

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Andraž Novak

**Porazdeljeni sistem za pridobivanje,
hranjenje in analizo podatkov o hrupu
v urbanem okolju**

DIPLOMSKO DELO

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM
PRVE STOPNJE
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

MENTOR: prof. dr. Blaž Zupan

Ljubljana, 2021

COPYRIGHT. Rezultati diplomske naloge so intelektualna lastnina avtorja in Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavo in koriščenje rezultatov diplomske naloge je potrebno pisno privoljenje avtorja, Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil L^AT_EX.

Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogu:

Tematika naloge:

Besedilo teme diplomskega dela študent prepiše iz študijskega informacijskega sistema, kamor ga je vnesel mentor. V nekaj stavkih bo opisal, kaj pričakuje od kandidatovega diplomskega dela. Kaj so cilji, kakšne metode uporabiti, morda bo zapisal tudi ključno literaturo.

Na tem mestu zapišite, komu se zahvaljujete za izdelavo diplomske naloge. Pazite, da ne boste koga pozabili. Utegnil vam bo zameriti. Temu se da izogniti tako, da celotno zahvalo izpustite.

Svoji dragi Nanici.

Kazalo

Povzetek

Abstract

1 Uvod	1
2 Tehnologije	5
2.1 Mikrokontrolerji	5
2.2 Merjenje hrupa	5
2.3 Povezljivost	9
2.4 Programska oprema za internet stvari	10
2.5 Strežniški del	11
3 Rešitev	13
3.1 Uporabniške zahteve	13
3.2 Arhitektura	14
3.3 Merilna enota	16
3.4 Zbirna enota	24
3.5 Poraba energije	32
3.6 Strežnik	37
3.7 Uporabniški vmesnik	37
3.8 Podatkovna analitika	41
4 Primera uporabe	49
4.1 Kosičnica	49

4.2 Glasnost na fakulteti	49
5 Zaključek	55
Appendices	57
A Dodatek: Uporabniška navodila	59
A.1 Polnjenje meritnih enot	59
A.2 Prižiganje enot v različnih načinih	59
A.3 Registracija meritne enote	60
A.4 Ustvarjanje raziskave	62
A.5 Urejanje raziskave	62
A.6 Prenašanje podatkov na enote	63
A.7 Postavljanje enot na lokacijo zaznavanja	64
A.8 Uravnavanje intervala zaznavanja	65
A.9 Konec zaznavanja	66
Literatura	68

Povzetek

Naslov: Porazdeljeni sistem za pridobivanje, hranjenje in analizo podatkov o hrupu v urbanem okolju

Avtor: Andraž Novak

Ključne besede: hrup, internet stvari, zaznavanje, mesto, senzorji.

Abstract

Title: Urban noise data sensing and collection with internet of things

Author: Andraž Novak

Keywords: noise, internet of things, sensing, city, sensors.

Poglavlje 1

Uvod

(vsaka črtica svoj odstavek)

- iot na splošno, kakšne probleme rešuje - opis našega problema, zahteve - obstoječe rešitve (tri) * fotografije obstoječih merilnih enot * tabela primerjav med sistemi - delo v nalogi

Internet stvari je tehnologija s katero lahko upravljamo in nadzorujemo svet okoli nas. Omogoča vse od povezanih pametnih luči, do domačega ogrevanja, do spremeljanja stanja pametnih mest. V domači uporabi se povezane naprave v veliki meri zanašajo na tehnologijo WiFi, ki napravam omogoča prenos podatkov do strežnika. V mestih in širši okolici pa se razširja uporaba tehnologij LoRa in 5G.

Moderno načrtovanje javnih površin vedno bolj upošteva vpliv hrupa na vedenje in zdravje ljudi. Na oboje lahko vplivamo s premišljeno zasnovno prostorov in izbiro primernih materialov. Pravilne odločitve lahko sprejemamo le s pomočjo primernih podatkov o trenutnem stanju in o uspešnosti takšnih odločitev v ostalih projektih. Vpliv teh odločitev mora biti merljiv. Zato potrebujemo robusten in fleksibilen sistem za merjenje in analizo glasnosti ter tipa hrupa. Tak sistem mora biti cenovno ugoden, prenosen in lahek za uporabo. Upravljanje s potekom raziskav o hrupu in analizi pridobljenih podatkov mora biti intuitivno in prijazno uporabnikom.

S problemom spremeljanja in analize hrupa se ukvarja več podjetij in raz-

iskovalcev, ki ponujajo različne rešitve. Podjetja Libelium, Cesva in Brüel Kjær ponujajo zaprtokodne profesionalne rešitve za trajno namestitev. Problem teh rešitev je, da so cenovno nedostopne in večinoma zahtevajo trajno namestitev na lokaciji.

Mogoče tabela?? idk def linki

<https://www.the-iot-marketplace.com/libelium-exm-lorawan-noise-analytics-solution> <https://www.iotsoundsensor.com/> <https://www.cesva.com/en/products/sensors-terminals/TA120/> <https://www.bksv.com/en/products/measuring-instruments/sound-level-meter>

obstoječe rešitve: -SONYC

- eni so isto k js nardil sam pred esp32 in MEMS mikrofon dobo hmmm

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6165576/>

-?? -?

gremoooooo

V sklopu te diplomske naloge smo implementirali nizko cenovni porazdeljen sistem za zaznavanje in analizo hrupa na poljubno velikem območju. Zasnovali in sestavili smo cenovno ugodne merilne in zbirne enote. Implementirali smo sistem za upravljanje s temi enotami in razvili graadnik za podatkovno analizo pridobljenih podatkov v programu Orange. Izvedli smo tudi nekaj testov za prikaz primerov uporabe.



Slika 1.1: Material za štiri zbirne in 20 meritnih enot za potrebe projekta. Zadaj so ohišja za enote, levo spredaj so držala za baterije, na sredi so elektronski deli v antistatičnih vrečkah. Spredaj desno so USB kabli za napajanje in polnjenje.

Poglavlje 2

Tehnologije

(vsaka črtica tri odstavki, dodaj kakšno sliko, pazi na licence slik, vse mora biti v slovenščini, lahko tudi zrišeš kakšno shemo)

2.1 Mikrokontrolerji

2.2 Merjenje hrupa

Glavni del tega projekta je zaznavanje hrupa. Ta naloga je razdeljena na pridobivanje podatkov in obdelavo teh podatkov. Glavni zahtevi sta konsistencija podatkov med napravami in točnost meritev. Kar se tiče zaznavanja podatkov smo tema dvema zahtevama lahko brez težav ustregli s pravilno programsko kodo, pri zaznavanju pa rešitev ni bila trivialna.

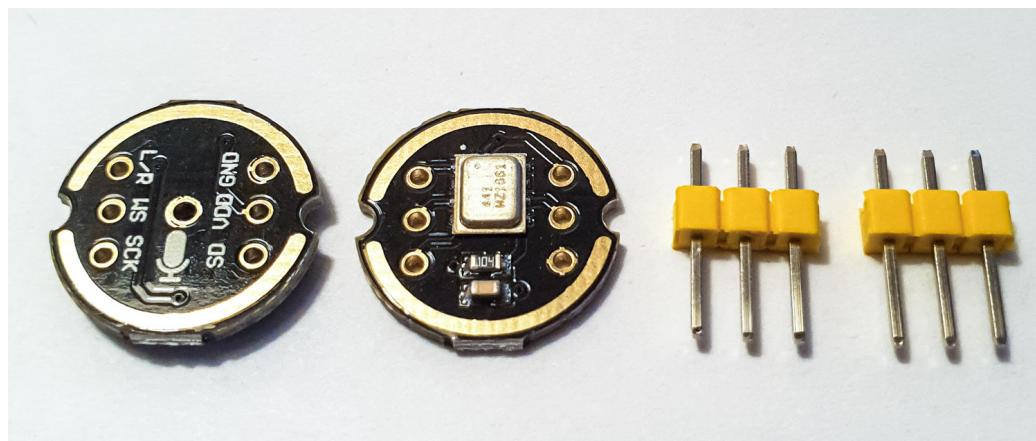
Izbira pravilnega mikrofona je bila tako tu ključnega pomena. Večina mikrofonov deluje po principu, da zračni valovi premikajo del mikrofona, kar običajno spremeni kapacitivnost med kontaktoma mikrofona ta signal potem vezje ojača in logična enota to pretvori v digitalni signal. Ker so razlike v kapacitivnosti majhne, morajo biti vezja zelo občutljiva, kar pomeni da lahko majhna razlika v vezjih ali mikrofonu povzroči veliko razliko v rezultatih. Na srečo obstaja vrsta mikrofonov, ki odpravi in . Mikrofoni, ki temeljijo na tehnologiji mikroelektromehanskih sistemov poskrbijo za



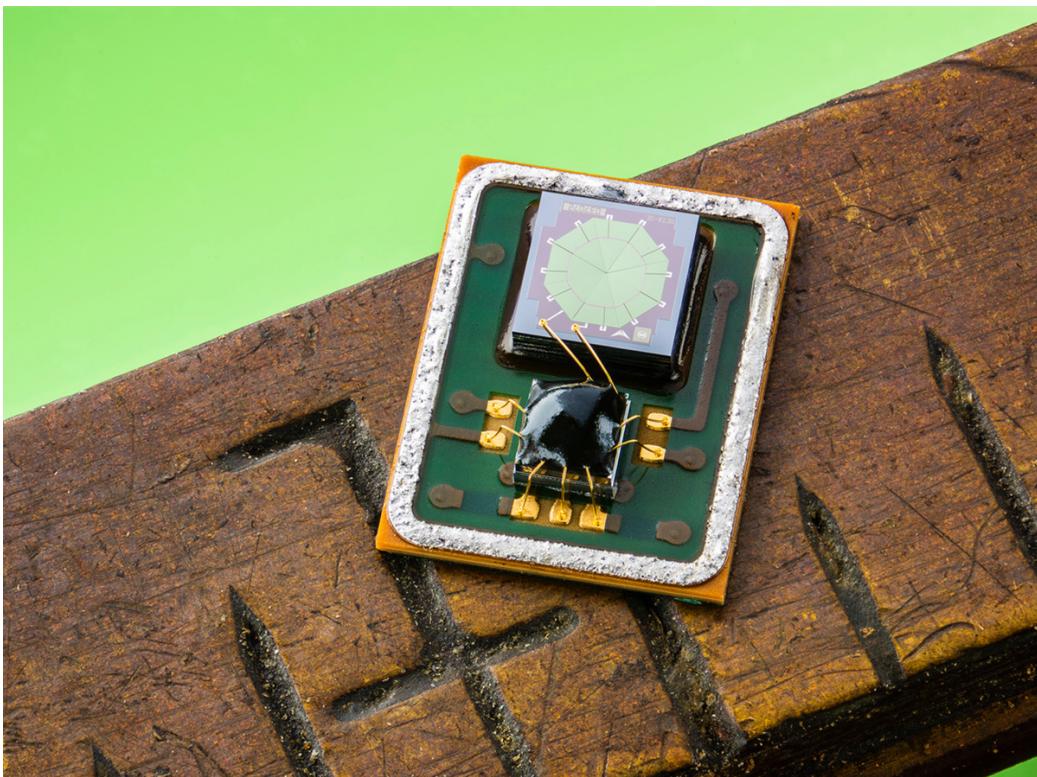
Slika 2.1: Razvojna ploščica TTGO T7 z mikrokontrolerjem ESP32. Uporabili smo jo v merilnih in zbirnih enotah. Izbrali smo jo zaradi majhne porabe energije v načinu spanja in priključkom za zunanjo anteno.

Ime	ESP32
Proizvajalec	Espressif Systems
Procesor	Tensilica Xtensa LX6 dvojederni + koprocesor
SRAM	512 KiB
Možnosti povezovanja	Wi-Fi 802.11 b/g/n, v4.2 BT + BLE
Največja moč oddajanja	20 dB
Periferne naprave	UART, I2C, I2S, SPI, CAN, ADC, PWM
Napajalna napetost	3.3V
Poraba električne energije pri 240MHz	55mA
Poraba električne energije pri 20MHz	20mA
Poraba električne energije v spanju	0.8mA
Največja poraba	350mA

Tabela 2.1: Značilnosti mikrokontrolerja ESP32.



Slika 2.2: Mikrofon INMP441. Montiran je na svoji ploščici za lažji dostop do kontaktov. Primeren je zaradi majhne porabe, majhne velikosti, natančnosti meritev in enostavnosti uporabe.



Slika 2.3: Notranjost mikrofona. Večja struktura je membrana iz silicija, ki zvočne valove pretvori v razlike v kapacitivnosti. Z dvema žicama je povezana s posebno enoto za pretvarjanje analognega signala v digitalnega in pošiljanje preko protokola I2S. Oboje je običajno prekrito s kovinskim ohišjem, ki je bilo za fotografijo odstranjeno.

Ime	INMP441
Proizvajalec	InvenSense
Protokol	24bit I2S
Razpon frekvence vzorčenja	7.8kHz - 50kHz
Frekvenčni razpon	60Hz - 15kHz
Napajalna napetost	3.3V
Poraba elektrike v aktivnem stanju	2.2mA
Poraba elektrike v stanju pripravljenosti	0.8mA
Poraba elektrike pri spanju	0.0045mA

Tabela 2.2: Značilnosti mikrofona INMP441.

2.3 Povezljivost

Pošiljanje podatkov je večdimenzionalni problem s katerim smo se ukvarjali precej časa. Tehnologija za povezovanje mora ustrezati strogim pogojem glede porabe energije, hitrosti prenosa, načina naslavljanja, dosega signala in cene enote. Preizkusili in raziskali smo precej možnosti tabela 2.3. In se na koncu odločili za protokol ESP-NOW, ki ga izbrani mikrokontroler podpira brez dodatnih naprav.

Prva in najbolj naivna raziskana možnost je bila protokol WiFi. Ta bi ustrezal našim zahtevam po hitrosti prenosa podatkov, ne bi pa bil primeren s stališča porabe energije, saj povezovanje na omrežje in vzpostavitev povezave s strežnikom trajata predolgo. Pod vprašajem bi bil tudi domet, sam je WiFi primeren za povezavo na nekaj deset metrih. Naslednji protokol, ki smo ga preučili je bil LoRa. Ta ustreza tako dometu signala, kot tudi porabi energije, ampak je zaradi prepočasnega prenosa podatkov nepriemeran za pošiljanje meritev vsako sekundo. Z uporabo te tehnologije bi se cena meritve enote podvojila. Predzadnji na seznamu je NRF24. Neprimeren je zaradi omejitve šestih povezav naenkrat, nezanesljivega delovanja in premajhnega dosega povezave.

Zadnjo možnost smo odkrili, ko smo pregledovali dokumentacijo mikro-

	Doseg	Hitrost prenosa	Poraba energije	Cena
ESP-NOW	100m-1km	250kbps	100mA	4€
NRF24	100m-1km	250kbps	100mA	MCU + 4€ za NRF24 modul
LoRa	1km-10km	300bps-19kbps	30mA	MCU + 10€ za LoRa modul
WiFi	10m-100m	1mbps-150mbps	150mA	4€

Tabela 2.3: Primerjava različnih tehnologij za povezovanje.

kontrolerja ESP32. Proizvajalec teh čipov je namreč omogočil dokaj prosto pošiljanje paketov podatkov med ESP napravami. Protokol ESP-NOW ustreza vsem našim zahtevam. Hitrost podatkov do 250kBps, pošiljanje podatkov brez vzpostavitev povezave, kar drastično zmanjša porabo energije, in več kot 1.5km dosega signala s poceni zunanjim anteno v perfektnih pogojih in do 200m v urbanem okolju.



Slika 2.4: Prikaz testiranega dometa v urbanem okolju. Oddaljenost mejnih točk od zbirne točke je 250m, 157m in 270m. Testiranje na prostem je ob optimalnih pogojih pokazalo domet do 1500m.

2.4 Programska oprema za internet stvari

* tabela prednosti in slabosti raziskani opcij

2.5 Strežniški del

NodeJS? tudi tu ne vem točno kaj in kako

Poglavlje 3

Rešitev

3.1 Uporabniške zahteve

Cilj tega projekta je bil implementacija sistema za podrobno razumevanje hrupa v poljubno velikih delih okolja. Zato smo se odločili za fleksibilen porazdeljen sistem za zaznavanje in analizo hrupa. Določili smo, da bo sistem omogočal prosto razporejanje meritnih enot, ki bodo sinhronizirano v specifiranih časovnih intervalih zajemale podatke o hrupu in jih posredovale v podatkovno bazo, kjer bodo potem dostopne za analizo v programu Orange. Za analizo potrebujemo podatke o glasnosti in podatke o tipu hrupa, zato smo določili, da bomo zbirali podatke o jakosti hrupa in rezultate spektralne analize tega hrupa.

Velik poudarek smo pri tem projektu namenili cenovni učinkovitosti. Na tržišču obstaja veliko podobnih rešitev, ki po našem mnenju stanejo preveč. Zato je bila ena naših zahtev to, da zaledni sistem temelji na odprtokodnih okoljih in je nameščen na strežniku, ki je del laboratorija za bioinformatiko. Prav tako morajo biti meritne enote veliko bolj cenovno dostopne kot trenutno obstoječe podobne enote.

Večina obstoječih meritnih enot poleg velikega finančnega vložka zahteva tudi zunanje napajanje in trajno namestitev. Tako smo zanje določili, da morajo biti dovolj majhne in lahke, da z montiranjem ne bomo imeli pre-

velikih težav. V isti luči morajo imeti dovolj majhno porabo, da lahko vsaj en teden delujejo z napajanjem iz vgrajenih baterij in tako ne potrebujejo zunanjega napajanja.

Ker želimo zbrane podatke obdelati in prikazati, smo se odločili, da bomo omogočili dostop do podatkov v programu Orange. Tako smo se odločili implementirati svoj gradnik za program Orange, ki bo podpiral poizvedbe na zalednem delu.

3.2 Arhitektura

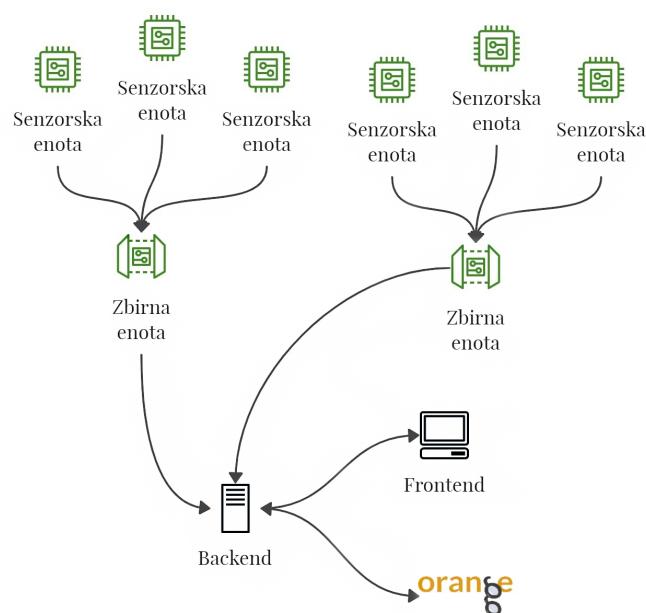
Arhitektura razvitega sistema (slika 3.1) temelji na toku podatkov. Zasnovali smo jo z upoštevanjem omejitev izbranih tehnologij in jo prilagodili tako, da kar najbolje izkoristi prednosti vseh delov sistema.

Osrče celotnega sistema je zaledni strežnik, ki koordinira pot podatkov. Za delo s podatki smo implementirali vmesnik REST API. Tako lahko povezani uporabniki in enote dodajajo, spreminjajo, berejo in brišejo podatke. Na strežniku gostimo tudi podatke za uporabniški vmesnik, ki je implementiran v obliki spletne strani.

Deluje merilnih in zbirnih enot temelji na izbiri tehnologije za prenos podatkov o meritvah. Ker merilne enote nimajo neposrednega dostopa do interneta, smo pot podatkov speljali skozi zbirne enote, ki lahko istočasno komunicirajo z zalednim strežnikom in z merilnimi enotami. Zbirne enote tako delujejo kot posredniki, ki sami po sebi ne ustvarjajo novih podatkov, ampak samo prenašajo podatke iz enega medija na drugega.

Uporabniški vmesnik je namenjen upravljanju in pregledu nad celotnega sistema. Pot podatkov je tu dvosmerna, saj po eni strani z njim uporabnik nastavlja študije in jim dodeljuje fizične enote, po drugi strani pa lahko tam pregleduje osnovne podatke o stanju teh enot, poteku zaznavanja in povprečno glasnost meritev.

Gradnik v programu Orange je namenjen dostopu do podatkov. S strežnikom komunicira z zahtevki HTTP in prejete podatke spreminja v obliko, ki je pri-

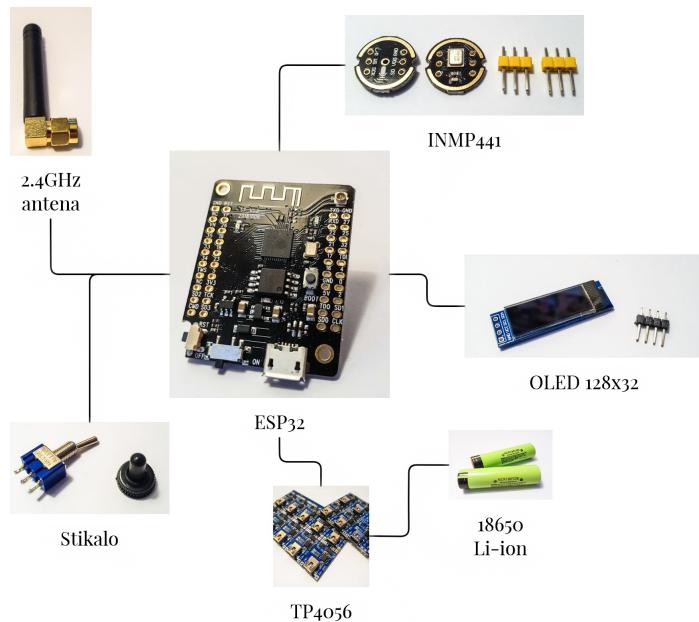


Slika 3.1: Struktura razvitega sistema. Senzorske enote so na robu in komunicirajo z zbirnimi enotami. Nanjo pošiljajo podatke o hrupu, ki bodo preneseni na zaledni del. Zbirne enote prejemajo podatke z merilnih enot in jih posredujejo na zaledni del. Na zalednjem delu so shranjeni vsi podatki, do katerih lahko dostopa gradnik v programu Orange in uporabniški vmesnik.

merna za uporabo z drugimi gradniki.

3.3 Merilna enota

Merilna enota je zaključen del sistema, ki je odgovoren za zbiranje in pošiljanje podatkov na zbirno enoto. Zasnova enote temelji na uporabniških zahtevah in omejitvah tehnologije. Odločili smo se, da bomo uporabili prosto dostopne komponente, ki jih lahko z malo dela z žicami povežemo in montiramo v ohišje. To v primerjavi z oblikovanjem svojih tiskanih vezij zmanjša možnosti za napake in omogoča lažja popravila in menjavo delov enote, ko je ta že sestavljena.



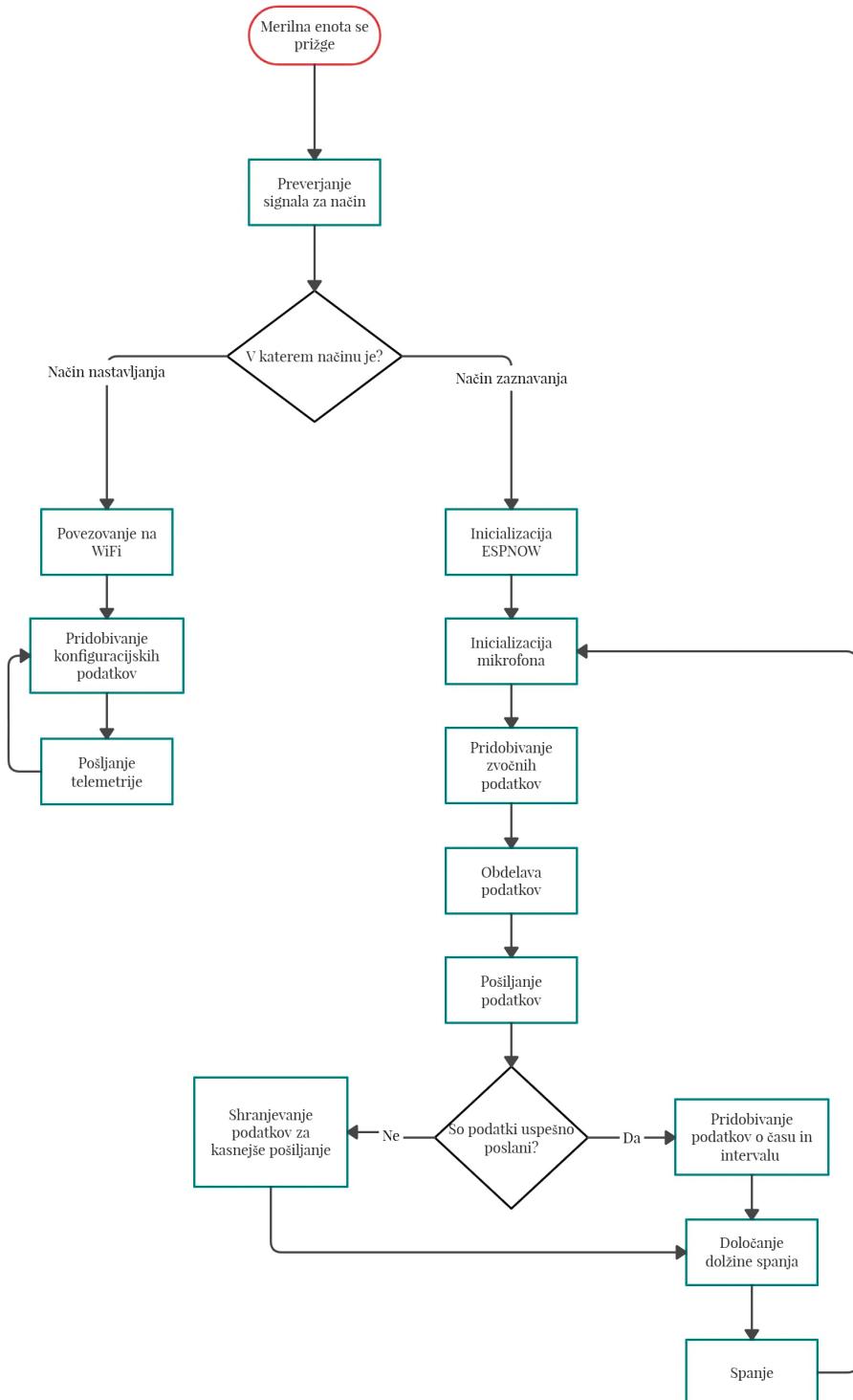
Slika 3.2: Merilna enota z vrstanimi povezavami med sestavnimi deli. Osrče vsake enote je mikrokontroler ESP32, ki sprejema podatke, jih obdeluje in pošilja na zbirne enote. Podatke zbira s pomočjo mikrofona INMP441. Za lažje nastavljanje se ob zagonu glavni podatki o enoti izpišejo na OLED ekranu. Enoto napajata dve 18650 Li-ion polnilni bateriji, za kateri skrbi vezje TP4056. Za daljši doseg signalov, smo uporabili zunanjou anteno.

Glavni del je mikrokontroler ESP32 na razvojni ploščici T7 podjetja TTGO. Za ta projekt je primerna zaradi majhne porabe v načinu spanja in priključku za zunanjo anteno. Nanjo se povezujejo vsi ostali deli merilne enote. Zaznavanje zvoka smo omogočili z MEMS mikrofonom INMP441, ki je s protokolom I2S povezan z mikrokontrolerjem. Ker je ta povezava povsem digitalna, smo eliminirali veliko problemov s kvaliteto žic in spojev. Za pomoč pri nastavljanju enote smo se odločili, da bo vsaka enota opremljena z OLED ekranom SSD1306 z resolucijo 32 krat 128 slikovnih točk. Z mikrokontrolerjem komunicira s protokolom I2C.

Za napajanje skrbita dve 18650 Li-ion polnilni bateriji, ki lahko ob polni napolnjenosti in zaznavanju hrupa vsako sekundo napajata enoto približno tri tedne. Za polnjenje in varno uporabo skrbi vezje TP4056, ki skrbi, da baterije niso prenapolnjene ali preveč prazne in da skozi baterijo ne steče previsok tok.

Merilna enota podpira dva načina delovanja - način za nastavljanje in način za zaznavanje. Med njima lahko uporabnik preklaplja s stikalom, ki je montirano na zunanji strani enote.

Način za nastavljanje (slika 3.3, leva stran) potrebujemo, ker je na vse enote naložena enaka programska koda, kar zmanjša zmedo pri nalaganju kode in olajša nastavljanje. Ko enota začne z delovanjem v načinu za nastavljanje, se poveže na določeno WiFi omrežje preko katerega komunicira z zalednim delom. Osnovna identifikacija poteka z uporabo MAC naslova, ki je v vsakem mikrokontrolerju unikaten. Ko zaledni del prejme naslov, v bazi podatkov ustvari nov zapis za merilno enoto, kamor ga shrani za prihodnje identifikacije, dodeli identifikacijsko številko za notranjo identifikacijo in enoti naključno dodeli ljudem razumljivo ime. V odgovoru na MAC naslov enoti odgovori z MAC naslovom zbirne enote, če je ta zbirna enota trenutno dodeljena študiji. Enota si naslov zbirne enote shrani v spomin za kasnejšo uporabo, na ekranu pa se izpišejo podatki o imenu, trenutni jakosti zvoka in napetosti na bateriji. Enota potem periodično na zaledni del pošilja podatke o napolnjenosti baterije in preverja, če je ta enota dodeljena drugi zbirni



Slika 3.3: Merilna enota lahko deluje v dveh načinih. V načinu za nastavljanje enota pridobi podatke o delovanju z zaledja in pošilja svojo telemetrijo. V načinu zaznavanja enota zajame podatke o zvoku, jih obdelava in jih periodično pošilja na zbirno enoto.

enoti.

Način za zaznavanje (slika 3.3, desna stran) je namenjen zbiranju in pošiljanju podatkov na zbirno enoto. Ko enota začne z delovanjem v načinu zaznavanja, se najprej inicializira brezžični vmesnik za komunikacijo s protokolom ESP-NOW. Temu sledi inicializacija mikrofona in zbiranje ter obdelava podatkov. Obdelani podatki se skupaj s časovno oznako zapisejo v sporočilo, ki se doda v vrsto. Sledi pošiljanje, ki smo ga implementirali paketno z naključnim intervalom med paketi sporočil. To pomaga pri zmanjševanju možnosti za trčenje paketov in za zmanjševanje porabe energije. Ko enota pošilja podatke, vzame sporočilo iz vrste sporočil in ga skuša poslati. Če je pošiljanje uspešno, je sporočilo zbrisano, če pošiljanje ni uspešno, se sporočilo ohrani v vrsti, nakar enota določi nov čas naslednjega pošiljanja. Na koncu določi čas spanja do naslednjega zaznavanja in začne spanje. Poleg tega enota vsake tri sekunde pošilja podatke o napolnjenosti baterije in zahteva podatke o točnem času in o trenutnem intervalu zaznavanja.

Programska koda, ki se izvede ob vsakem zajemanju in obdelavi podatkov. Mikrokontroler se najprej nastavi na najmanjšo frekvenco delovanja, saj med zajemanjem zvočnega signala večino časa ne dela nič računsko zahtevnega in samo čaka, da se medpomnilnik napolni. Sledi procesiranje podatkov, zato se nastavi na najhitrejši način delovanja, kjer na podatkih izvede spektralno analizo in izračuna jakost zvoka. Na koncu nastavi frekvenco na najnižjo in podatke prepiše v vrsto sporočil.

```
void sensing_and_data_preparation(){
    setCpuFrequencyMhz(20);
    // set cpu frequency to 20mhz to lower the consumption

    // get noise data
    sensing_start = get_secs();
    get_samples((int*)&samples_pub);
```

```

setCpuFrequencyMhz(240);
// set cpu frequency to 240mhz for processing

// process the data
calculate_fft((int*)&samples_pub, (double*)&fft_downsampled, DOWNSAMPLED__FFT);
decibels = 0.0;
decibels = calculate_decibels((int*)&samples_pub, SAMPLES_SIZE);

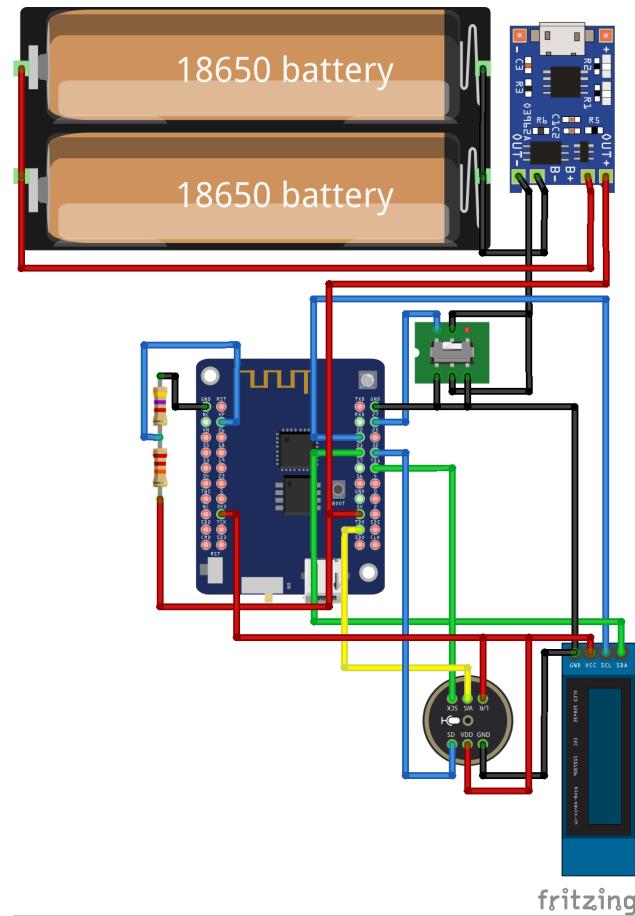
setCpuFrequencyMhz(20);
// set cpu frequency to 20mhz to lower the consumption

// put data into a sending queue
add_to_sending_queue((double*) &fft_downsampled, decibels, sensing_start);
}

```

Za lažji pregled nad stanjem enote, smo implementirali merjenje napetosti baterije. Pri implementaciji smo izkoristili sposobnost nastavljanja referenčne napetosti na analogno digitalnemu pretvorniku, ki je del mikrokontrolerja in zaporedno vezanih uporov (slika 3.4). Upora sta povezana tako, da sta na eni strani vezana skupaj - to predstavlja signal, na eni strani je en povezan na negativen terminal baterije, na drugi strani pa je drugi povezan na pozitivni terminal baterije. Tako ta konfiguracija ustvari napetostni gradient, kjer 6V na strani, ki je povezana na baterijo ustreza signalu 1,1V, 0V na bateriji pa ustreza signalu 0V. Tako lahko z merjenjem signala, ki se vedno primerja z napetostjo 1,1V lahko določi napetost na bateriji.

Komponente meritve enote (slika 3.5) smo povezali z v naprej narezanimi žicami. Pri tem smo upoštevali enotno barvno paleto (slika 3.4) za hitrejše sestavljanje in lažja popravila. Tako sta rdeča in črna uporabljeni za napajanje, zelena je uporabljena za prenos urinega signala, modra je uporabljena za prenos podatkov in rumena je uporabljena za prenos ostalih podatkov - v tem primeru prenaša signal, da poteka prenos podatkov z mikrofona.



Slika 3.4: Električne povezave v merilnih enotah. Barva povezav na sliki se čim bolj ujema z uporabljenimi kabli v sestavljenih enotah. Črna in rdeča barva sta vedno uporabljeni za napajanje, zelena je uporabljena za urni signal, modra pa za prenos podatkov. Rumena in bela pa se uporabljata za druge namene.



Slika 3.5: Material za merilne enote. Na sliki sta dve bateriji 18650 z držalomoma, upravljalno vezje za baterije TP4056, mikrofon INMP441, stikalo za vklop in nastavljanje načina delovanja, prikazovalnik SSD1306, razvojna ploščica TTGO T7 z mikrokontrolerjem ESP32, antena in kabel za anteno, pena za zaščito mikrofona in ohišje v katerem je vse montirano. Manjkajo žice, ki povezujejo različne dele enote in vroče lepilo, ki smo ga uporabili za pritrjevanje v ohišje.



(a) Vidita se stikali za vklop in nastavljanje načina delovanja
(b) Sestavljena merilna enota iz dveh zornih kotov. Vidi se pokrivalo ekran za prikaz osnovnih podatkov, mikrofona namenjeno dušenju vetra in zaščito pred dežjem.

Slika 3.6: Sestavljena merilna enota iz dveh zornih kotov.

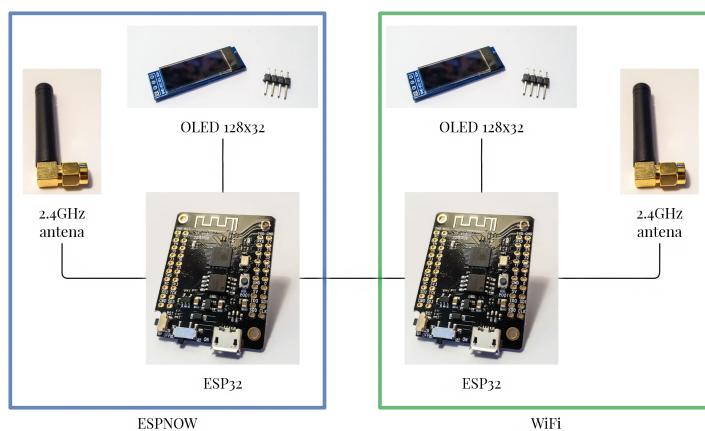


Slika 3.7: Notranjost sestavljenega merilnega enote. Vidijo se povezave med mikrofonom, ekranom, polnilnim vezjem, stikali in TTGO T7. Vse povezave so barvno koordinirane. Povezave za napajanje so rdeče in črne barve, povezave po katerih se prenašajo podatki so modre barve, povezave za prenašanje urinega signala pa so zelene barve. Luknje so zatesnjene z vročim lepilom, za preprečevanje vdora vode.

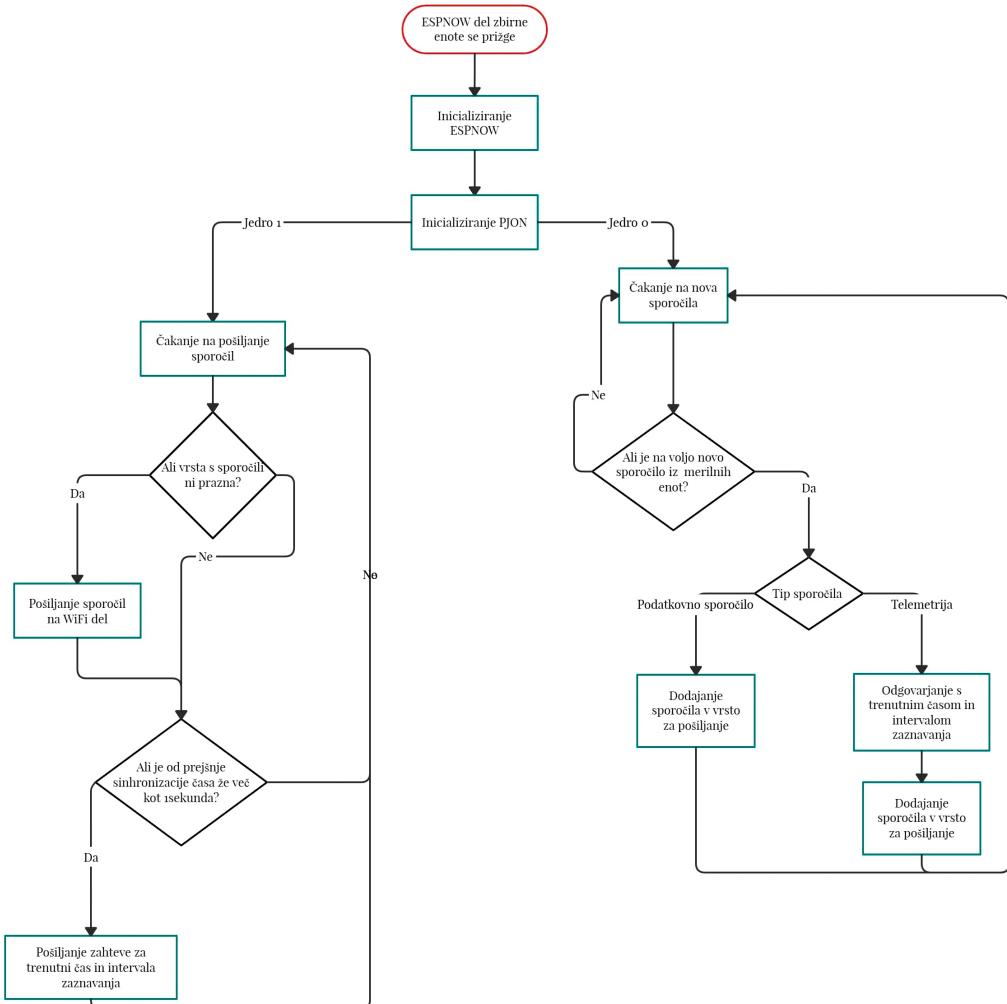
Vse skupaj je montirano v plastičnem ohišju (slika 3.6 , in 3.7), ki ima tesnilo proti vdoru vode in prahu. Za mikrofon, ekran, stikalo in anteno smo v ohišje zvrtali luknje, ki smo jih potem zatesnili z vročim silikonskim lepilom. Mikrofon smo prekrili s peno, ki zmanjšuje verjetnost vdora vode, napačnih podatkov zaradi vetra in manjšo verjetnost za zamašitev mikrofona s prahom in ostalo umazanijo.

V sklopu izdelave merilnih enot smo optimizirali tudi čas, ki ga namenimo izdelavi vsake enote. Najbolj učinkovito smo čas porabili ko smo se lotili sestavljanja več enot naenkrat. Korake smo izvajali v istem vrstnem redu kot če bi sestavljali eno enoto, le da smo ga ponovili za vsako enoto posebej. Tako smo naenkrat zvrtali vse luknje v vsa ohišja, naenkrat smo spajkali povezave na posamezno komponento naenkrat za vse enote. Tako smo pri izdelavi štirih enot naenkrat v povprečju porabili dobro uro na enoto.

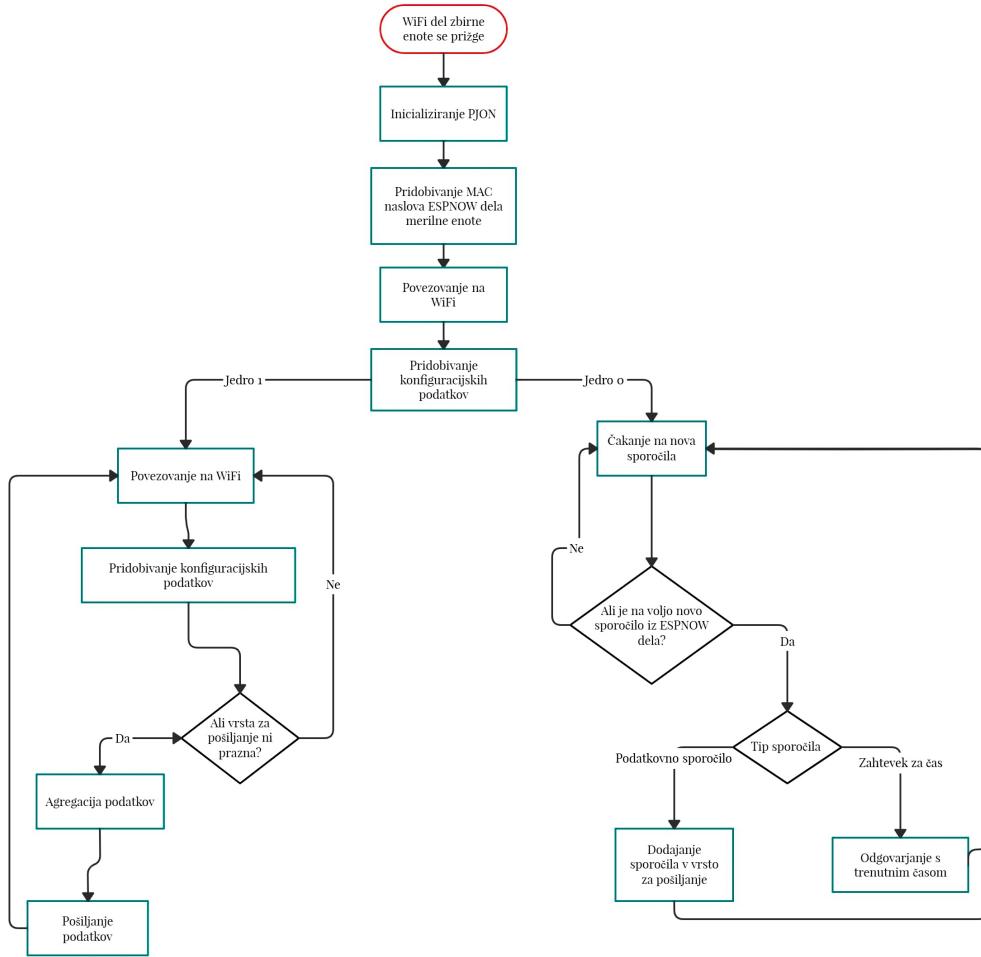
3.4 Zbirna enota



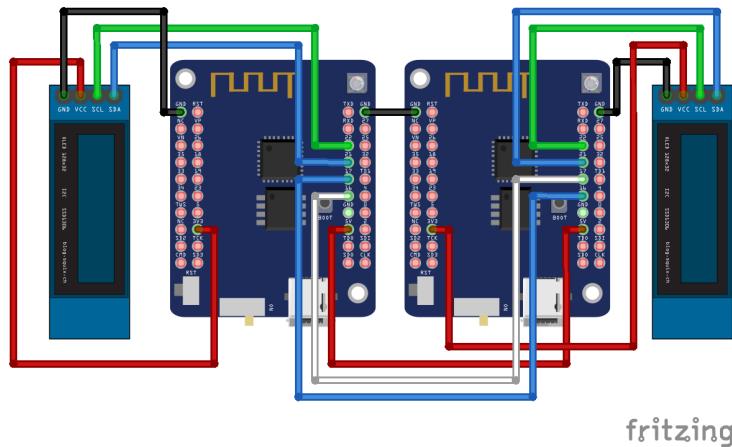
Slika 3.8: Koncept zbirne enote. Razdeljena je na del, ki komunicira s protokolom WiFi, in na del, ki komunicira s protokolom ESP-NOW. Povezana sta z UART serijsko povezavo preko katere komunicirata s protokolom PJON. Takšna zasnova je potrebna, ker ESP32 ne more istočasno komunicirati preko obeh protokolov.



Slika 3.9: Potek delovanja dela zbirne enote, ki komunicira z merilnimi enotami. Ker ima ESP32 dvojedrni procesor, se potek programa razdeli v dva dela, ki se izvajata istočasno. Jedro 0 je zadolženo za brezžično komunikacijo z merilnimi enotami preko protokola ESP-NOW, jedro 1 pa je zadolženo za komunikacijo z drugim delom zbirne enote s protokolom PJON.



Slika 3.10: Potek delovanja dela zbirne enote, ki komunicira z zalednim delom. Ker ima ESP32 dvojedrni procesor, se potek programa razdzieli v dva dela, ki se izvajata istočasno. Jedro 0 je zadolženo za komunikacijo z delom zbirne enote, ki iz merilnih enot prejema podatke o hrupu. Jedro 1 je zadolženo za komunikacijo z zalednim delom, kamor posreduje podatke iz merilnih enot.



Slika 3.11: Električne povezave v zbirni enoti. Barve povezav se ujemajo s celim projektom. Rdeča in črna sta namenjeni napajanju, modra je namenjena prenosu podatkov, zelena pa urnemu signalu. Posebnost je UART povezava med enotama, ki je tu prikazana z modro in belo povezavo.

Zbirna enota (slika 3.8) je zaključen del sistema, ki je odgovoren za sprejemanje sporočil z meritnih enot, posredovanje podatkov na zaledni del in časovno usklajevanje delovanja meritnih enot. Zbirne enote potrebujemo, ker meritne enote v načinu zaznavanja ne morejo komunicirati z zalednim delom, ker nimajo dostopa do interneta. Zato smo razvili enoto, ki sprejme pakete, ki so poslani po protokolu ESP-NOW in jih preko WiFi povezave pošlje na zaledni del.

Osrče te enote sta dva mikrokontrolerja ESP32 na razvojnih ploščah T7. Dva potrebujemo ker lahko en komunicira naenkrat samo z enim protokolom - torej eden lahko komunicira samo s protokolom ESP-NOW, drugi pa samo s protokolom WiFi. Podatke si izmenjujeta po serijski UART povezavi s protokolom PJON. Ta skrbi za zanesljivo prenašanje sporočil in naslavljjanje.

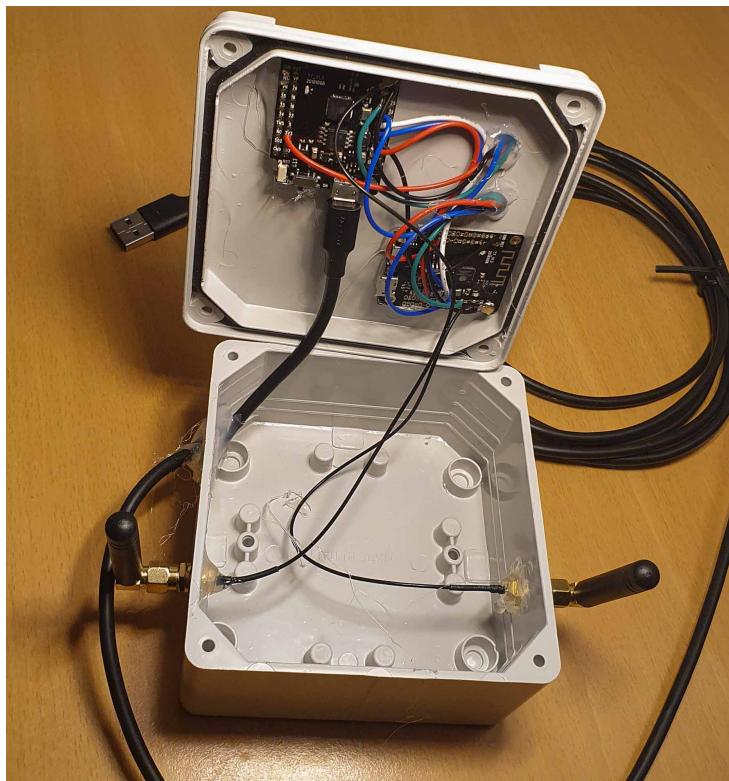
Vsaka zbirna enota je opremljena z dvema OLED prikazovalnikoma, ki uporabniku sporočata uporabne podatke - količina preostalega ram pomnilnika, povprečen povratni čas do zalednega dela, koliko sporočil iz meritnih enot je bilo sprejetih v zadnji sekundi, moč WiFi signala, MAC naslov te enote, dodeljeno ime enote in število sekund delovanja brez napak.



Slika 3.12: Material za zbirno enoto. Uporabili smo dve razvojni ploščici TTGO T7, dva prikazovalnika SSD1306, dve anteni s kabli in ohišje. Manjkajo žice, ki povezujejo sestavne dele, vroče lepilo, s katerim smo zatesnili luknje v ohišju in pritrdili električne dele v ohišje, in napajalni kabel, ki mora biti med delovanjem priklopiljen v USB polnilnik.



Slika 3.13: Zbirna enota. Na pokrovu sta montirana dva prikazovalnika, pri straneh sta dve anteni in na eni strani je napajalni USB kabel.



Slika 3.14: Notranjost zbirne enote. Razvidna je uporaba enotne barvne sheme za električne povezave in uporaba vročega lepila za zatesnitev lukenj in pritrjevanje električnih komponent. Napajalni kabel je zaradi potrebe po tesnjenju trajno pritrjen v ohišje.

Posebnost ESP32 je, da ima dvojederni procesor. V primeru meritne enote je to zaradi večje porabe hiba, pri zbirni enoti pa smo to uporabili v našo korist, saj smo lahko pri vsakem mikrokontrolerju eno celo jedro namenili komunikaciji z drugim delom enote, drugo jedro pa komunikaciji s protokolom ESP-NOW ali s protokolom WiFi. Za vsako aktivnost smo napisali svoj proces in ga dodelili svojemu jedru. Pri tem smo si pomagali z operacijskim sistemom FreeRTOS. Za komunikacijo med deloma enote smo definirali posebna sporočila, ki so namenjena prenosu podatkov o meritvah, zahtevah za sinhronizacijo časa, sinhronizaciji časa in pošiljanju telemetričnih podatkov. S tem smo ukrotili asinhrono delovanje mikrokontrolerjev in ustvarili iluzijo, da je zbirna enota ena homogena celota.

Del zbirne enote, ki komunicira s protokolom ESP-NOW (slika 3.9) z meritnimi enotami je zadolžen za sprejem podatkov, sinhronizacijo časa in sprejem telemetričnih podatkov. Ob zagonu najprej inicializira komunikacijo s protokoloma ESP-NOW in PJSON, potem pa vsakemu jedru dodeli svoj proces. Jedro 0 potem čaka na sporočila z meritnih enot. Ko sporočilo prejme, najprej določi tip sporočila. Če sporočilo vsebuje podatke o meritvi, jih prepiše v vrsto za pošiljanje na WiFi del. V nasprotnem primeru pa gre za sporočilo s telemetričnimi podatki na katere odgovori s trenutnim časom v milisekundah, telemetrične podatke pa prav tako zapiše v vrsto za pošiljanje na WiFi del. Jedro 1 je zadolženo za prenašanje podatkov na WiFi del enote in na sinhronizacijo časa. Proses vsako sekundo s posebnim sporočilom zahteva podatke o trenutnem času, hkrati pa preverja, če je v vrsti za pošiljanje novo sporočilo. V primeru da je, to sporočilo prenese na drug del enote.

Del zbirne enote, ki komunicira s protokolom WiFi (slika 3.10) z zalednim delom, je zadolžen za registracijo enote, sinhronizacijo časa in prenos podatkov o meritvah in o telemetriji na zaledni del. Ob zagonu najprej inicializira komunikacijo s protokoloma WiFi in PJSON in pošlje MAC naslov enote na zaledni del za identifikacijo, nato vsakemu jedru dodeli svoj proces. Jedro 0 čaka na sporočila. Če je sporočilo podatkovno, ga doda v vrsto za

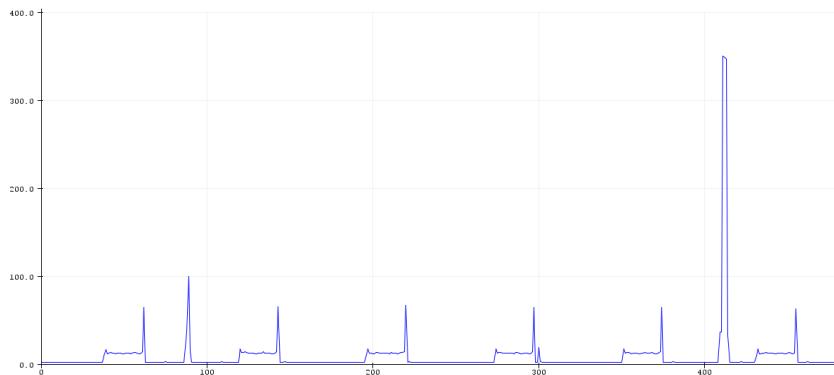
pošiljanje na zaledni del, v nasprotnem primeru odgovori s podatki o trenutnem času. Jedro 1 najprej inicializira časovno sinhronizacijo s protokolom NTP, nato z zalednega dela pridobi konfiguracijske podatke, končno dodana sporočila iz vrste za pošiljanje agregira glede na to ali sporočilo vsebuje podatke o meritvi ali telemetrijo in vsake posebej paketno pošlje na zaledni del preko WiFi povezave.

Enoto smo sestavili iz več manjših komponent, ki smo jih z v naprej narazanimi žicami električno povezali. Celemu projektu smo določili enotno barvno shemo žic in njihovih namenov (slika 3.11). Pri napajanju smo se držali standardne črne in rdeče barve, pri signalih pa smo se načeloma držali principa, da je zelena barva namenjena urinemu signalu, modra pa podatkovnemu signalu. Vse električne komponente (slika 3.12) smo namestili v plastično ABS ohišje z zaščito proti vodi in drugimi vplivi. Vse zvrtane luknje smo zatesnili z vročim silikonskim lepilom (slika 3.14), da smo preprečili vdor vode. Na zunanjost enote (slika 3.13), smo montirali antene, prikazovalnike in trimetrski USB kabel za napajanje. Ker mora enota preprečevati vdor dežja, je kabel trajno z vročim lepilom pritrjen v ohišje.

3.5 Poraba energije

Ena od glavnih zahtev za ta projekt je bila možnost napajanja merilnih enot z baterijami. To je predpogoj za fleksibilnost in prosto postavljanje enot na lokacijo merjenja. Cilj je bil vsaj en teden delovanja z baterijskim napajanjem. Ta cilj smo presegli s teoretičnimi vsaj tremi tedni napajanja iz dveh baterij, če je interval med zaznavanji dolg eno sekundo.

Če želimo enoto napajati z eno 18650 Li-ion polnilno baterijo, ki ima kapaciteto 3000mAh, mora biti povprečen električen tok manjši od 17mA. Naš izbran mikrokontroler po specifikacijah proizvajalca pri polni hitrosti obratovanja porabi povprečno 55mA, med pošiljanjem pa nad 150mA. Za naše potrebe je to veliko preveč. Zato smo pri implementaciji kode za merilno enoto upoštevali nekaj konceptov in dobrih praks za zmanjševanje porabe.



Slika 3.15: Na grafu porabe se jasno vidijo zaznavanja zvoka vsako sekundo in pošiljanja podatkov. Manjši vrh se ujema s pridobivanjem podatkov o času in intervalu, večji vrh pa s pošiljanjem podatkov. Manjši vrhovi se ujemajo s porabo energije med zbiranjem in obdelavo podatkov.

Prvi koncept, ki smo ga uporabili pri naši implementaciji je spanje. Celotno zajemanje zvoka, procesiranje in pošiljanje traja manj kot eno tretjino sekunde, tako da lahko ostali dve tretjini mikrokontroler spi. Ta mikrokontroler podpira dve vrsti spanja - globoko spanje in dremež. V načinu globokega spanja enota porabi le nekaj mikroamperov, ampak se ob spanju delovni pomnilnik izbriše in se enota efektivno gledano ponovno zažene. Čeprav bi bila majhna poraba med spanjem zelo priročna, se mikrokontroler iz globokega spanja zbuja 250ms pri polni hitrosti delovanja. V načinu dremeža porabi približno en miliamper, ampak se vsebina delovnega pomnilnika ohrani in se izvajanje programa po spanju takoj nadaljuje. Zaradi tega je dremež v tem primeru veliko bolj primeren način spanja. Tako enota približno 250ms zbirala in obdeluje podatke, preostali čas pa spi. To je najbolje razvidno na sliki 3.15. S tem smo porabo zmanjšali na približno 20mA.

```

while (true) {

    if(is_interval_now()){
        sensing_and_data_preparation();
    }
}

```

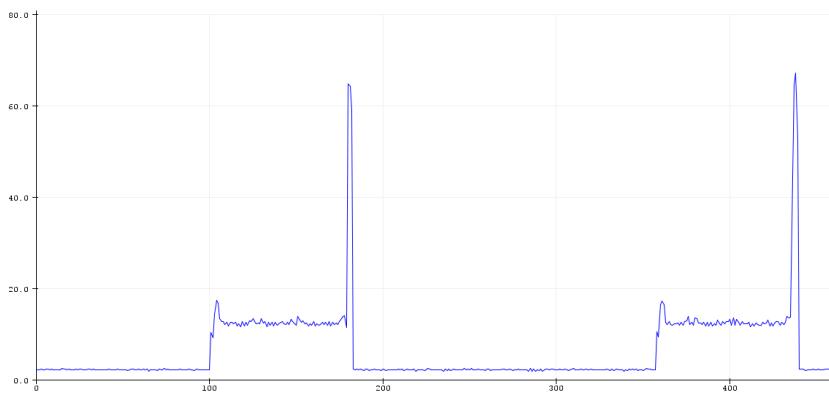
```
// sleep for a random amount of time to prevent signal congestion
int random_sleep = (int)get_random_sleep_time();
if (random_sleep > 0) {
    esp_sleep_enable_timer_wakeup(random_sleep);
    esp_light_sleep_start();
}

// set cpu frequency to 80mhz and send
setCpuFrequencyMhz(80);
sending_and_telemetry();
setCpuFrequencyMhz(10);

// calculate time till next second and enter light sleep
long left = 0;
left = get_remaining_sleep_time();
if (left > 0) {
    esp_sleep_enable_timer_wakeup(left);
    esp_light_sleep_start();
}
}
```

Drugi koncept, ki smo ga pri implementaciji upoštevali, je dinamično nastavljanje frekvence delovanja mikrokontrolerja. Izbiramo lahko med 240MHz, 160MHz, 80MHz, 40MHz, 20MHz in 10MHz. Počasnejše delovanje procesorja pomeni daljše izvajanje iste kode. Tega načeloma nočemo, ker je najbolje, da je mikrokontroler čim več časa v načinu spanja in ker se poraba s frekvenco delovanja ne veča linearно, ampak v korist višjim frekvencam, je počasnejše procesiranje tudi manj učinkovito. Torej lahko frekvenco procesorja zmanjšamo na delih, ki niso računsko zahtevni. Na srečo je zbiranje podatkov iz mikrofona, ki predstavlja najdaljsi del aktivnosti, tudi najmanj računsko zahtevno, saj se medpomnilnik, ki je namenjen podatkom iz mi-

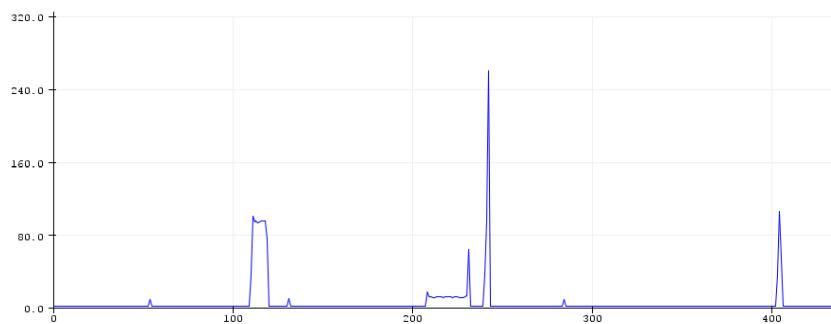
krofona polni brez posegov procesorja. Zato smo frekvenco med zbiranjem podatkov nastavili na 20MHz. Načeloma bi lahko frekvenco nastavili na 10MHz, ampak je ura procesorja vezana na I2S enoto in ker je najmanjša frekvenca I2S signala za pridobivanje podatkov iz mikrofona 20MHz, je to najmanjša ustreznna frekvenca. Za procesiranje podatkov se frekvenca dvigne na 240MHz, ker to traja zelo malo časa in je zato najbolj učinkovito. Tako lahko iz grafa porabe skozi čas predpostavimo v katerem delu cikla delovanja je trenutno enota. To se najbolje vidi na sliki 3.16. S tem smo porabo zmanjšali na približno 15mA.



Slika 3.16: Na grafu porabe so jasno razvidni različni deli običajnega zaznavnega cikla. Enota najprej približno 650ms spi, kar se ujema z zelo nizko porabo. Sledi pridobivanje podatkov o zvoku, ki traja približno 250ms in ima zaradi nizke frekvence procesorja majhno porabo. Na koncu sledi obdelava podatkov, ki se zgodi pri največji hitrosti procesorja, in se ujema z vrhom, ki traja le nekaj milisekund.

Tretji koncept, ki smo ga upoštevali, je paketno pošiljanje podatkov in optimizacija intervala za sinhronizacijo časa. Največja neučinkovitost pošiljanja podatkov ob vsakem zaznavanju je inicializacija dela mikrokontrolerja, ki je zadolžen za brezžično komunikacijo. Pred vsakim dremežem je treba ta del pravilno onemogočiti in pred ponovnim pošiljanjem nazaj omogočiti. To pri 80MHz traja 20ms, pri 240MHz pa 8ms in se ne poveča če mikrokontroler poslje več podatkov. Tako se veliko bolj splača, da podatke meritev

pošilja vsakih nekaj sekund. To se najbolje vidi na sliki 3.15, kjer najvišji vrh sovpada s pošiljanjem podatkov. V isti luči smo optimizirali porabo pri časovnem usklajevanju. Enote morajo zaradi natančnosti čim bolj istočasno zaznavati hrup. To časovno usklajenost smo dosegli s periodičnim usklajevanjem podatkov o trenutnem času. Najboljši kompromis med porabo energije in natančnostjo je usklajevanje enkrat na štiri sekunde. Usklajevanje časa se vidi na sliki 3.15 in sovpada z drugim najvišjim vrhom. Te optimizacije so porabo zmanjšale pod 10mA.



Slika 3.17: Na grafu porabe se vidi princip delovanja, ko je interval zaznavanja daljši od ene sekunde. Enota se eno sekundo po začetku prejšnjega merjenja zbudi in preveri, ali je trenutno število sekund deljivo z intervalom merjenja. Ker ni, gre nazaj v način spanja. Nekaj milisekund kasneje, se enota spet zbudi in spet preveri če je čas za pošiljanje ali usklajevanje časa.

Uporabniku smo omogočili dodatno možnost optimizacije z uravnavanjem intervala zaznavanja. Z daljšim časom med zaznavanji je enota relativno gledano več časa v načinu dremeža, kar zmanjša porabo. Na sliki 3.17 se vidi, kako se poleg enega zaznavanja, enega pošiljanja in dveh usklajevanj časa ne dogaja prav dosti. Enota se kljub temu zbudi vsako sekundo da preveri če je na vrsti za zaznavanje. To na grafu sovpada z najmanjšimi odstopanjami od porabe med spanjem. S preudarnim nastavljanjem intervala med zaznavanji lahko tako uporabnik podaljša trajanje baterije, kar je vidno v tabeli 3.1, kjer je prikazana odvisnost porabe od intervala zaznavanja.

Dodatno smo bili pozorni tudi pri izboru razvojne ploščice, saj imajo

Interval zaznavanja (s)	Električni tok (mA)
1	8.35
2	5.65
3	4.65
4	4.14
5	3.80
6	3.60
7	3.50
8	3.35
9	3.25
10	3.15
1000	2.61

Tabela 3.1: Povprečne porabe ob različnih intervalih merjenja. Tok smo merili na sestavljeni enoti. Uporabili smo čip INA219 za merjenje napetosti. V porabo je vključena poraba mikrokontrolerja, ekrana in mikrofona.

nekatere neprimerne regulatorje napetosti, ki tudi, ko ne napajajo ničesar, porabijo nekaj toka. Najbolj pogost tak regulator napetosti je AMS1117, ki porabi kar 10mA. Pri sestavljanju smo z razvojnih ploščic prav tako odstranili led diode.

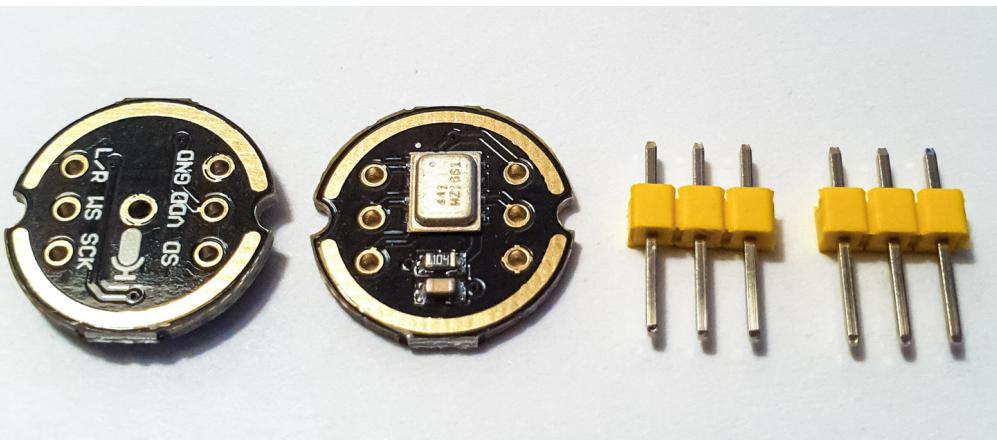
3.6 Strežnik

(konfigurator, API)

* shema podatkov v podatkovni bazi

3.7 Uporabniški vmesnik

Ena glavnih zahtev tega projekta je bila fleksibilnost, saj bo raziskovanje potekalo v sklopu manjših študij, ki bodo opravljene na različnih manjših območjih. Na vsakem od teh območij bomo morali postaviti meritne enote



Slika 3.18: Caption

na druge položaje. Ker je treba vsako študijo posebej nastaviti, je intuitiven grafični uporabniški vmesnik ključnega pomena za učinkovito delo in hitro vpeljevanje novih sodelavcev. Prav tako mora vmesnik omogočati pregled nad trenutnim stanjem meritnih in zbirnih enot.

Uporabniški vmesnik (slika 3.19) smo razvili na podlagi dveh konceptov - MVC in SPA. Zaledni del tako deluje samo kot vir podatkov, ki deluje po principu REST API. Prikaz pa se ustvari pri uporabniku z Angular aplikacijo. Za oblikovanje smo uporabili knjižnico Bootstrap.

Primarni namen uporabniškega vmesnika je upravljanje z meritnimi in zbirnimi enotami. Zato smo najprej implementirali dva pogleda, ki omogočata pregled nad trenutnim stanjem enot. Običajno nas najbolj zanima, kateri študiji je določena enota trenutno dodeljena, zato je pri dodeljenih enotah vedno izpisana ta informacija. Pri meritnih enotah nas poleg tega zanima še točna lokacija in napolnjenost baterije.

Običajno za identifikacijo enot uporabljam MAC naslove in posebne naključne identifikacijske kode, ki jih baza podatkov naključno določi zapisom. Takšen način ljudem ni blizu in je precej neuporaben, ko je enot več, saj si ljudje težko zapomnimo več kot 7 naključnih zaporednih znakov. Zato smo implementirali sistem človeških imen z dodanimi naključnimi številkami. Takšno ime dobi vsaka enota ko se prvič poveže na zaledje in se "registrira".

The screenshot shows a web-based application for managing noise sensing deployments. At the top, there is a navigation bar with the text "Urban Noise Sensing Platform" and links for "Deployments", "Sensors", and "Gateways". Below the navigation bar, the main content area has a title "Deployments". There are three categories listed: "Not yet deployed", "Deployed", and "Finished".

- Not yet deployed:** Contains a single item: "Nov deployment za prikaz".
 - Opis tega deploymenta
 - Number of measurements:
0
- Deployed:** Contains two items: "ok" and "dnevna soba".
 - ok
 - Number of measurements:
177690
 - dnevna soba
 - Number of measurements:
80599
- Finished:** Contains no visible items.

Slika 3.19: Pregled trenutnih in preteklih študij. Vidi se minimalističen oblikovalski stil, ki smo ga uporabili na vseh delih vmesnika.

Sensors

Sebastian12 Battery voltage: 3.73 V Deployment: Nov deployment za prikaz Location: 46.082, 14.451	Joseph84 Battery voltage: 4.21 V Deployment: Nov deployment za prikaz Location: 46.076, 14.466
Ryan40 Battery voltage: 4.28 V Deployment: Nov deployment za prikaz Location: 46.074, 14.479	Nova19 Battery voltage: 4.17 V Deployment: Nov deployment za prikaz Location: 46.079, 14.459
Ezekiel81 Battery voltage: 4.17 V	Violet61 Battery voltage: 4.32 V

(a)

Gateways

Madelyn33 MAC: ac:67:b2:1a:77:f4
Bella70 MAC: ac:67:b2:1a:76:f8 Deployment: Nov deployment za prikaz

(b)

Slika 3.20: Pregled merilnih in zbirnih enot v spletnem uporabniškem vmesniku. Zapis merilnih enot (slika a), prikazujejo podatke o trenutni študiji, napetosti na bateriji in trenutno lokacijo, prav tako je pri vsaki enoti izpisano ime za lažjo identifikacijo. Podobno je pri zbirnih enotah (slika b), izpisano ime in trenutna študija.



Slika 3.21: Primer dodeljenega imena na OLED prikazovalniku ene od merilnih enot.

Takšno ime je konkatenacija naključnega imena iz korpusa stotih najbolj pogostih angleških imen in naključne številke med 0 in 100. Na sliki 3.21 se vidi primer imena na meritni enoti, na sliki 3.20 pa imena na spletnem uporabniškem vmesniku.

Drugi del upravljanja z enotami je ustvarjanje študij (slika 3.22) in dodeljevanje enot tem študijam. Implementirali smo sistem, kjer uporabnik lahko prosto postavlja proste enote na zemljevid (slika 3.23), izbira med zbirnimi enotami in nastavlja WiFi ime in geslo, ki bo dostopno na kraju študije (slika 3.24).

Za hitro diagnosticiranje težav in hiter pregled nad rezultati študije, smo uporabnikom omogočili pregled nad številom zaznavanj po meritnih enotah, povprečno glasnostjo med zaznavanjem (slika 3.25) in lokacije enot med zaznavanjem.

3.8 Podatkovna analitika

Orange je program za podatkovno rudarjenje, ki ga razvija laboratorij za bioinformatiko na Fakulteti za računalništvo in informatiko v Ljubljani. Posebnost tega programa je, da omogoča vizualno programiranje z uporabo gradnikov, ki jih uporabnik povezuje med sabo (slika 3.26).

Ena naših zahtev je bila integracija razvitega sistema s programom Orange. Zato smo razvili svoj gradnik, ki omogoča prenos podatkov z zaledja in njihovo uporabo v delovnih tokovih. Ko so podatki naloženi v program, lahko

Deployments

The screenshot shows a user interface for creating a deployment. At the top left is a small red square icon with a minus sign. To its right is the text "Deployment name". Below this is a text input field containing the text "Nov deployment za prikaz". At the bottom of the input field is a blue button labeled "Create Deployment".

Below the input field, there are three status categories: "Not yet deployed", "Deployed", and "Finished".

Under the "Deployed" category, there is a card with the following details:

- A small blue square icon with the text "ok" next to it.
- The text "Number of measurements: 177690".

Under the "Finished" category, there is another card with the following details:

- A small blue square icon with the text "dnevna soba" next to it.
- The text "Number of measurements: 80599".

Slika 3.22: Ustvarjanje nove študije. Uporabnik lahko to storí na strani za pregled študij. Ko vpisano ime potrdi, ga spletna stran avtomatično preusmeri na urejanje podrobnosti ustvarjene študije.

Sensors

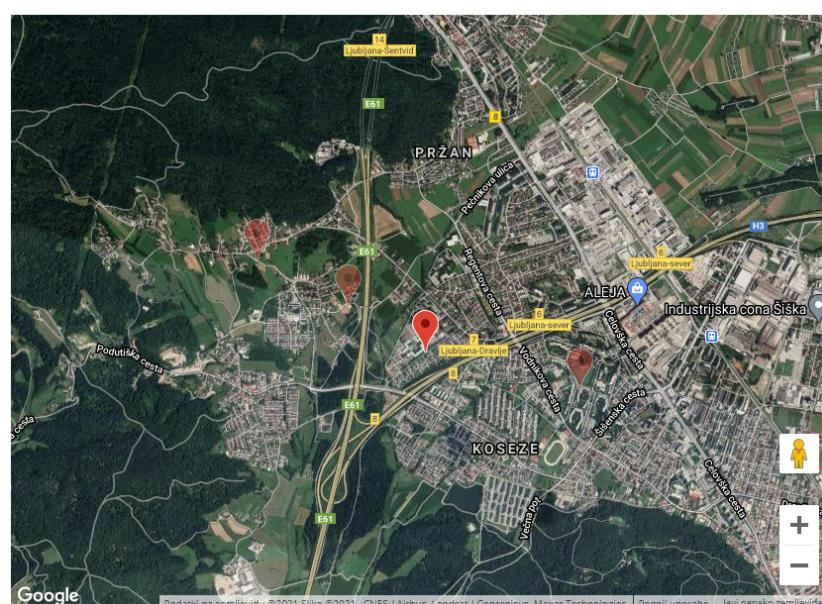
To place a sensor:

1. Click on the map to place a marker
2. Click on the marker to remove it
3. Click on sensor name to show its position

Free sensors

[Ezekiel81](#)[Violet61](#)[Maya19](#)[Jeremiah89](#)[Theodore84](#)[Emery20](#)

Placed sensors

[Sebastian12](#)[Joseph84](#)[Ryan40](#)[Nova19](#)

Slika 3.23: Postavljanje prostih meritnih enot na zemljevid. Uporabnik s klikom na zemljevid razvršča meritne enote, ki trenutno niso dodeljene nobeni študiji. Lokacije trenutno postavljenih enot lahko uporabnik preveri s klikom na ime postavljene enote, odstrani pa jih lahko s klikom na postavljen naznamek.

Gateways

Select the gateways by clicking on them.
Unselect the gateways in similar fashion.
Gateway location is not saved. Please remember it or write it down in deployment description.
Free gateways

Madelyn33

Selected gateways

Bella70

Gateway WiFi credentials

WiFi SSID

ime_wifi_omrežja

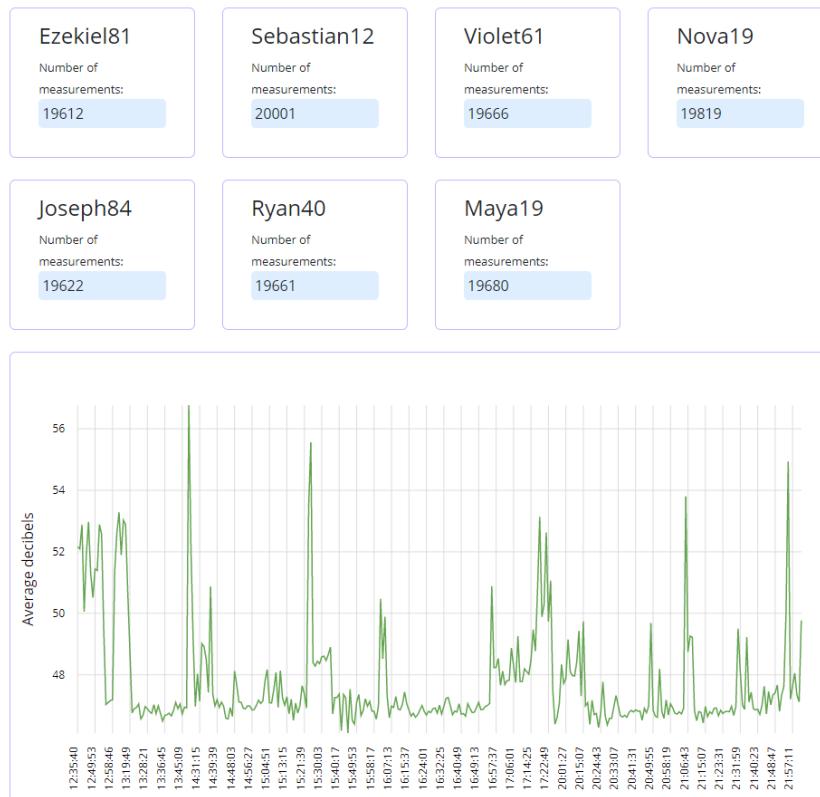
WiFi password

geslo_wifi_omrežja

Slika 3.24: Izbira in nastavljanje zbirnih enot. Uporabnik lahko izbere eno prosto zbirno enoto, potem ji lahko določi podatke o WiFi dostopni točki, ki bo dostopna na kraju zaznavanja.

uporabimo vgrajene gradnike za dodatno analizo in prikaz teh podatkov. Ti gradniki nam omogočajo prikaz glasnosti na zemljevidu, pomikanje skozi čas s časovno rezino, ugotavljanje periodičnosti podatkov (slika 3.27), iskanje najbolj zanimivih odsekov podatkov in predvsem pregledno in intuitivno delo z večjo količino podatkov.

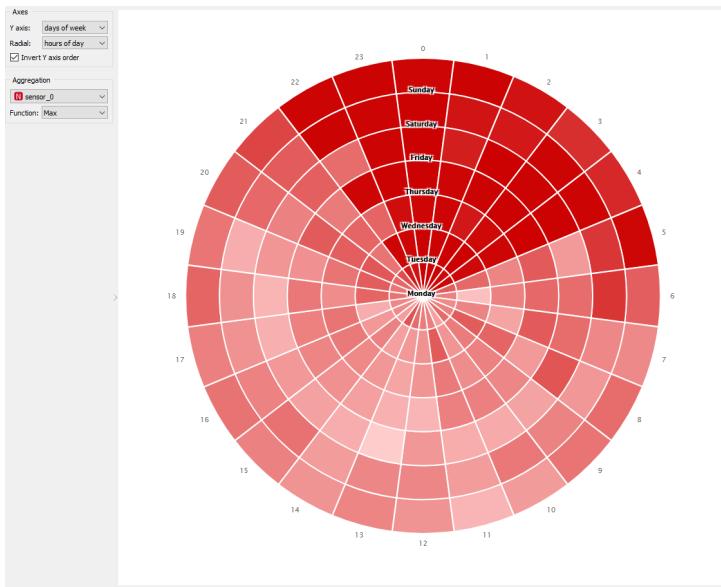
Naš gradnik (slika 3.28) se imenuje UNSdata in je namenjen pridobivanju podatkov z zalednega strežnika. Nanj pošilja zahtevke oblike REST API in vrnjene podatke pretvarja v kompatibilno obliko za uporabo z drugimi gradniki v programu. Implementiran princip uporabe predpostavlja, da uporabnik najprej s seznama izbere študijo, nato nastavi obliko poizvedbe in na koncu izbere obliko podatkov.



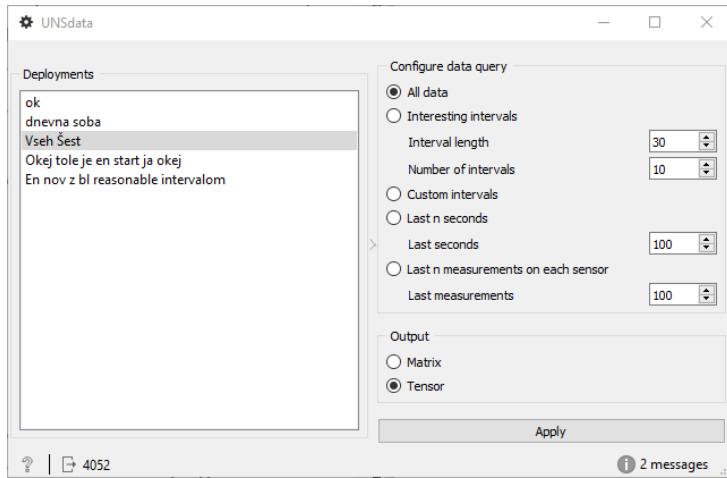
Slika 3.25: Pregled merilnih enot in povprečne glasnosti hrupa med študijo. Med zaznavanjem in po koncu zaznavanja lahko uporabnik pregleda te najbolj osnovne podatke o poteku študije. Graf je omejen na maksimalno 1000 točk. Ko je meritev več, se izračuna povprečje več meritev, tako da rezultat ustreza tej omejitvi.



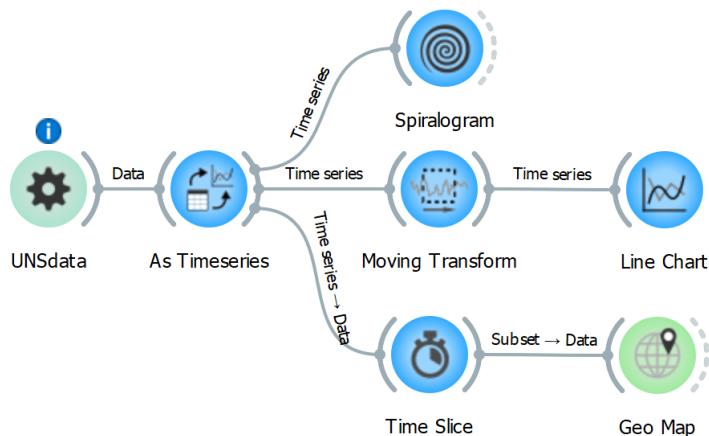
Slika 3.26: Primer delovnega toka v programu Orange na primeru kosiлице. V ozadju se vidi definiran delovni tok, v ospredju pa so odprtih prikazi analiziranih podatkov. Prikazana je uporaba časovne rezine in prikaza na zemljevidu, ter graf glasnosti po senzorjih v odvisnosti od časa.



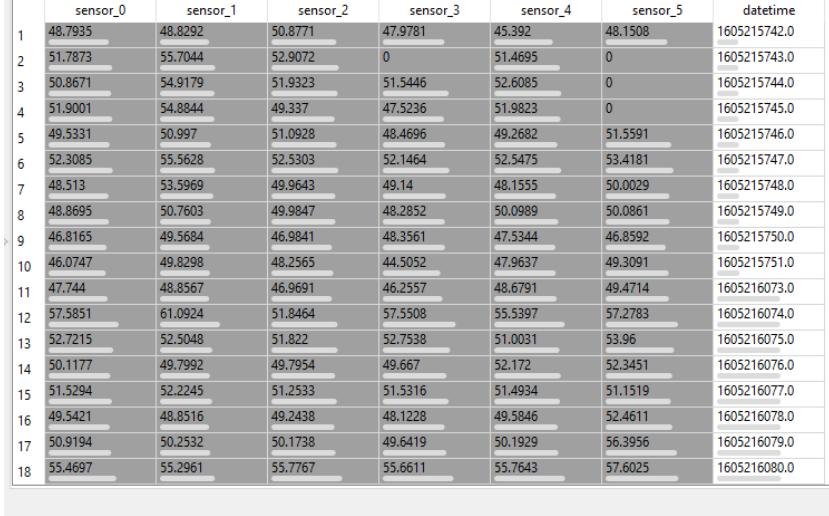
Slika 3.27: Primer prikaza podatkov s spiralnim grafom. Tu smo podatke uredili po dnevih v tednu in urah dneva. Prikazani so podatki zaznavanja hrupa v bivalnih prostorih, tako da se jasno vidi kdaj je šla družina spati, kdaj so se zjutraj zbudili in celo daljše spanje v soboto zjutraj.



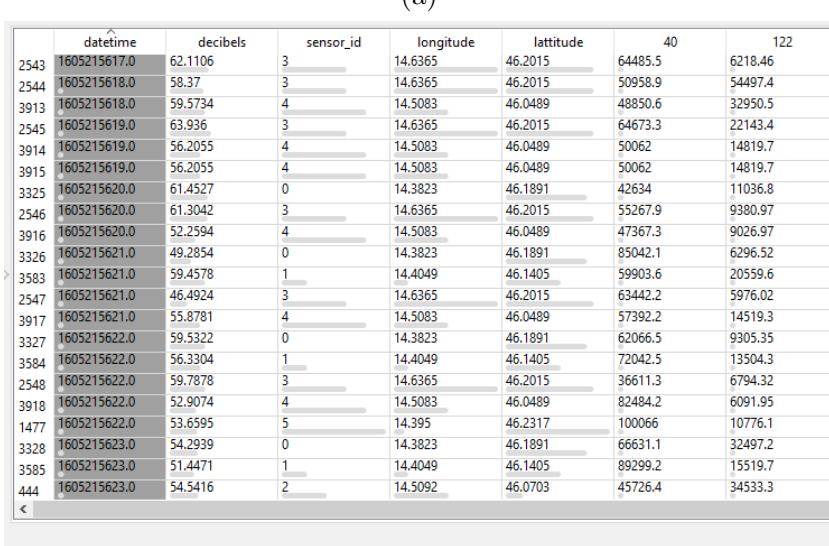
Slika 3.28: Zaslonski posnetek implementiranega gradnika. Na levi strani se izpišejo imena vseh študij s podatki do katerih lahko uporabnik dostopa, na desni zgoraj uporabnik definira podatkovno poizvedbo, desno spodaj pa izbere obliko izstopnih podatkov in potrdi svojo izbiro.



Slika 3.29: Primer delovnega toka v programu Orange. Podatke pridobljene s pomočjo UNSdata gradnika, se najprej pretvori v časovno zaporedne podatke, potem se lahko periodičnost podatkov prikaže na spiralnem prikazu. Podatke se lahko zgredi in osnovno obdela s funkcijo "Moving Transform" in se jih prikaže na grafu, ali pa se izbere rezino podatkov, ki so potem prikazani na zemljevidu.



(a)



(b)

	sensor_0	sensor_1	sensor_2	sensor_3	sensor_4	sensor_5	datetime
1	48.7935	48.8292	50.8771	47.9781	45.392	48.1508	1605215742.0
2	51.7873	55.7044	52.9072	0	51.4695	0	1605215743.0
3	50.8671	54.9179	51.9323	51.5446	52.6085	0	1605215744.0
4	51.9001	54.8844	49.337	47.5236	51.9823	0	1605215745.0
5	49.5331	50.997	51.0928	48.4696	49.2682	51.5591	1605215746.0
6	52.3085	55.5628	52.5303	52.1464	52.5475	53.4181	1605215747.0
7	48.513	53.5969	49.9643	49.14	48.1555	50.0029	1605215748.0
8	48.8695	50.7603	49.9847	48.2852	50.0989	50.0861	1605215749.0
9	46.8165	49.5684	46.9841	48.3561	47.5344	46.8592	1605215750.0
10	46.0747	49.8298	48.2565	44.5052	47.9637	49.3091	1605215751.0
11	47.744	48.8567	46.9691	46.2557	48.6791	49.4714	1605216073.0
12	57.5851	61.0924	51.8464	57.5508	55.5397	57.2783	1605216074.0
13	52.7215	52.5048	51.822	52.7538	51.0031	53.96	1605216075.0
14	50.1177	49.7992	49.7954	49.667	52.172	52.3451	1605216076.0
15	51.5294	52.2245	51.2533	51.5316	51.4934	51.1519	1605216077.0
16	49.5421	48.8516	49.2438	48.1228	49.5846	52.4611	1605216078.0
17	50.9194	50.2332	50.1738	49.6419	50.1929	56.3956	1605216079.0
18	55.4697	55.2961	55.7767	55.6611	55.7643	57.6025	1605216080.0

	datetime	decibels	sensor_id	longitude	latitude	40	122
2543	1605215617.0	62.1106	3	14.6365	46.2015	64485.5	6218.46
2544	1605215618.0	58.37	3	14.6365	46.2015	50958.9	54497.4
3913	1605215618.0	59.5734	4	14.5083	46.0489	48850.6	32950.5
2545	1605215619.0	63.936	3	14.6365	46.2015	64673.3	22143.4
3914	1605215619.0	56.2055	4	14.5083	46.0489	50062	14819.7
3915	1605215619.0	56.2055	4	14.5083	46.0489	50062	14819.7
3325	1605215620.0	61.4527	0	14.3823	46.1891	42634	11036.8
2546	1605215620.0	61.3042	3	14.6365	46.2015	55267.9	9380.97
3916	1605215620.0	52.2594	4	14.5083	46.0489	47367.3	9026.97
3326	1605215621.0	49.2854	0	14.3823	46.1891	85042.1	6296.52
3583	1605215621.0	59.4578	1	14.4049	46.1405	59903.6	20559.6
2547	1605215621.0	46.4924	3	14.6365	46.2015	63442.2	5976.02
3917	1605215621.0	55.8781	4	14.5083	46.0489	57392.2	14519.3
3327	1605215622.0	59.5322	0	14.3823	46.1891	62066.5	9305.35
3584	1605215622.0	56.3304	1	14.4049	46.1405	72042.5	13504.3
2548	1605215622.0	59.7878	3	14.6365	46.2015	36611.3	6794.32
3918	1605215622.0	52.9074	4	14.5083	46.0489	82484.2	6091.95
1477	1605215622.0	53.6595	5	14.395	46.2317	100066	10776.1
3328	1605215623.0	54.2939	0	14.3823	46.1891	66631.1	32497.2
3585	1605215623.0	51.4471	1	14.4049	46.1405	89299.2	15519.7
444	1605215623.0	54.5416	2	14.5092	46.0703	45726.4	34533.3

Slika 3.30: Dve obliki pridobljenih podatkov. Zaradi različnih namenov uporabe podatkov, smo se odločili, da podpremo dve obliki izvažanja podatkov v druge gradnike. Matrica (slika a) se osredotoča na jakost zvoka skozi čas. Podatki v obliku tenzorjev (slika b) pa nam poda vse podatke o lokaciji merilne enote in vsemu doda rezultate spektralne analize.

Poglavlje 4

Primera uporabe

(motivacija, postavitev, rezultati, interpretacija - štirje odstavki)

4.1 Kosilnica

Iz opisa slike in kot osnutek za dejansko besedilo:

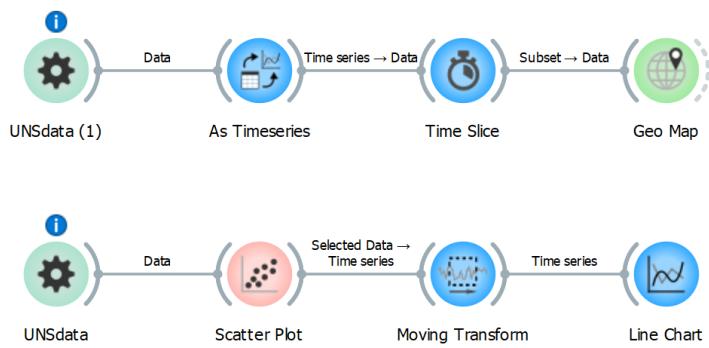
Pri primeru kosilnice smo raziskovali kako natančno lahko določimo gibanje izvira hrupa glede na izmerjeno glasnost na vsakem senzorju. Podatke smo za prikaz na mapi izvozili kot tenzorje in jih potem s pomočjo geografskih orodij prikazali na zemljevidu dejanske lokacije. Za prikaz grafa po času smo podatke izvozili kot matrico in jih tako prikazali na grafu.

(motivacija, postavitev, rezultati, interpretacija - štirje odstavki)

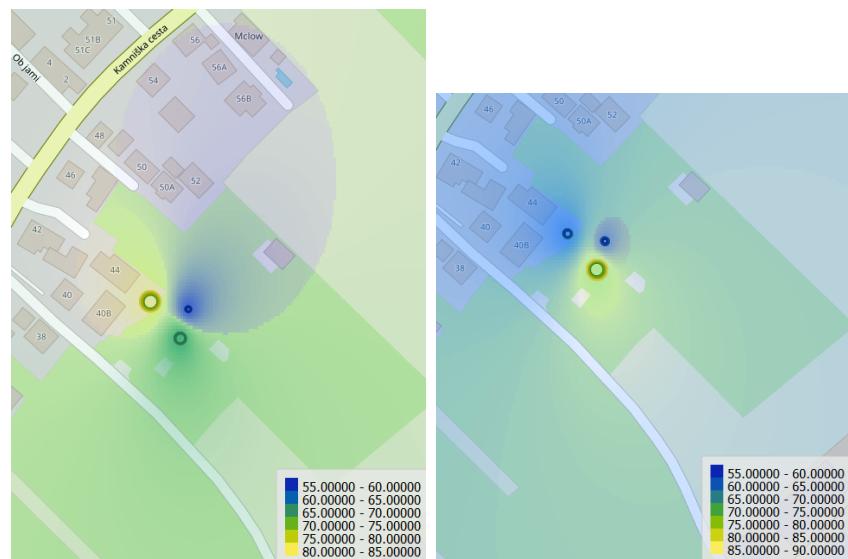
S tem poskusom smo želeli opazovati možnost spremeljanja lokacije vira hrupa. Merilne enote smo pred košenjem postavili ob rob travnika, da se jasno vidijo oscilacije hrupa, ki ga je proizvedla kosilnica. Jasno se vidi, kdaj je bila kosilnica najbližje posamezni merilni enoti.

4.2 Glasnost na fakulteti

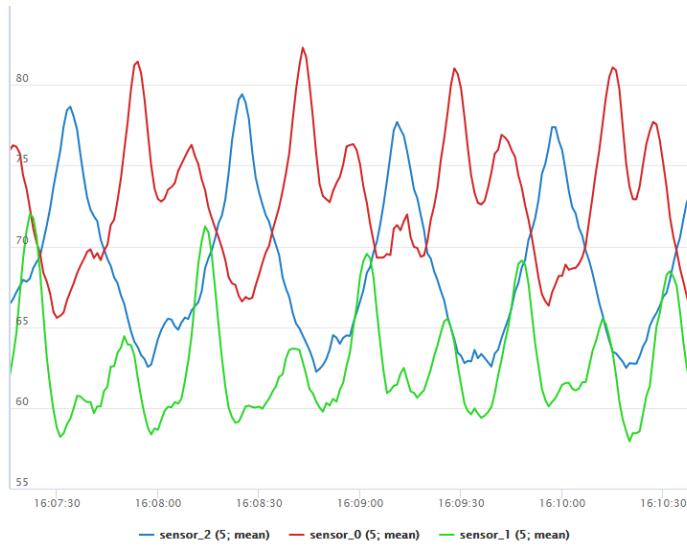
* posnetek zaslona zemljevida z lokacijami meritnih enot * posnetek zaslona delovnega toka v Orange * zglajen graf po meritvah * spiralogram za prikaz



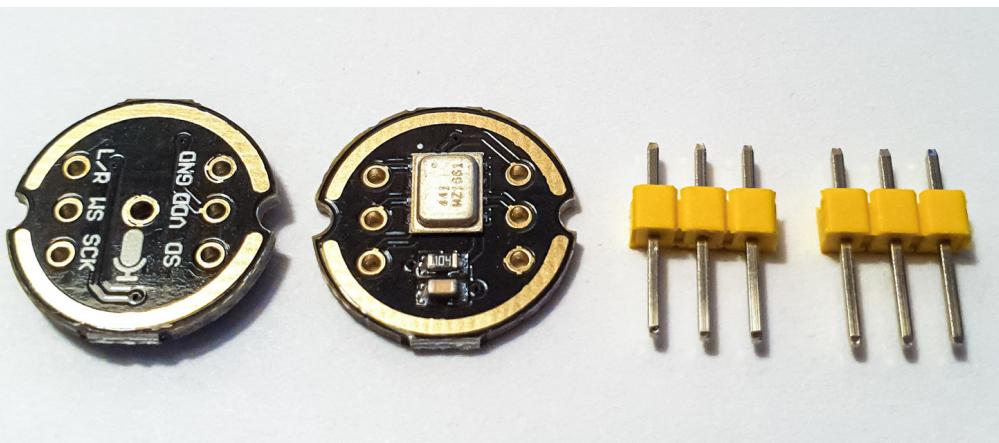
Slika 4.1: Wokrflow v programu Orange. Za prikaz na zemljevidu smo najprej z gradnikom UNSData pridobili podatke v obliki tenzorjev, jih spremenili v časovno vrsto, izbrali časovno rezino za pregled in to prikazali na zemljevidu. Za prikaz podatkov na grafu, smo pridobili podatke z gradnikom UNSData v obliki matrice, v razsevnem diagramu izbrali zanimivo časovno rezino, podatke zgladili in jih prikazali na grafu.



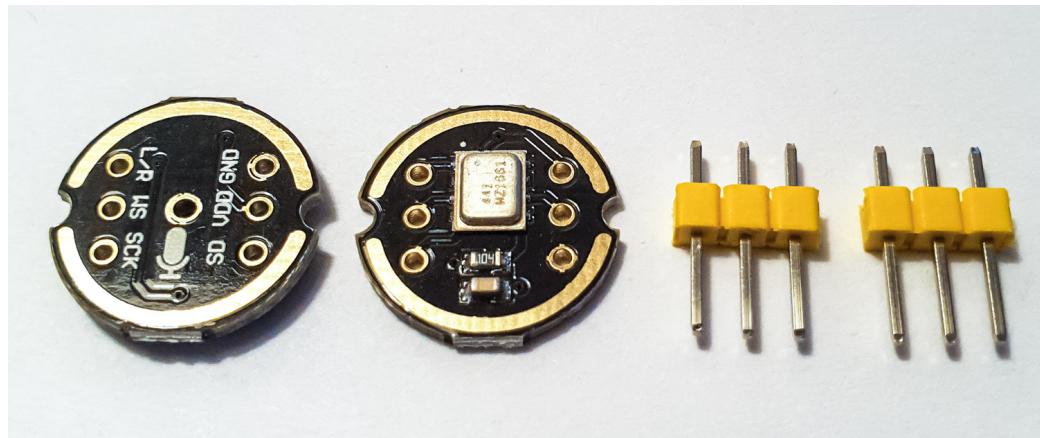
Slika 4.2: Prikaz izmerjene glasnosti v različnih časovnih obdobjih. S prikazom na zemljevidu in izbiro dovolj kratke časovne rezine, lahko prikažemo približno pozicijo izvora zvoka in kako se je ta izvor premikal skozi čas. To je primerno tako za akutne spremembe v poziciji izvora zvoka kot je prikazano tu, kot tudi za prikaz počasnejših sprememb.



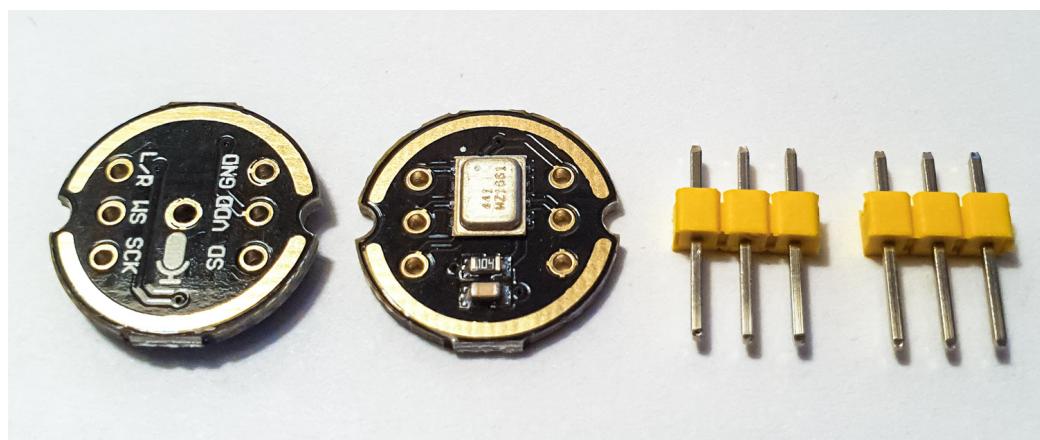
Slika 4.3: Na grafu vseh meritev po času in senzorju, se jasno vidi, kako se je kosilnica približevala in oddaljevala vsakemu od senzorjev. Ker smo senzorje postavili na rob travnika, kosilnica pa se je v spirali gibala proti sredini, je mogoče opaziti, da so vrhovi po času vedno manjši, ker je razdalja med kosilnico in senzorjem z zmanjševanjem premera kroga vedno večja.



Slika 4.4: Caption

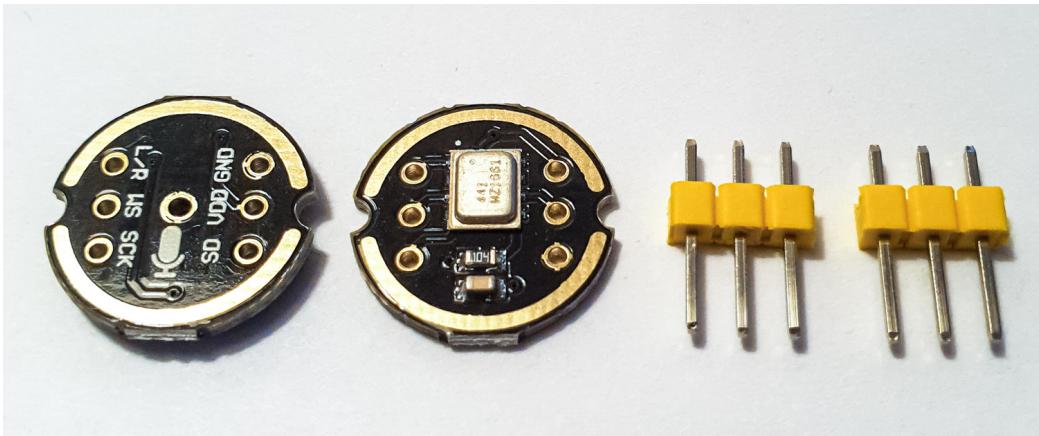


Slika 4.5: Caption



Slika 4.6: Caption

periodnega ponavljanja vzorcev v glasnosti



Slika 4.7: Caption

(motivacija, postavitev, rezultati, interpretacija - štirje odstavki)

Poglavlje 5

Zaključek

(ni podpoglavlji, samo trije odstavki) - sklepne misli (kaj je bila naša naloga)
- rezultat (kako smo jo uspešno rešili) - kaj še ostane (če bi imel čas in denar,
kaj bi še lahko naredil iz tega, urbanisti, ...)

Appendices

Dodatek A

Dodatek: Uporabniška navodila

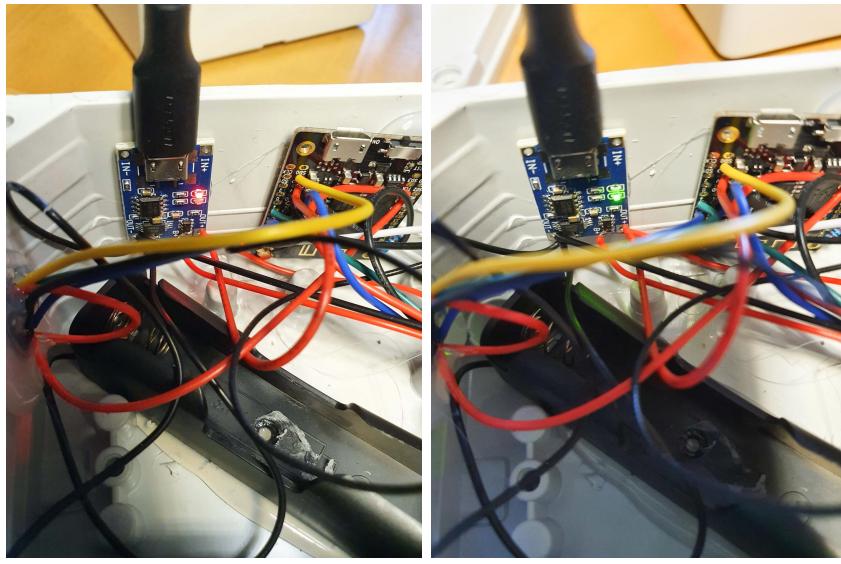
A.1 Polnjenje meritnih enot

Meritne enote napajajo li-ion polnilne baterije. Napoljenost posamezne meritne enote se lahko preveri na strani "Sensors". Baterije so prazne pri napetosti približno 3.0V.

1. Odstranite pokrov enote, ki je pritrjen s 4 vijaki.
2. Z USB kablom povežite polnilno vezje z USB napajalnikom. Polnilno vezje je manjša ploščica z USB priključkom, montirana zraven mikrokontrolerja.
3. Polnite dokler ne sveti zelena luč. Če je naprava med polnjenjem prižgana v načinu nastavljanja, lahko preverite napoljenost na strani "Sensors". Enota je napolnjena, ko napetost preseže 4.05 V.

A.2 Prižiganje enot v različnih načinih

Prva iteracija meritnih enot ima dve stikali, ki sta uporabljeni za prižiganje in izbiro načina delovanja. Naslednje bodo imele le eno stikalo in bo prižiganje in izbira delovanja trivialna operacija.



(a) Med polnjenjem.

(b) Polnjenje je končano.

Slika A.1: Prikaz načina polnjenja meritne enote.

1. Stikalo za napajanje premaknete v pozicijo OFF in s tem ugasnete napravo.
2. Stikalo za način delovanja prestavite v način ki se ujema z želenim načinom delovanja. "N" predstavlja način za nastavljanje, Ž pa način za zaznavanje.
3. Stikalo za napajanje premaknete v pozicijo ON in s tem prižgete napravo.

A.3 Registracija meritne enote

Preden enote uporabite za raziskave, jih je potrebno registrirati v sistem.

1. Poskrbite, da je napravam na voljo WiFi omrežje s povezavo na internet z SSID "UNSwifi" in geslom "uns12wifi34".
2. Prižgite enote v način za nastavljanje.



Slika A.2: Označba stikal za prižiganje enote in izbiro načina delovanja, kjer ON in OFF predstavlja prižgano in ugasnjeno enoto, N in Z pa način za nastavljanje in način za zaznavanje.

3. Počakajte, da se na ekranu izpiše ime enote.



Slika A.3: Ekran meritne enote, ko je enota v načinu nastavljanja in se je naprava uspešno registrirala v sistem. V prvi vrstici je izpisano ime meritne enote, v drugi so trenutni decibeli, v tretji pa najmočnejša frekvenca zvoka.

A.4 Ustvarjanje raziskave

Projekt je zasnovan na principu raziskav, ki so urejene v ”deployments”. Ustvarja in upravlja se jih preko spletnega vmesnika, ki je dostopen na naslovu: ”<http://urbannoisesensing.biolab.si/>”.

1. Registrirajte vse meritne in zbirne enote, ki bodo uporabljeni v tej raziskavi.
2. V spletnem vmesniku v zavihku ”Deployments” pritisnite gumb “+”, vpišite ime raziskave in pritisnite gumb ”Create Deployment”.
3. Nadaljujte z urejanjem raziskave.

A.5 Urejanje raziskave

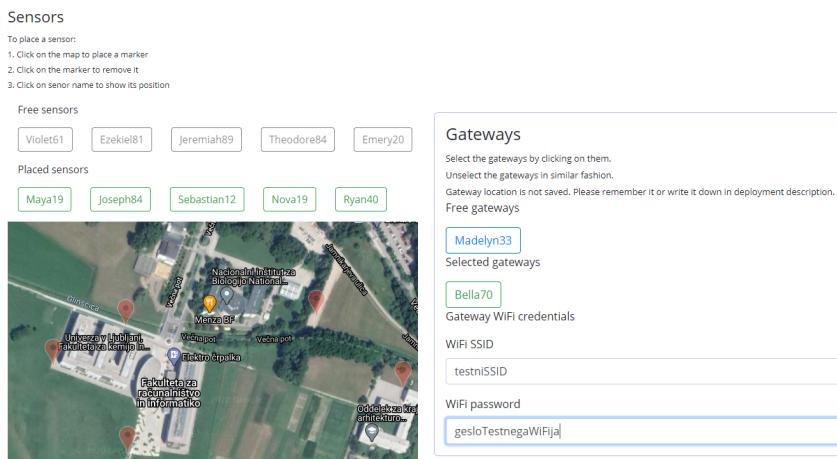
Pred začetkom zaznavanja je treba nastaviti in zagnati raziskavo. Spletni vmesnik je dostopen na naslovu: ”<http://urbannoisesensing.biolab.si/>”.

1. Ustvarite raziskavo, ali pa na strani "Deployments" v razdelku "Not yet deployed" izberite raziskavo, ki jo želite urediti.
2. Raziskavi uredite ime in opis tako, da spremenite besedilo v vnosnih poljih in pritisnete gumb "Save changes".
3. Merilne enote lahko raziskavi dodajate tako, da v razdelku "Sensors" s klikom na zemljevid na ustrezena mesta postavljate zaznamke.
 - S klikom na zaznamek na zemljevidu odstranite enoto iz raziskave.
 - S klikom na ime postavljeni merilni enoti, se zaznamek na zemljevidu obarva.
4. Zbirno enoto lahko dodate v razdelku "Gateways" s klikom na ime izbrane zbirne enote.
5. Zbirni enoti lahko dodate možnost povezovanja na dodatno WiFi dostopno točko tako, da vpišete podatke o tem omrežju v ustreza polja v razdelku "Gateways".
6. Raziskavo zaženete s klikom na gumb "DEPLOY".
7. Raziskavo zbrišete s klikom na gumb "DELETE DEPLOYMENT".

A.6 Prenašanje podatkov na enote

Ko je raziskava zagnana, je treba podatke o nastavivah prenesti na enote.

1. Poskrbite, da je napravam na voljo WiFi omrežje s povezavo na internet z SSID "UNSwifi" in geslom "uns12wifi34".
2. Prižgite merilne enote v načinu za nastavljanje in počakajte, da se enota poveže na WiFi in pridobi podatke o nastavivah.
3. Povežite zbirno enoto na napajanje in počakajte, da se poveže na WiFi omrežje.



(a) Primer postavljenih meritnih enot na zemljevidu (b) Primer izbire zbirne enote in nastavljanja WiFi omrežja.

Slika A.4: Zaslonski posnetki uporabniškega vmesnika med nastavljanjem raziskave.

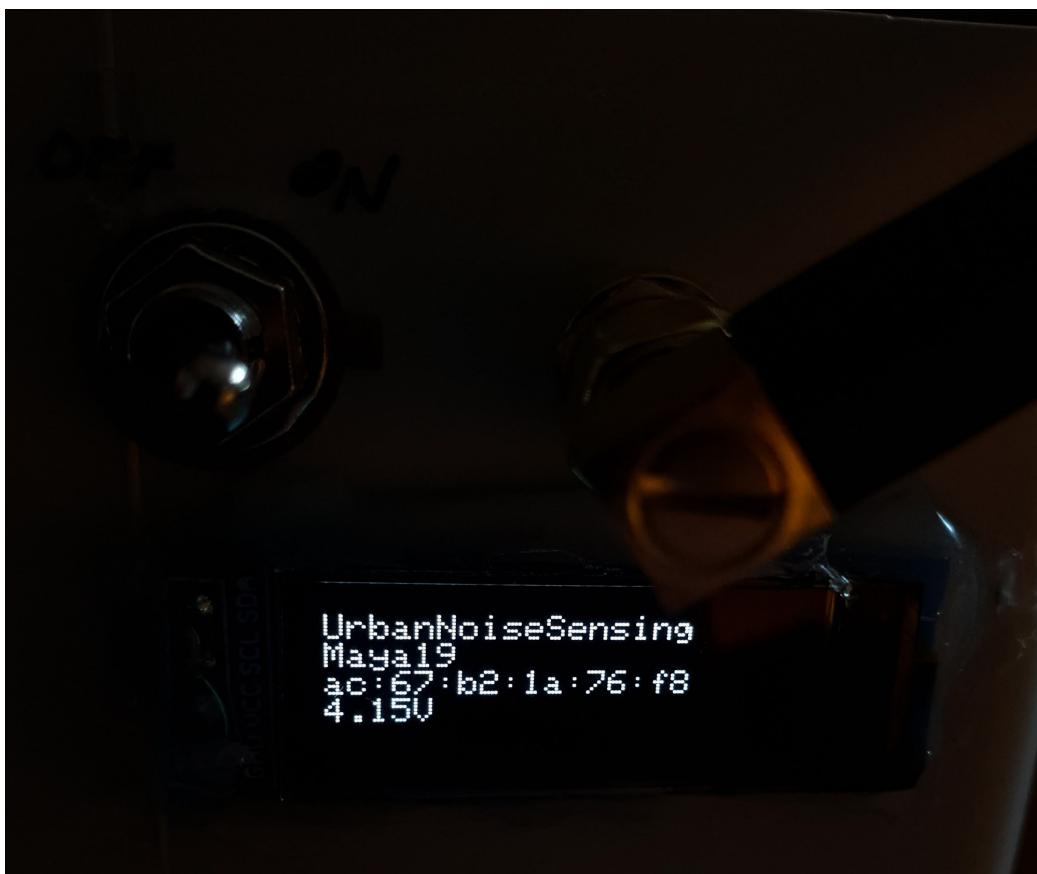
4. Ugasnite enote.

A.7 Postavljanje enot na lokacijo zaznavanja

Ko je raziskava zagnana in so podatki preneseni na enote, lahko postavite enote na lokacijo zaznavanja.

1. Poskrbite, da so pokrovi vseh enot ustrezno pritrjeni in da so baterije meritnih enot ustrezno polne.
2. Enote vsako posebej postavite na specificirane lokacije in jih prižgite v način za zaznavanje. Točne lokacije meritnih enot lahko preverite tako, da v spletnem vmesniku na strani "Deployments" v razdelku "Deployed" izberete trenutno raziskavo in v zavihku "Sensors" s klikom na posamezno ime enote na zemljevidu preverite, kje točno naj bi se posamezna enota nahajala.
3. Postavite in priklopite zbirno enoto v dosegu prej specificiranega WiFi

omrežja.



Slika A.5: Ekran meritne enote, ko se pravilno nastavljena enota prižiga v načinu zaznavanja. V prvi vrstici je napisano ime projekta, v drugi je napisano ime enote, v tretji je napisan MAC naslov zbirne enote, v zadnji pa napetost na bateriji.

A.8 Uravnavanje intervala zaznavanja

Privzeti interval zaznavanja je 1 sekunda. S povečevanjem intervala se podaljša doba delovanja baterij in zmanjša količina podatkov. Spletni vmesnik je dostopen na naslovu: "<http://urbannoisesensing.biolab.si/>".

1. V spletnem vmesniku na strani "Deployments" v razdelku "Deployed" izberite trenutno raziskavo.
2. V razdelku "Sensing interval" v vpisno polje vpišite ustrezno dolžino intervala v sekundah.
3. Pritisnite gumb "Save changes".

A.9 Konec zaznavanja

Po končani raziskavi, je treba zaključiti "deployment". Spletni vmesnik je dostopen na naslovu: <http://urbannoisesensing.biolab.si/>.

1. V spletnem vmesniku na strani "Deployments" v razdelku "Deployed" izberite trenutno raziskavo.
2. Pritisnite gumb "FINISH SENSING". Če ni bilo opravljenih nič uspešnih meritov, je treba raziskavo izbrisati z gumbom "DELETE DEPLOYMENT".

Literatura