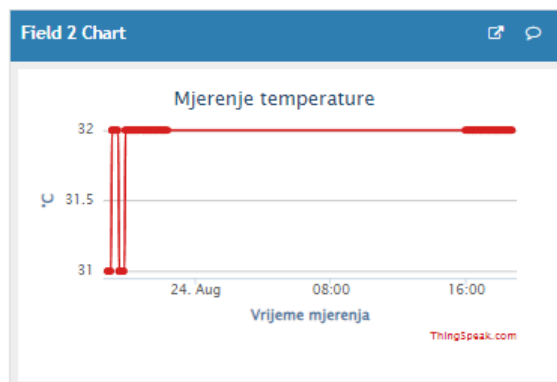
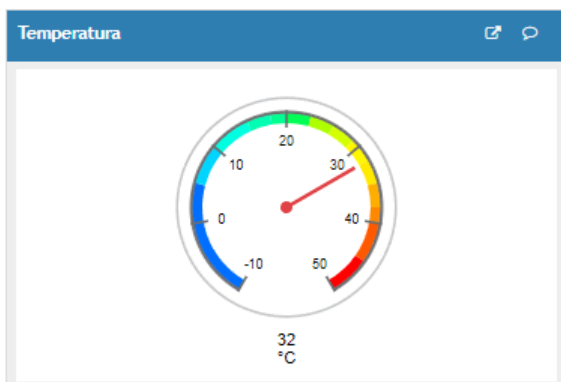
Slika 15 – Pristup API ključu

## 8.2 Grafički prikaz

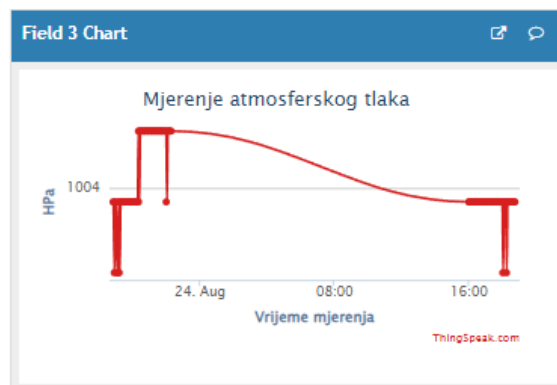
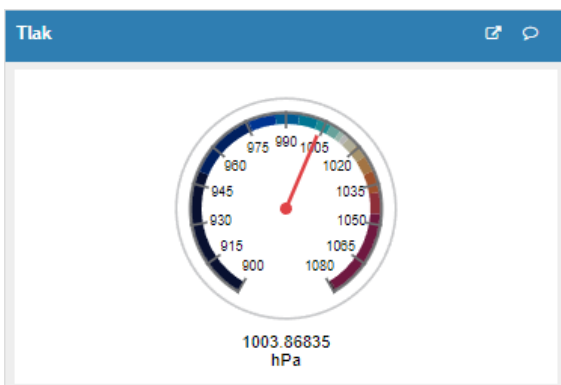
ThingSpeak stranica nudi grafički prikaz primljenih podataka prikazanog na slikama 16, 17 i 18. Na slikama je prikazan grafički prikaz podataka o temperaturi, kvaliteti zraka i tlaku. Svaki grafikon predstavlja jedno polje koje se poziva u Arduino programu kada se šalju podatci o određenoj mjernoj veličini.



Slika 16 – Grafički prikaz kvalitete zraka



Slika 17 – Grafički prikaz temperature



Slika 18 – Grafički prikaz tlaka zraka

Svaki prikaz se može urediti da se prikazuje kao grafikon ili da se uredi da izgleda kao mjerilo (*eng. gauge*). Krajnji izgled kako će podatci biti prikazani ostaju na korisniku da istraži postavke svakog prikaza i uredi postavke po želji dodavajući minimalnu i maksimalnu vrijednost, boje istih vrijednosti, naziv, mjernu jedinicu i dr.

## 9 ZAKLJUČAK

Senzorske mreže predstavljaju značajno područje u suvremenim informacijskim tehnologijama koje ima široku primjenu u raznim industrijama i sektorima. Ovom tehnologijom postizemo prikupljanje i analizu podataka iz različitih okoliša i konteksta, čime dobivamo vrijedne informacije za donošenje odluka, unapređenje efikasnosti i poboljšanje kvalitete života.

Nadalje, senzorske mreže su neizostavan dio koncepta "Internet stvari" (IoT), omogućujući povezivanje različitih uređaja i sistema širom svijeta. Kroz razvoj ove tehnologije očekuje se daljnje poboljšanje energetske efikasnosti, brzine prijenosa podataka i mogućnosti analize informacija.

Unatoč svojim mnogim prednostima, senzorske mreže suočavaju se s izazovima kao što su sigurnost podataka, energetska efikasnost i skalabilnost. Stoga je važno kontinuirano raditi na unapređenju ove tehnologije kako bismo ostvarili njezin puni potencijal.

U budućnosti se očekuje da će senzorske mreže nastaviti oblikovati našu tehnološku i društvenu stvarnost te će pružiti nove mogućnosti za istraživanje i inovacije. S razumijevanjem njihove važnosti i potencijala, možemo aktivno doprinijeti razvoju ovog područja i stvaranju boljeg i povezanijeg svijeta.

## LITERATURA

- [1] **Bežične senzorske mreže** <https://elab.fon.bg.ac.rs/udzbenik-internet-inteligentnih-uredaja/senzorske-mreze/>
- [2] **Topologija senzorskih mreža** - <http://mreze.layer-x.com/s020100-0.html>
- [3] **Lorawan Klase** <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/classes/>
- [4] **IoT** - <https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/>
- [5] **LoRa thing plus explorable** - <https://www.sparkfun.com/products/17506>
- [6] **Esp32** <https://www.sparkfun.com/products/17743>
- [7] **Sgp40** <https://www.sparkfun.com/products/18345>
- [8] **AS6212** <https://www.sparkfun.com/products/18521>
- [9] **Sparkfun Qwiic micropressure** <https://www.sparkfun.com/products/18521>
- [10] **ThingSpeak** [https://thingspeak.com/pages/learn\\_more](https://thingspeak.com/pages/learn_more)

## POPIS SLIKA

Slika 1 – Arhitektura senzorske mreže .....	5
Slika 2 - Vrste topologija senzorske mreže .....	6
Slika 3 – Pristupne tehnologije za bežični prijenos podataka .....	7
Slika 4 – LoRa thing plus expLoRaBLE mikrokontroler .....	16
Slika 5 – ESP32 – S2 WROOM Thing Plus .....	18
Slika 6 – SGP40 Senzor kvalitete zraka .....	20
Slika 7 – VOC indeks .....	22
Slika 8 – AS6212 senzor .....	23
Slika 9 – Qwiic senzor tlaka .....	24
Slika 10 – MPR senzor .....	25
Slika 11 – Qwiic sustav .....	26
Slika 12 – LoRa Wan senzorska mreža .....	27
Slika 13 – Dijagram IoT sustava .....	34
Slika 14 – Kreiranje kanala .....	35
Slika 15 – Pristup API ključu .....	36
Slika 16 – Grafički prikaz kvalitete zraka .....	37
Slika 17 – Grafički prikaz temperature .....	37
Slika 18 – Grafički prikaz tlaka zraka .....	37

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1 – Popis komponenti .....	16
------------------------------------	----

