



Interaktivni prikaz:

<https://noisejs.erasred.si/#/demo>



<https://noisejs.erasred.si>

SPLETNA PLATFORMA ZA MERJENJE HRUPA S POMOČJO 'NAREDI SAM' MERILNIH ORODIJ

RAZISKOVALNA NALOGA

MENTORJA:

Alenka Mozer, Gimnazija Vič
dr. David Kocman, Inštitut Jožef Stefan

AVTORJA:

Kris Flajs
Luka Skeledžija

Ljubljana, Slovenija
junij 2018 – februar 2020

1 Povzetek

Hrup je v današnji družbi zelo resno, a pogosto zanemarjeno okoljsko vprašanje. Dolgotrajna izpostavljenost visokim nivojem hrupa lahko privede do resnih zdravstvenih obolenj (srčno-žilne bolezni, motnje spanja itd.). Kljub temu pa pristojni državni in lokalni organi hrupu posvečajo premalo pozornosti. Zavedni občani so se o tej problematiki podučili in z oblikovanjem civilnih iniciativ prevzeli vloge aktivnih državljanov. Za učinkovito delovanje teh iniciativ pa so potrebna ustrezna orodja za oceno ravni hrupa. V zadnjem času so se ta orodja razvila v obliki t.i. državljskih opazovalnic (Citizens' Observatories). So okoljski nadzorni in informacijski sistemi, ki temeljijo na aplikacijah, vgrajenih v osebne mobilne naprave. Pregled obstoječih rešitev je razkril, da v nasprotju z npr. onesnaževanjem zraka primernih orodij za oceno okoljskega hrupa skoraj ni.

V okviru te raziskave je bila razvita 'naredi sam' naprava za zaznavanje okoljskega hrupa. Cena komponent znaša 58 € zaradi česar je naprava zelo dostopna. Kljub nizki ceni in preprostosti pa bistveno izboljšuje natančnost in funkcionalnost trenutno dostopnih alternativ. Navodila za sestavo so objavljena na spletni strani (<https://noisejs.erazed.si>). V podporo napravi je bila razvita spletna platforma, ki je sposobna beležiti podatke o hrupu, jih obdelati in predstaviti v dveh grafih. Omogoča tudi skupno rabo zabeleženih podatkov preko 'hrupnega profila lokacije'. Profil vsebuje tudi odsek za komentarje, ki uporabnikom omogoča interakcijo in s tem spodbuja oblikovanje aktivnih lokalnih skupnosti. Za laične obiskovalce spletna stran vsebuje tudi nekaj osnovnih informacij o problematiki zvočnega onesnaženja.

Omenjeni sistem za merjenje hrupa so v svoj pametni ptičji krmilnik integrirali tudi najini sošolci. S pomočjo zabeleženih podatkov in orodij za grafično prikazovanje so ugotovili, da je bilo ob nižjih ravneh hrupa na hranilniku več ptic. To uspešno potrjuje koncept in funkcionalnost platforme v praksi.

Ključne besede:

hrup, zvočno onesnaženje, 'naredi sam', citizens' observatories, merjenje

Kazalo

1	Povzetek.....	1
	Kazalo slik in tabel.....	3
2	Motivacija	4
3	Teoretični uvod.....	5
3.1	Pregled obstoječih alternativ	6
4	Cilji raziskovanja.....	8
5	Merjenje hrupa.....	9
5.1	Spletna platforma (Noise.js)	9
5.1.1	Databaza	10
5.1.2	API (Application Programming Interface)	10
5.1.3	Spletna aplikacija	11
5.2	Merilna naprava (Noise.ino)	14
5.2.1	Mikrokontroler.....	14
5.2.2	Senzor za merjenje zvoka	14
5.2.3	Napajalnik in ohišje	20
5.2.4	Programiranje naprave	20
6	Rezultati.....	21
6.1	Merilna naprava.....	21
6.2	Raba naprave	23
6.3	Raba v praksi.....	26
7	Diskusija.....	27
8	Sklepi	27
9	Perspektive.....	28
10	Zahvale.....	29
11	Literatura.....	30

Kazalo slik in tabel

<i>Slika 1: Shema delitve projekta po komponentah</i>	9
<i>Slika 2: Primer celodnevne grafa hrupa</i>	12
<i>Slika 3: WeMos D1 R2 Arduino plošča z ESP8266 mikrokontrolerjem</i>	14
<i>Slika 4: DFRobot Gravity: Analog Sound Level Meter</i>	14
<i>Slika 5: Grafična primerjava meritev hrupa najinega merilnika in merilnika Netatmo</i>	16
<i>Slika 6: Referenčni merilnik BK2230 fonometer, BK4155 mikrofona, BK4231 kalibrator</i>	17
<i>Slika 7: Meritvena postavitve v gluhi sobi</i>	17
<i>Slika 8: Sprememba zvočnega tlaka (dB) v odvisnosti od različnih frekvenc</i>	17
<i>Slika 9: Spektrogram (horizontalna logaritemska os: 0 – 20000 Hz) mimo voza hitrega vlaka</i>	19
<i>Slika 10: Spektrogram (horizontalna logaritemska os: 0 – 20000 Hz) avle na fakulteti</i>	19
<i>Slika 11: Prometno križišče na Tržaški cesti</i>	19
<i>Slika 12: Spektrogram (horizontalna logaritemska os: 0 – 20000 Hz) prometnega križišča na Tržaški cesti</i>	19
<i>Slika 13: baterija Anker Astro E1</i>	20
<i>Slika 14: 3D skica ohišja, narisana v Autodesk Fusion 360</i>	20
<i>Slika 15: Vizualni prikaz povezav med senzorjem in mikrokontrolerjem</i>	21
<i>Slika 16: Sestavljena naprava</i>	23
<i>Slika 17: Kartica aktivne naprave s trenutnimi merilnimi podatki in podatki o napravi</i>	24
<i>Slika 18: Primer hrupnega profila lokacije v uporabniški konzoli</i>	25
<i>Slika 19: Tabela merjenj v spletni aplikaciji</i>	25
<i>Slika 20: Pametni krmilnik ptic, na katerem je z oražno označena škatla z elektroniko, v kateri se nahaja med drugimi tudi najina merilna naprava.</i>	26
<i>Slika 21: Graf hrupa na podlagi podatkov poslanih iz naprave v pametnem krmilniku</i>	26
<i>Tabela 1: Izmerjene L_{eq} vrednosti</i>	18
<i>Tabela 2: Vhodni dogodki, ki jih podpira merilna naprava (websocket protokol)</i>	23
<i>Tabela 3: Izhodni dogodki, ki jih podpira merilna naprava (websocket protokol)</i>	24

2 Motivacija

Veliko ljudi živi na hrupnih območjih, vendar po najinih izkušnjah mestni hrup dojemamo le kot sitnost, ki se je navadiš, in ne kot resno zdravstveno tveganje, ki ga predstavlja. Nekateri ljudje trdijo, da hrupa sploh ne opazijo in ne vidijo smisla v pisanju pritožb. Eden od avtorjev te naloge je želel izmeriti hrup v okolici svojega doma in sosedom tako kvantitativno dokazati, da raven hrupa presega zdrave meje. S prijateljem, soavtorjem te naloge, se je pogovarjal o tem, kako se lotiti takšnih meritev. Po pregledu obstoječih možnosti je postalo jasno, da za takšno merjenje okoljskega hrupa skoraj ni na voljo ustreznega orodja. Iskala sva cenovno sprejemljiv merilnik ravni hrupa, ki bi lahko ustvaril hrupne profile lokacij z lepo grafično predstavitev izmerjenih podatkov.

Odločila sva se, da bova pod okvirom raziskovalne naloge skušala ustvariti nekaj, kar bi pripomoglo k izboljšavam na tem področju. Najprej sva se obrnila na najino profesorico kemije, gospo Alenko Mozer. Ker je razumela najino težavo in željo, nama je ponudila svojo pomoč pri zadevi. Povezala naju je z zunanjim mentorjem, ki deluje na tem področju.

Kmalu zatem se je dogovorila za srečanje z dr. Davidom Kocmanom, ki vodi raziskovalno skupino na Inštitutu Jožef Stefan (IJS). Po razpravi o problemu onesnaževanja s hrupom smo se dogovorili za cilj, metodologijo in prve korake pri ustvarjanju raziskovalne naloge.

Začela sva s sestavljanjem preprostega 'naredi sam' orodja za merjenje hrupa. Z njim sva tudi v šoli vzbudila zanimanje sošolcev, saj nekateri, tako kot midva, živijo v neposredni bližini železniških prog. Zaradi tega sva ponovno pomislila in spremenila paradigmo: namesto, da bi nekaj ustvarila zase, sva začela ustvarjati funkcionalno spletno platformo, ki je enostavna za uporabo in vsem omogoča merjenje hrupa v njihovi okolici s pomočjo namenskega merilnika. Omogočala bi celo komunikacijo med uporabniki, ki živijo v hrupnih okoljih, in tako apelirala na oblikovanje civilnih iniciativ.

3 Teoretični uvod

Hrup je eden izmed večjih okoljskih problemov današnjega časa, kateremu je dnevno izpostavljeno ogromno število ljudi. Največji problem predstavlja v mestih, kjer glavne povzročitelje hrupa predstavljajo motorna vozila, letala, vlaki, industrijski kompleksi in gradbišča. Ocenjuje se, da je približno 24 % Evropejcev in skoraj 45 % Američanov podnevi izpostavljenih ravnelem hrupa v višini 55 dB ali več (1), (2). Trajna izpostavljenost tako visokim nivojem hrupa je škodljiva za zdravje in je lahko vzrok za nastanek mnogih resnih zdravstvenih obolenj. Med drugimi so to srčno-žilne bolezni (zlasti povišan krvni tlak), kognitivne okvare, motnje spanja, izguba sluha in nenazadnje nadležnost (stres) (1). Projekcije Združenih narodov kažejo, da se bo zaradi urbanizacije in splošne rasti svetovnega prebivalstva do leta 2050 v mesta priselilo še dodatne 2,5 milijarde ljudi (3). V naslednjih letih bo torej nevarno visokim nivojem hrupa izpostavljenih več ljudi kot kadarkoli prej.

Vpliv okoljskega hrupa je mogoče zmanjšati z uvedbo protihrupnih ograj ob glavnih cestah, železniških progah in drugih virih hrupa. Pravilno postavljene protihrupne ograje lahko hrup zmanjšajo tudi do 6,5 dB (A) in so med najpogosteje uporabljenimi ukrepi za zmanjšanje hrupa. (9) Posamezniki si lahko tudi pomagajo z montažo novejših, bolj akustično izoliranih oken. Mnoga mesta celo ponujajo subvencije za zamenjavo oken ljudem, ki živijo zraven močnih virov hrupa. (10)

Boljši pristop pa je zajezev zvočnega onesnaženja pri njegovem izvoru. To vključuje uvedbo mejnih vrednosti hrupa za avtomobilski promet na ravni proizvajalcev, znižanje omejitev hitrosti, dobro vzdrževanje cest ter spremembo sestave in poroznosti vozišč, da se pri vožnji ustvarja manj hrupa. Nižje nivoje hrupa se lahko doseže tudi z dobrim urbanističnim načrtovanjem, npr. z uvedbo območij za pešce, tihih con in gradnjo letališč stran od stanovanjskih kompleksov ter spodbujanjem javnosti k uporabi javnega prevoza. (10), (9)

Da bi omejili učinke hrupa na zdravje, je Evropska unija od držav članic zahtevala pripravo akcijskih načrtov za obvladovanje hrupa. Vendar se je v praksi to izkazalo za precej neuspešen projekt. Mejne vrednosti hrupa so še vedno pogosto presežene brez kakršnih koli posledic, tudi kadar so zakonsko zavezujoče. Evropska komisija je v svojem poročilu zapisala, da učinki hrupa na zdravje ljudi državnim organom verjetno niso dovolj poznani oz. razumljeni. Posledično se tudi tej okoljski problematiki posveča premalo pozornosti in proračuna. Predlagajo, naj države članice delajo na ozaveščanju državljanov ter pristojnih lokalnih in državnih organov o negativnih učinkih okoljskega hrupa. (4)

Na lokalni ravni pa lahko pri zmanjšanju hrupa veliko pripomorejo aktivni državljani. To so ljudje, ki so se o problematiki izobrazili sami in oblikovali razne civilne iniciative. Te imajo pomembno vlogo pri spremljanju in opozarjanju lokalnih oblasti o visokih ravneh hrupa ter njihovih vplivih na zdravje. Da so lahko aktivni državljani pri svojem delu uspešni, pa za to potrebujejo ustrezna *orodja*. Gre za naprave in aplikacije, s katerimi lahko kvantitativno izmerijo oz. ocenijo ravni hrupa, si izmenjujejo informacije ter na ta način spodbudijo zanimanje širše javnosti za (lokalne) okoljske probleme.

Z razvojem informacijske tehnologije so te naprave postale veliko bolj dostopne. V zadnjih letih je bilo razvitih veliko kakovostnih t.i. »*citizens' observatories*« platform, ki občane spodbujajo k sodelovanju pri nadzorovanju raznovrstnih okoljskih parametrov. Dva uspešna primera sta na primer platformi iNaturalist (<https://www.inaturalist.org/>) za biotsko raznovrstnost in Airvisual (<https://www.airvisual.com/>) za kakovost zraka.

Državlanske opazovalnice («citizens' observatories») so razmeroma nov pristop za spremljanje okoljskih parametrov. Njihova glavna značilnost je, da v spremljanje in merjenje vključujejo predvsem aktivne državljane in prostovoljce. Imajo veliko potenciala, da povsem spremenijo paradigmo spremljanja okoljske kakovosti. (6) Trenutno so ZDA, Velika Britanija in Kanada vodilne države na tem področju. (7) Nedavno pa je tudi EU začela s financiranjem podobnih projektov, s čimer skuša ta koncept vpeljati tudi v Evropi. (6)

3.1 Pregled obstoječih alternativ

Medtem ko za spremljanje biotske raznovrstnosti in kakovosti zraka obstajajo kvalitene t.i. «citizens' observatory» platforme (prej omenjena Airvisual in iNaturalist), je izbor rešitev na primeru okoljskega hrupa precej omejen. Raziskave trga sva se lotila z vidika človeka, ki v svojem domačem okolju želi izmeriti nivo hrupa.

Najbolj preprost način merjenja hrupa za laike je uporaba ene izmed številnih mobilnih aplikacij, ki so na voljo v mobilnih trgovinah App Store in Google Play. Telefoni so zelo priročni, omogočajo pa tudi uporabo GPS in internetne povezave. Odkrila sva aplikacijo Sound Print (<https://www.soundprint.co/>), ki ljudem omogoča merjenje ravni hrupa v barih in restavracijah ter spodbuja deljenje rezultatov z drugimi uporabniki. Aplikacija naj bi pomagala uporabnikom najti miren prostor za kosila in sestanke. Na podobnem konceptu temeljijo tudi aplikacije za kartiranje hrupa, kot je Noise Tube (<http://www.noisetube.net>). Aplikacija uporablja GPS in mikrofoni v telefonu, da na zemljevid mesta kartira in shrani trenutne nivoje hrupa.

Vendar je potrebno opozoriti, da mikrofoni v mobilnih telefonih zvoke iz okolice (za čistejše telefonske klice) močno obdelujejo, kar lahko vpliva na zanesljivost meritev. Različni modeli telefonov tudi uporabljajo različne mikrofone zaradi česar so meritve različnih uporabnikov lahko precej nezanesljive in neskladne. Ugotovila sva, da je aplikacija NIOSH Sound Level Meter (ameriški Nacionalni inštitut za varstvo pri delu) (<https://itunes.apple.com/us/app/niosh-sound-level-meter/id1096545820>) med najboljšimi aplikacijami za merjenje hrupa, vendar je na voljo le za telefone proizvajalca Apple. Pravzaprav je aplikacijo v laboratoriju razvilo slovensko podjetje. Zaradi majhnega števila modelov in doslednosti v Applovem ekosistemu pa jim je uspelo ustvariti merilno orodje, ki na podprtih napravah zagotavlja precej zanesljive meritve.

Vendar pa kvalitetna ocena okoljskega hrupa zahteva opravljanje daljših meritev. Pri okoljskem hrupu nas zanimajo predvsem daljši časovni intervali, ki smo jim izpostavljeni skozi celotno življenje. Verjetno nihče ne želi pustiti svojega telefona, da bi na lokaciji en teden ali več zbiral podatke o hrupu. Zato je v tem primeru potrebna uporaba namenskega senzorja.

Enaka težava se pojavi pri namenskih napravah za merjenje nivoja hrupa (SPL merilniki). Lahko se jih sicer pusti na lokaciji, vendar večina naprav podatke izpisuje le na zaslon. Le malo dražje naprave podpirajo zajem podatkov na SD kartico, vendar se tukaj problem pojavi pri njihovem izvozu in analizi. Nalaganje in pravilna interpretacija podatkov je za končne uporabnike lahko precej zahtevna naloga.

Možna komercialno dostopna rešitev je tudi več-senzorska vremenska postaja Netatmo (<https://www.netatmo.com/en-us>). Ta poleg senzorjev za temperaturo, vlago in CO2 vključuje tudi senzor za merjenje ravni hrupa v zaprtih prostorih. Netatmo je mogoče namestiti in pustiti na lokaciji merjenja, podatki pa se tako zbirajo in nalagajo na njihovo spletno platformo. Netatmo omogoča tudi grafični prikaz meritev na njihovi spletni strani. Grafi pa so prilagojeni predvsem za prikazovanje daljših časovnih intervalov. Slabost vremenske postaje Netatmo je njena precej visoka cena (pribl. 160 €), namenjena pa je tudi zgolj uporabi v zaprtih prostorih.

Zasledila sva tudi projekt SONYC, ki poteka na eni izmed newyorških univerz (<https://wp.nyu.edu/sonyc/>). Ustvarjalci projekta skušajo s pomočjo umetne inteligence in z veliko mrežo senzorjev ustvariti natančno karto hrupa mesta New York. Pri tem si pomagajo z nizkocenovnimi namensko izdelanimi senzorji in veliko ekipo prostovoljcev. Projekt SONYC se dotika konceptov navedenih v uvodu te naloge. Vendar pa ti senzorji zaenkrat niso namenjeni uporabi izven njihovega projekta in jih ni mogoče kar tako dobiti.

Pregled obstoječih rešitev je torej razkril, da na trgu zaenkrat ni izpopolnjenih orodij za spremljanje okoljskega hrupa. Ker pa se s problematiko okoljskega hrupa v domačem okolju soočava tudi sama, sva želela na tem področju nekaj narediti.

4 Cilji raziskovanja

Na podlagi raziskave obstoječih rešitev sva se odločila, da bova ustvarila neodvisno opazovalno orodje, ki bo ljudem omogočilo merjenje hrupa in jih poučilo o zdravstvenih tveganjih povezanih z njim. Odločila sva se, da bova razvila spletno platformo za spremljanje okoljskega hrupa in DIY ('naredi sam') napravo, s katero bodo lahko ljudje izvajali meritve. Hkrati pa bo platforma fleksibilna. Dopuščala bo možnost prilagajanja zajema podatkov, ohišja in drugih značilnosti za uporabo v lastnih znanstveno-raziskovalnih projektih.

Pri razvijanju lastne *naprave za merjenje hrupa* sva kot vodila določila naslednje specifikacije:

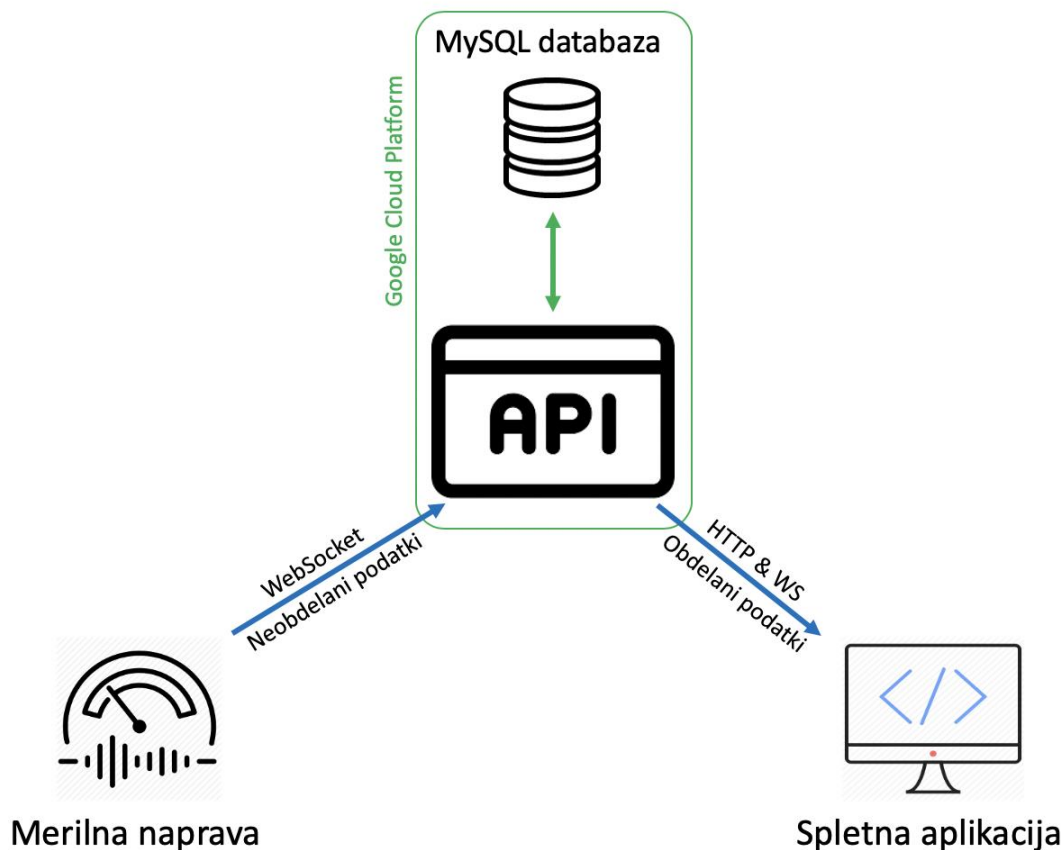
- Naprava mora biti **samostojna (namenska)**, da se jo lahko pusti na lokaciji in avtonomno zbira meritve skozi dolga neprekinjena časovna obdobja. To predstavlja veliko izboljšavo v primerjavi z mobilnimi aplikacijami.
- Izvajati mora **kakovostne meritve**. Sposobna mora biti zajeti tudi viške nivoja hrupa (angleško peak level measurements). To so običajno zelo kratki, ampak glasni dogodki, kot so trki železniških vagonov, zvok avtomobila, ki zapelje čez luknjo itd. Ravno te dogodki so v komercialnih napravah (konkretno naprava Netatmo) pogosto spregledani zaradi prepočasnega vzorčenja. To povzroča izračun manj natančne povprečne vrednosti. Za skladnost meritev med napravami sva želela uporabiti samo eno vrsto senzorja. Nazadnje sva želela uporabiti tudi senzor z dokaj dobro natančnostjo meritev.
- Biti mora **cenovno ugodna** in **enostavna za sestavo**, brez potrebe po spajkanju.
- Mora imeti možnost **povezave z najino spletno platformo** in prenašati podatke v realnem času.
- Želela sva tudi, da je najina naprava **odprtokodna**. To pomeni, da se lahko izvaja v projektih za ozaveščanje o hrupu, ki jih gradijo drugi ljudje. Tako jim ni treba opraviti vsega dela in raziskav, ki sva jih opravila midva o metodah merjenja hrupa, ter se tako lažje osredotočijo na bistvo svojega projekta. Odprtokodnost pomeni tudi, da lahko drugi izboljšajo najino delo, poiščejo nove rabe in ji dodajo nove funkcije. Te funkcije lahko nato pregledamo in dodamo platformi.

Pri ustvarjanju *spletne platforme* sva se osredotočila na naslednje ključne značilnosti:

- Mora **posredovati informacije** o hrupu in njegovih vplivih na zdravje. **Vsebovati mora navodila** za sestavljanje 'naredi sam' merilnika in uporabo platforme. Vse to brez predhodnega znanja.
- **Preprost in sodoben vmesnik**, ki uporabniško izkušnjo naredi čim bolj udobno in celovito. To vključuje poglede grafov in konzolo za upravljanje naprav, ki jo je enostavno razumeti.
- **Visoka razpoložljivost** platforme in optimizirani podatki, kar koristi uporabniku in tudi optimizira stroške najine storitve. 24-urna razpoložljivost in kratki odzivni časi API-ja sta ključnega pomena za storitev merjenja, ki bi jo zagotavljala.
- Omogočiti **interakcijo uporabnikov** in **skupno rabo meritev** za lažje oblikovanje aktivne lokalne skupnosti za merjenje hrupa; takšna skupnost lahko doseže boljše rezultate in še boljše angažira kot posameznik.

5 Merjenje hrupa

Za merjenja hrupa sva zasnovala celovit sistem, ki sva ga razdelila na dva dela. Prvi del predstavlja spletna platforma Noise.js, kjer se podatki zbirajo, obdelujejo in prikazujejo v preprostem vmesniku. Drugi del pa je primer 'naredi sam' naprave, ki se s platformo povezuje in izvaja meritve na terenu. Slika 1 prikazuje, kako vse našteje komponente projekta sodelujejo in se povezujejo.



Slika 1: Shema delitve projekta po komponentah

5.1 Spletna platforma (Noise.js)

V procesu razvoja platforme sva uporabljala različna orodja, ki so povečala produktivnost in poenostavila razvojni potek dela:

- Visual Studio Code, ki je eden najbolj uporabljenih urejevalnikov JavaScript kode na trgu.
- Git kot najin nadzorni sistem različic za sledenje sprememb izvorne kode v celotni fazi razvoja.
- Bitbucket za gostovanje repozitorija različic.
- npm kot upravljevec JavaScript paketov in namestitveni program.

5.1.1 Databaza

Za shranjevanje podatkov uporablja MySQL, najbolj priljubljen sistem za upravljanje baz podatkov, ki ga razvija, distribuira in podpira korporacija Oracle, uporabljajo pa ga tudi druge velike korporacije, kot so Google, Facebook, Twitter, Cisco in Netflix. (11)

Baza podatkov trenutno deluje kot instanca db-f1-micro na Cloud SQL, ki je del Googlove oblačne platforme (GCP). Kot je prikazano na zgornji shemi, je API edini del sistema, ki ima neposreden dostop do baze podatkov.

Struktura podatkov

Databazo sestavljajo štiri tabele:

- **Devices**, ki hrani podatke o napravah, registriranih na platformi.
- **Locations**, ki hrani podatke o registriranih lokacijah, kjer se izvajajo meritve hrupa.
- **Measurements**, ki hrani podatke o merjenjih. To so samostojne enote meritev, ki vsebujejo podatke o lokaciji, merilni napravi in časovni zamik glede na greenwiški čas.
- **Measurements**, ki hrani dejanske podatke o hrupu, torej nivo hrupa ob določenem času.

Vzdrževanje databaze

Zaradi varnosti se vsak dan ustvari popolna varnostna kopija baze podatkov, ki je na voljo za obnovo na konzoli GCP s klikom gumba. Ta funkcija nam zagotavlja izgubo največ 24 ur na novo shranjenih podatkov v primeru okvare API-ja, SQL injekcije ali drugih vrst napadov.

5.1.2 API (Application Programming Interface)

Noise.js API je zasnovan za zbiranje in obdelavo podatkov, ki se pošiljajo iz različnih naprav. Nato podatke pošlje v spletno aplikacijo za prikaz in enostavno obdelavo. Za API sva uporabila enega najbolj priljubljenih JavaScript poganjalnih okolij, to je Node.js®.

Kot asinhrono poganjalno okolje, ki ga vodi JavaScript, je Node namenjen gradnji razširljivih omrežnih aplikacij, kar pomeni, da se lahko hkrati povezuje veliko naprav. Po vsaki povezavi z API-jem se sproži povratni klic, če pa dela ni treba opravljati, bo API 'spal'. (12)

Pridobivanje podatkov

Vse naprave, ki pošiljajo podatke na platformo, uporabljajo poseben protokol, imenovan WebSocket. Protokol WebSocket omogoča dvosmerno komunikacijo med odjemalcem, ki izvaja nepreverjeno kodo v nadzorovanem okolju, z oddaljenim gostiteljem, ki je sprožil komunikacijo iz te kode. Za to uporabljen varnostni model je izvorni varnostni model, ki ga običajno uporabljajo spletni brskalniki. Protokol je sestavljen iz uvodnega 'handshake-a' (seznanitev), ki mu sledi pošiljanje sporočil preko TCP protokola.

Cilj te tehnologije je zagotoviti mehanizem za dvosmerno komunikacijo omrežnih naprav s strežniki, ki ne delujejo na principu odpiranja več povezav HTTP. (13)

Za ravnanje s protokolom WebSocket uporablja knjižnico Socket.io, ki je najpogostejša knjižnica WebSocket za Node.js. To nam tudi omogoča, da v spletni aplikaciji prikazujemo podatke iz naprave v realnem času.

Procesiranje podatkov

Ko podatki prispejo iz naprave, API:

1. Preveri dobljene podatke in njihovo izvirno napravo, ki mora biti registrirana na platformi.
2. Podatkom doda časovni zamik s pomočjo Google Maps Time Zone API-ja.
3. Shrani podatke o hrupu v databazo.
4. Podatke zbere in ustvari uporabniku prijazen API odgovor.

Retrieving the data

Sistem zahtevkov GET/POST/PUT skrbi za distribucijo pravih podatkov pooblaščenim uporabnikom in omogoča manipulacijo z njimi. Trenutno to uporablja le spletna aplikacija, vendar bi isti protokol in niz zahtevkov HTTP lahko uporabljali tudi na drugih platformah, kot je mobilna aplikacija ali kateri koli novi tovrstni integrirani in povezani sistem.

Zasebnost podatkov

Vsi podatki, ki jih naprave pošljejo na platformo, so lahko nastavljeni na zasebne ali javne. Če so podatki nastavljeni na zasebne, lahko do njih dostopa in jih spreminja le uporabnik, ki jih je poslal, s pomočjo svojega identifikatorja. Do javnih podatkov lahko dostopa kdorkoli, vendar jih lahko spreminja le avtor.

Zasebnih podatkov brez dovoljenja uporabnikov avtorja ne bova gledala, jih delila ali uporabljala v komercialne namene.

5.1.3 Spletna aplikacija

Za prikaz in enostavno manipuliranje s podatki sva zasnovala spletno aplikacijo s pomočjo Vue CLI. Vue je napredno orodje za gradnjo uporabniških vmesnikov. Za razliko od drugih monolitnih orodij je Vue že v osnovi zasnovan za postopno razširljivost. Vue je tudi popolnoma sposoben poganjati zahtevnejše aplikacije, kadar jih uporabljamo v kombinaciji s sodobnimi orodji in podpornimi knjižnicami. (14)

Vue CLI na drugi strani pa je standardna orodna osnova za ekosisteme Vue. Zagotavlja, da različna orodja za gradnjo nemoteno delujejo skupaj s smiselnimi privzetimi nastavitvami, zato se lahko mi osredotočimo na pisanje naše aplikacije, namesto da bi se ukvarjali s konfiguracijami. Hkrati pa še vedno ponuja prilagodljivost za nastavitve konfiguracije vsakega orodja. (15)

Kot osnovno predlogo aplikacije sva uporabila CoreUI za Vue.js, ki je zelo razširjena Bootstrap Admin predloga za ustvarjanje preprostih in modernih uporabniških vmesnikov. Ponuja nam vse osnovne komponente in elemente, ki jih uporabniški vmesnik vsebuje, vključno z gumbi, obrazci in vnosnimi polji, podatkovnimi tabelami, ikonami, navigacijo po aplikacijah itd.

Prijavljanje in registracijo uporabnikov za aplikacijo ureja Googlova Firebase avtentikacija. Z njeno uporabo povsem enostavno vključimo in izpolnimo standarde zapletenih modulov za preverjanje pristnosti (kot je OAuth 2.0), vendar še vedno zagotavlja uporabo naše aplikacije in ravnanje z informacijami uporabnikov z največjo varnostjo. Firebase ponuja tudi različne vrste prijave, vključno z e-pošto in geslom, prijavo z Googlom, Facebookom, Twitterjem, GitHubom itd., kar uporabnike razbremeni ustvarjanja ločenih računov z ločenimi gesli samo za uporabo naše platforme.

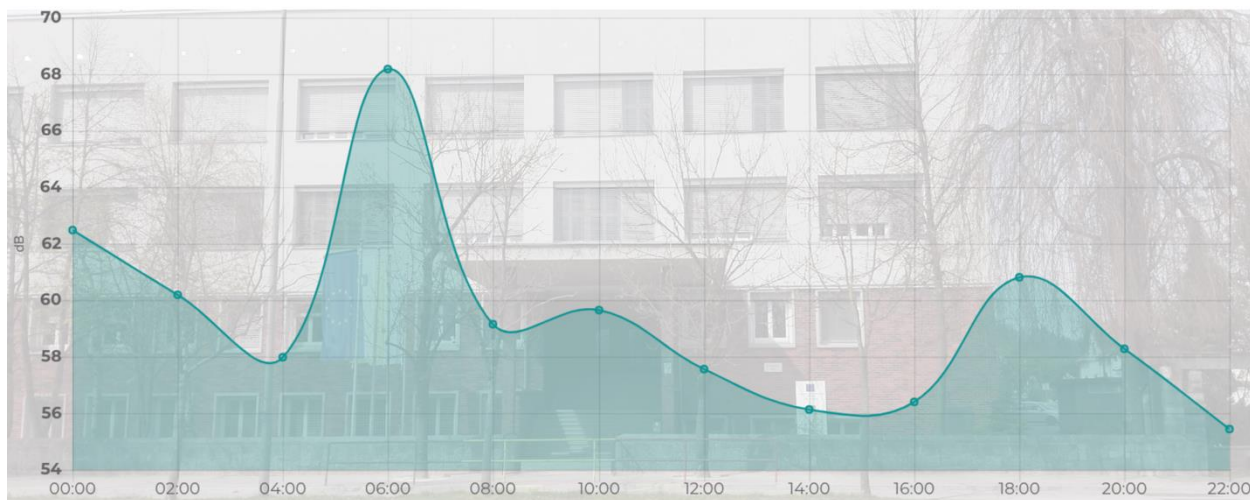
V celotni aplikaciji je tudi razširjena uporaba Google Maps API-ja. Uporablja se za prikazovanje zemljevidov z registriranimi lokacijami, registracijo novih lokacij in njihovo iskanje s pomočjo Places in Autocomplete-a.

Za prikaz hrupa in drugih grafov uporabljamo eno najbolj razširjenih knjižnic, to je Chart.js. Ponuja nam preprost nabor metod za risanje različnih vrst odzivnih grafov. Večinoma uporabljava preprost linijski graf. Z uporabo Vue kot reaktivnega orodja za obdelavo podatkov in protokola WebSocket za prenos podatkov pa lahko zagotoviva grafe hrupa v realnem času, ki se spreminjajo, ko merjenje poteka.

Celotna aplikacija je v grobem razdeljena na dva dela, Predstavitvena stran in Uporabniška konzola.

a) Predstavitvena stran

Predstavitvena stran je enostranski uvod v celotno platformo in obiskovalcem posreduje osnovne informacije o projektu. Vsebuje tudi zemljevid, ki prikazuje registrirane lokacije neposredno na Googlovem zemljevidu in seznam javno registriranih lokacij v območju približno 8 km od želene lokacije, vtiskane v iskalno polje. Ko uporabnik klikne lokacijo s seznama, se izriše graf hrupa (kot je prikazano na Sliki 2).



Slika 2: Primer celodnevnega grafa hrupa

b) Uporabniška konzola

Za dostop do uporabniške konzole mora biti obiskovalec prijavljen. Ko je prijavljen, dobi dostop do vseh modulov konzole in s tem manipulira podatke o svojih napravah, lokacijah in izmerjenem hrupu.

Obstajajo 3 preprosti moduli:

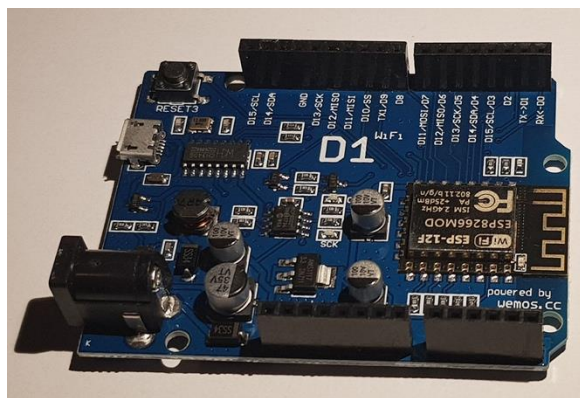
1. **My Devices (Moje naprave)**, ki se uporablja za registracijo novih naprav, njihovo brisanje in registracijo na lokacijo, kjer bodo zabeležene nadaljnje meritve iz naprave. Prav tako se sproži in konča postopek beleženja podatkov o hrupu (Start/Stop). Modul vsebuje t.i. kartice naprav, ki vsebujejo vse pomembne informacije o uporabnikovih registriranih napravah.
2. **My Locations (Moje lokacije)**, kjer so navedene registrirane lokacije uporabnika. S klikom na lokacijo iz tabele se odpre podmodul, kjer so navedeni vsi njeni podatki in jih je mogoče spremeniti. Spodaj je tudi tabela hrupa, ki pripada tej lokaciji.
3. **My Measurements (Moje meritve)**, v katerem lahko manipuliramo z meritvami v merilnih enotah (merjenih).

5.2 Merilna naprava (Noise.ino)

Naprava za merjenje hrupa je sestavljena iz nekaj elektrotehničnih komponent in bazira na Arduino platformi.

5.2.1 Mikrokontroler

Arduino je odprtokodna platforma, ki temelji na strojni in programski opremi, ki je predvsem enostavna za uporabo. Arduino plošče lahko zaznajo spremembe na vhodnih signalih, npr. prižig luči, pritisk na gumb ali prejeto Twitter sporočilo - in se na signal odzovejo z npr. vklopom motorja, LED-diode ali objave na spletu. Programirati jih je mogoče s programskim jezikom Arduino in programsko opremo Arduino (IDE). S pomočjo Arduino platforme je bilo v več letih izdelanih na tisoče projektov, od



Slika 3: WeMos D1 R2 Arduino plošča z ESP8266 mikrokontrolerjem

vsakodnevnih predmetov do zapletenih znanstvenih instrumentov. Okrog te odprtokodne platforme se je zbrala svetovna skupnost entuziastov, njihovi prispevki pa so ustvarili neverjetno bazo znanja za vse Arduino uporabnike, nove in stare. (1)

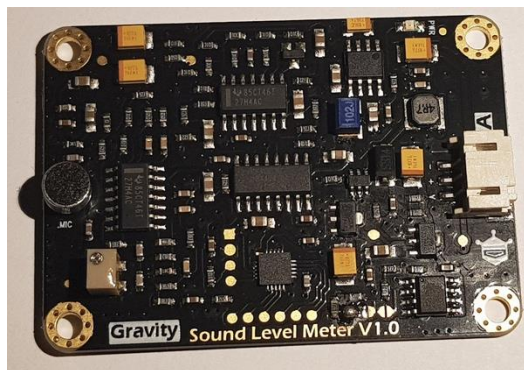
Za osnovo najine merilne naprave sva izbrala WeMos D1 R2 Arduino kompatibilno ploščo z mikrokontrolerjem ESP8266, prikazano na Sliki 3. Izbrana je bil na podlagi večih kriterijev, kot je njena nizka cena (manj kot 5 € na spletnih straneh, kot sta eBay in AliExpress), možnost programiranja v zelo priljubljenem Arduino IDE, nizka poraba energije in integrirana Wi-Fi povezljivost, kar je bilo ključno za najin projekt.

5.2.2 Senzor za merjenje zvoka

Izbira pravega senzorja za merjenje hrupa pa je bila nekoliko težja.

Merilnik jakosti zvoka je naprava za merjenje jakosti hrupa, glasbe in drugih zvokov. Tipični merilnik je sestavljen iz mikrofona za sprejemanje zvoka in vezja oz. naprave, ki signal iz mikrofona obdela. Merilnik v najbolj klasični izvedbi običajno nato tudi izpiše izmerjene ravni na zaslonu v decibelih. (2)

Za merjenje ravni hrupa bi v našem primeru lahko uporabila običajen mikrofona, vendar bi to od uporabnikov zahtevalo kalibracijo in veščine spajkanja. Da bi bilo sestavljanje naprave za uporabnike čim bolj enostavno, sva se odločila, da za najin merilnik izbereva DFRobot Gravity: Analog Sound Level Meter, ki je prikazan na Sliki 4. Gre za ploščico, ki vsebuje mikrofona in vse potrebno vezje za pretvorbo signala v decibele. Stane približno 40 € in je tovarniško kalibriran. Priklučitev na najin mikrokontroler je tako zelo preprosta, saj mora uporabnik povezati le 3 žice, eno za analogni signal in 2 napajalna kabla.



Slika 4: DFRobot Gravity: Analog Sound Level Meter

Pozorno sva tudi preučila specifikacije sensorja s proizvajalčeve spletne strani (<https://www.dfrobot.com/product-1663.html>):

- Merilno območje: 30dBA ~ 130dBA
- Napaka meritve: ± 1.5 dB
- Tip utežitve: A utežitev
- Frekvenčno območje: 31.5Hz ~ 8.5KHz
- Najmanjši čas med dvema meritvama: 125ms

Po ogledu specifikacij sva predvidela, da bodo okoljske meritve vse znotraj merilnega območja omenjenega sensorja. Enako velja tudi za frekvenčno območje, saj senzor uporablja A utež, ki močno zapostavi vpliv višjih frekvenc (izven senzorjevega območja) pri določanju jakosti zvoka. Prav tako senzor zmore opraviti meritev vsakih 125ms, kar omogoča upoštevanje tudi zelo kratkotrajnih, ampak glasnih zvokov, ki bi jih drugače zamudili. Tako sva zaradi številnih ugodnih lastnosti izbrala ravno ta senzor.

Primerjava senzorja z Netatmom

Izbrani senzor sva primerjala z večnamensko merilno postajo Netatmo, ki lahko meri tudi nivo hrupa. Netatmo postaja izračuna povprečno raven hrupa za 5-minutne intervale. Kot nama je sporočil slovenski predstavnik Netatmo, njihov merilnik naredi meritev enkrat na 10 sekund in izračuna 5-minutno povprečje. Na njini napravi sva uporabila enako pogostost vzorčenja in za primerjavo izračunala povprečja za iste 5-minutne intervale. Rezultati so predstavljeni na Sliki 6. Ponekod so izmerjene vrednosti med napravama zelo podobne, drugod pa nekoliko odstopajo. Meniva, da je to najverjetneje posledica neuskkljenosti senzorjev. Oba sta opravila 1 meritev vsakih 10 sekund, vendar vzorca verjetno nista bila pridobljena ob isti točki v času, kar privede do odstopanja.

Kalibracija merilnikov jakosti zvoka poteka s prištevanjem/odštevanjem konstante, dokler se ta ne ujema s kalibratorjem. Če bi bil velik vir napake razlika v natančnosti meritev (kalibraciji) obeh senzorjev, bi imeli obe krivulji na Sliki 6 podobno obliko, vendar bi bila ena zamaknjena bodisi navzgor bodisi navzdol za celoten časovni okvir. Neuskkljenost meritev od 08:45:24 PM naprej pa je zgolj posledica Netatmove nezmožnosti merjenja vrednosti pod 35 dB (A). Ker se krivulje v določenih časovnih intervalih ujemajo, sva predvidela, da imata senzorja podobno kalibracijsko natančnost. Kot možne vzroke napake pri meritvi sva identificirala predvsem neuskkljenost vzorčenja. Možno je sicer tudi, da kalibracija odstopa samo pri določenih frekvencah, vendar sva tukaj prepoznala neuskkljenost vzorčenja kot večji problem, saj je 10 sekund zelo veliko časovno okno in se v njem lahko pojavi marsikateri nov zvok.

Prvi poskus je imel preveč nepoznanih oz. nekontroliranih spremenljivk, da bi lahko iz njega ugotovila kaj več, kot da najin senzor meri razumne vrednosti, ki se precej skladajo z meritvami postaje Netatmo. Za nadaljevanje projekta se je zdel senzor dovolj dober. Vendar pa je bilo zagotovo potrebno bolj kvalitetno testiranje z boljšo opremo.



Slika 5: Grafična primerjava meritev hrupa najnega merilnika in merilnika Netatmo

Testiranje v zvočno izolirani sobi z visokokvalitetnim referenčnim merilnikom

Nadaljnje testiranje senzorja sva izvedla v gluhi sobi na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. (Slika 7).

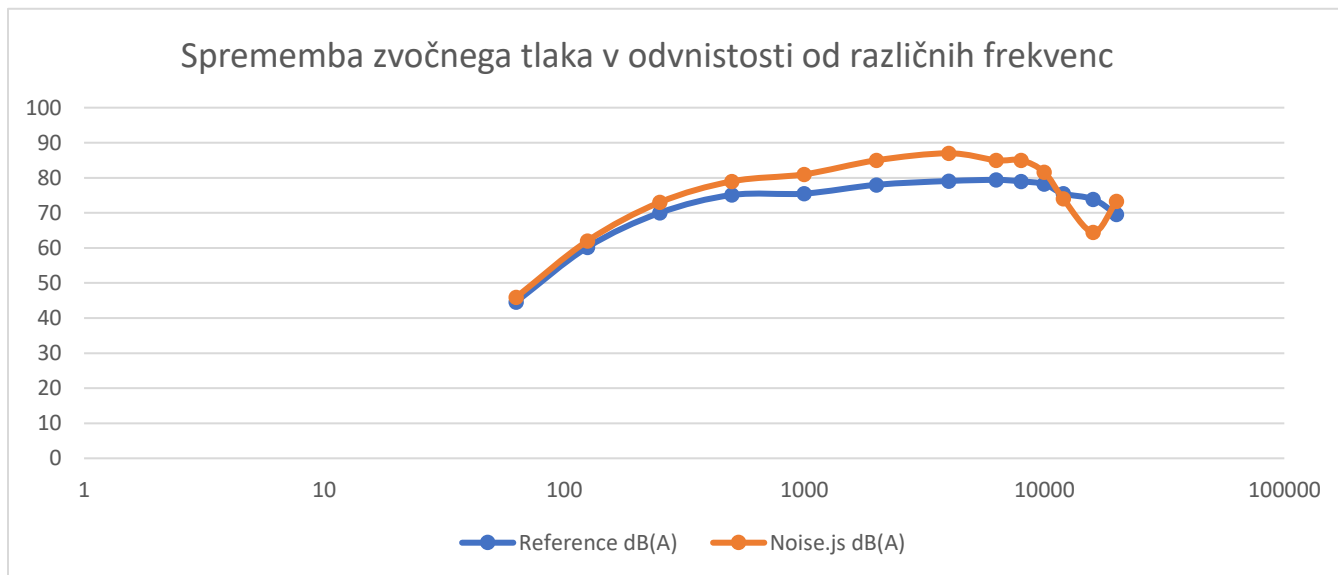


Slika 6: Referenčni merilnik BK2230 fonometer, BK4155 mikrofon, BK4231 kalibrator



Slika 7: Meritvena postavitev v gluhi sobi

Najprej smo merili nivo zvočnega tlaka (v dB(A)) v odvisnosti od različnih frekvenc. Pri vsem tem je bila amplituda električnega signala, ki je prihajal v zvočnik, konstantna pri 100mV. Meritev smo izvedli dvakrat, najprej z referenčnim merilnikom (Slika 6) in nato še z najinim senzorjem.



Slika 8: Sprememba zvočnega tlaka (dB) v odvisnosti od različnih frekvenc

Rezultati kažejo, da je najin senzor primerljiv z referenčnim predvsem pri nižjih frekvencah (do 1kHz)(Slika 8). Pri višjih frekvencah (več kot 1kHz) pa so odstopanja večja in najin senzor izmeri vrednosti, ki precej odstopajo od dejanskih, merjenih z referenčnim merilnikom.

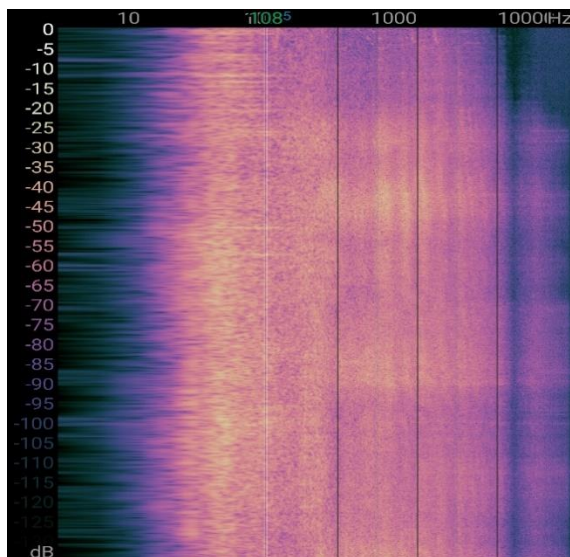
Ker je večina okoljskih meritev opravljena na prostem, sva primerjavo merilnikov izvedla še na terenu. Za potrebe okoljskih meritev hrupa se običajno uporabljajo vrednosti L_{eq} (ekvivalentna oz. povprečna vrednost). Referenčni merilnik sva prestavila v nastavev L_{eq} in izvedla dve meritvi na terenu. Eno ob Tržaški cesti v Ljubljani (Slika 12) in drugo v glasni avli Fakultete za elektrotehniko. Povprečno vrednost L_{eq} za najin senzor sva na podlagi shranjenih meritev izračunala naknadno. Oba sensorja sta meritve, ki jih uporabljata za povprečenje, izvajala vsakih 125ms v istem 5-minutnem intervalu na istem mestu.

Tabela 1: Izmerjene L_{eq} vrednosti

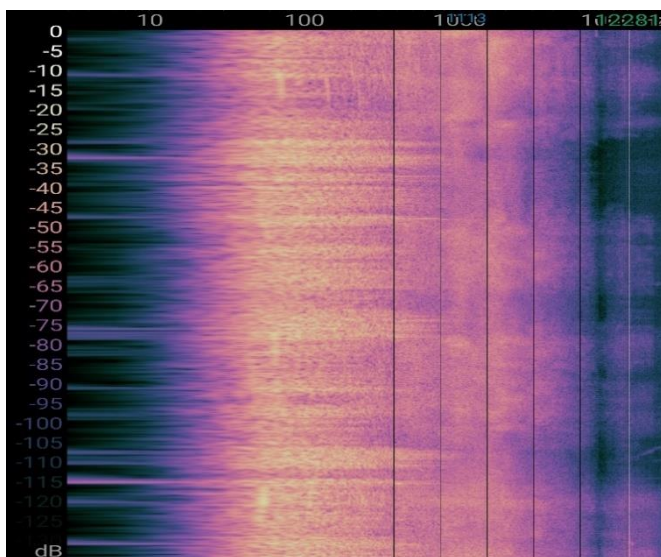
Križišče	Referenčni dB(A)	Noise.js dB(A)
avg.	76.4	75.0
Avla na fakulteti	Referenčni dB(A)	Noise.js dB(A)
avg.	77.4	78.3

Vrednosti L_{eq} , ki sta jih izmerila najin in referenčni merilnik, so se presenetljivo dobro ujemale (odstopanje ± 1.3 dB in ± 1.4 dB, Tabela 1). Večja odstopanja, ki jih najin senzor izmeri pri višjih frekvencah (nad 1kHz), so pri povprečenju ublažena. Zdelo se nama je tudi, da visoke frekvence niso prispevale veliko h končni vrednosti L_{eq} , saj v praksi prevladujejo nizkofrekvenčni izvori hrupa (npr. bencinski motorji, človeški glasovi, gradbišča itd).

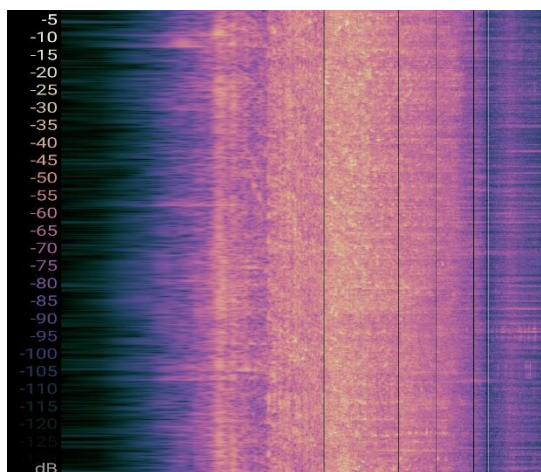
Da bi potrdila hipotezo in ugotovila, kakšne frekvence prevladujejo na lokacijah meritev, sva izvedla še dodaten eksperiment. Na mestih, kjer sva prej izvajala meritve, sva naredila še analizo frekvenčnega spektra hrupa. Za to sva uporabila aplikacijo Spectroid (www.play.google.com/store/apps/details?id=org.intoorbit.spectrum). Aplikacija s Fourierjevimi transformacijami dekompozira zvok v osnovne frekvence in izriše njihovo intenzivnost v spektrogramu. Večja je amplituda, tem bolj intenzivna je barva.



Slika 9: Spektrogram (horizontalna logaritemska os: 0 – 20000 Hz) mimo voza hitrega vlaka



Slika 12: Spektrogram (horizontalna logaritemska os: 0 – 20000 Hz) prometnega križišča na Tržaški cesti



Slika 10: Spektrogram (horizontalna logaritemska os: 0 – 20000 Hz) avle na fakulteti



Slika 11: Prometno križišče na Tržaški cesti

S spektrogrami (Slika 9, Slika 10, Slika 12) sva potrdila, da nižje frekvence (<1kHz) dejansko prevladujejo v okoljih, v katerih je predvidena uporaba najinega senzorja. Posledično merska odstopanja, ki jih ima najin senzor pri višjih frekvencah, nimajo močnega vpliva na končne rezultate meritev. S tem sva potrdila, da se pri tej specifični uporabi na terenu najin senzor obnaša zelo podobno kot veliko dražji

referenčni merilnik. V tem poskusu prav tako ni bilo težav s frekvenco vzorčenja, saj je 125ms dovolj majhen časoven interval, da senzor ujame večino pomembnih zvokov.

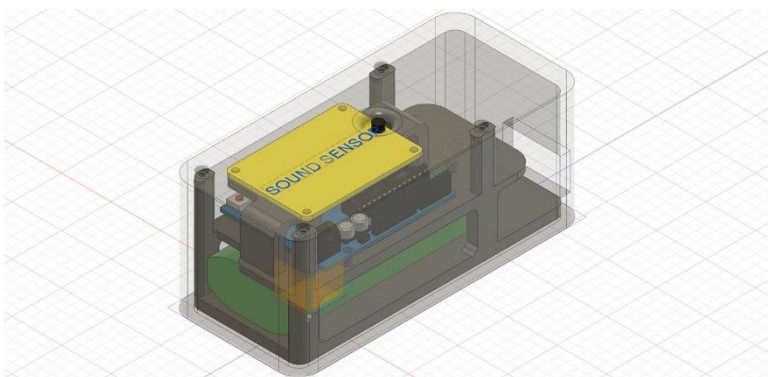
5.2.3 Napajalnik in ohišje

Za napajanje celote naprave sva želela vse ohraniti čim bolj preprosto. Izbrala sva komercialno baterijo za polnjenje mobilnega telefona (»power bank«) Anker Astro E1 (Slika 13). Stane približno 15€ in je zelo kompaktna.

Ohišje za senzor je bilo izrisano v programu Autodesk Fusion 360 3D. 3D model senzorja je viden na Sliki 14. Datoteka je bila izvožena v formatu STL in 3D stiskana.



Slika 13: baterija Anker Astro E1



Slika 14: 3D skica ohišja, narisana v Autodesk Fusion 360

5.2.4 Programiranje naprave

Mikrokontroler sva programirala z uporabo Arduino programskega jezika in Arduino IDE okolja. Tudi tukaj sva uporabljala orodje GIT za nadzor nad izvirno kodo in WebSocker protokol za povezavo na strežnik s pomočjo integriranega WiFi vmesnika, ki ga vsebuje mikrokontroler. Eden izmed večjih izzivov pri programiranju ESP8266 mikrokontrolerja je nesprožitev WatchDog timerja, ki resetira celotno napravo, če se koda v glavni zanki ne zaključi dovolj hitro. Za to sva morala prilagoditi celoten potek programa, da se med izvajanjem določenih funkcij zaključi glavna zanka.

Senzor se v celoti upravlja s pomočjo spletne konzole. Od tam se lahko sproži zajemanje podatkov. Meritve se najprej zbirajo na napravi (privzet interval je 90 sekund), nato se izračuna povprečje (upoštevajoč logaritmično naravo decibelov) in šele nato se podatki pošljejo na API strežnik, ki meritve shrani.

6 Rezultati

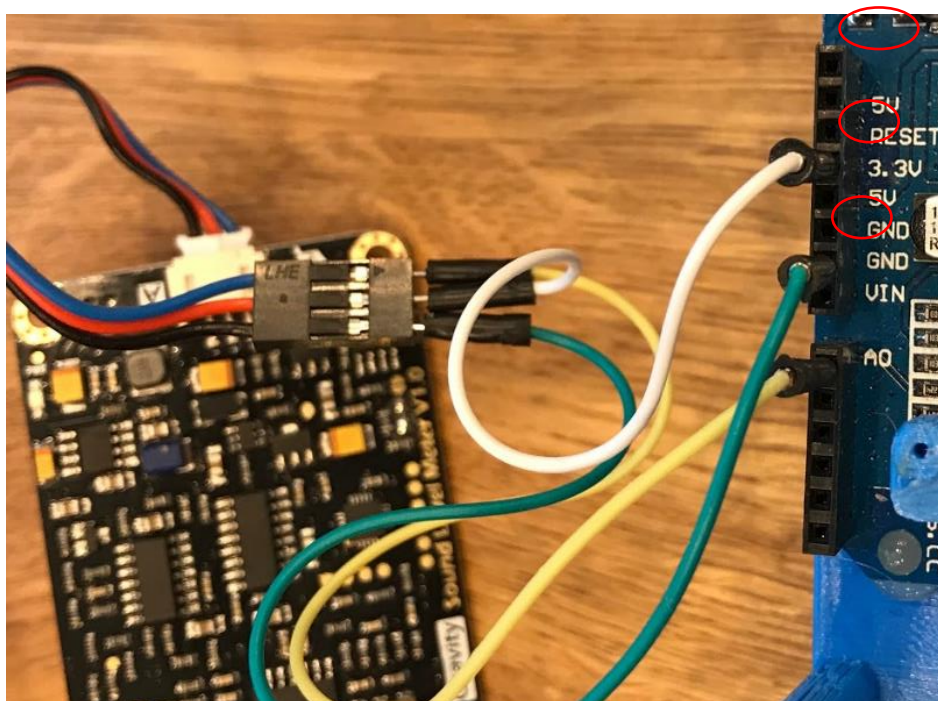
6.1 Merilna naprava

Kot rezultat raziskovanja sva napisala navodila za sestavo merilne naprave, s katero lahko uporabniki merijo hrup in prispevajo podatke v spletno platformo. Navodila v angleščini so objavljena na spletni strani platforme <https://noisejs.erazred.si/#/device-assembly>, vključila pa sva jih tudi v to nalogo.

- 1) Za sestavo merilnika potrebujete sledeče komponente:

Komponenta	Povezava	Cena
Gravity: Analog Sound Level Meter	http://bit.ly/2S6MgKp	\$39.90
WeMos D1 R2 microcontroller	https://ebay.to/2TRL9Z3	\$5
Anker Astro E1 5200mAh	https://amzn.to/2SbTw02	\$15.99
male-male jumper wire pack	https://ebay.to/2BlxMU4	\$1
		SKUPAJ: \$61.89

- 2) S senzorjem za hrup (Gravity: Analog Sound Level Meter) v škatli prejmete 1 kabel. Bel konec kabla priključite v omenjeni senzor. Nato pa vzemite 3 žičke iz dodatnega paketa žic in v roke primite drug konec kabla, ki je povezan s senzorjem (črna ploščica). V luknjo na črnem konektorju , ki se nadaljuje v moder kabel, vtaknite žico in njen drug konec priključite v luknjo z oznako »A0« na plošči WeMos D1. Naslednja žica mora povezovati luknjo, ki se nadaljuje v rdeč kabel na črnem konektorju, in luknjo na plošči WeMos D1 z oznako »3.3V«. Zadnji kabel mora povezovati luknjo, ki se nadaljuje v črn kabel, in luknjo »GND« na plošči WeMos D1. V pomoč lahko uporabite spodnjo sliko (Slika 15).



Slika 15: Vizualni prikaz povezav med senzorjem in mikrokontrolerjem

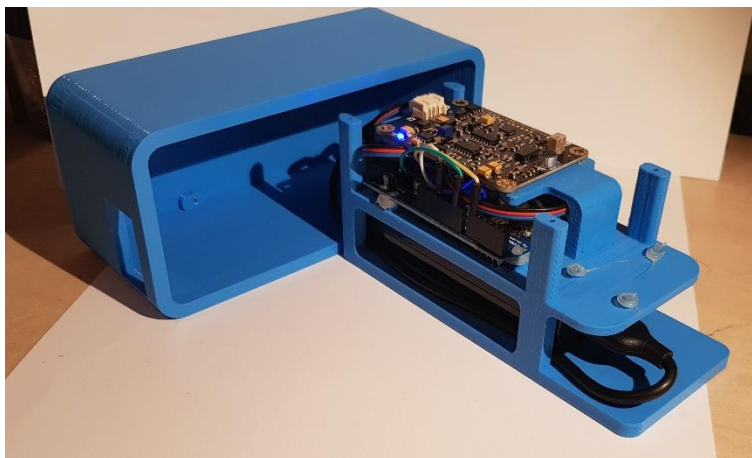
- 3) Senzor in mikrokontroler sta lahko sedaj postavljena v ohišje z uporabo vijakov ali vročega lepila. Priporočamo, da uporabite naše 3D-tiskano ohišje. Datoteko lahko prenesete z naše spletne strani (<https://noisejs.erazred.si/#/device-assembly>). Pri sestavljanju si lahko pomagate s sliko končnega izdelka (Slika 16).

*Če dostopa do 3D tiskalnika nimate lahko uporabite eno od storitev, ki 3D natisne vašo datoteko in jo po pošti pošlje na dom. Lahko pa ohišje izdelate sami iz drugih materialov. V tem primeru morate paziti, da ostane mikrofona (srebrna okrogla komponenta na senzorju) vedno neposredno izpostavljen zunanosti.

*Pred vlago lahko napravo zaščitite tako, da s prozornim lakom za nohte polakirate obe (rdečo in črno) ploščici s vezji. Pri tem morate biti pozorni, da ne polakirate mikrofona (srebrna okrogla komponenta na senzorju) ali katerega od konektorjev.

- 4) Prenesite in namestite si programsko opremo Arduino IDE. V pomoč so vam lahko sledeča navodila s strani Elementztechblog (<http://bit.ly/2TXeWzz>).
- 5) V mapi »Moji dokumenti« na vašem računalniku poiščite mapo »Arduino«. S strani z navodili prenesite datoteko libraries.zip (<https://noisejs.erazred.si/#/device-assembly>) in vsebino ekstrahirajte v mapo »Documents\Arduino\libraries«.
- 6) Odprite Arduino IDE in iz naše strani prekopirajte kodo (<https://noisejs.erazred.si/#/device-assembly>).
- 7) Sedaj si na platformi Noisejs ustvarite račun. Odprite zavihek »My Devices« section in ustvarite novo napravo. Prikazala se vam bo kartica, ki vsebuje polje »IDENTIFIER«. Gre za identifikacijsko številko vaše naprave. Vsebinsko polje »IDENTIFIER« prekopirajte. Odprite Arduino IDE in v vrstico, ki se začne z 'String identifier = ', med narekovaje prilepite vašo identifikacijsko številko.
- 8) S pomočjo USB-kabla povežite ploščico WeMod D1 z računalnikom in pritisnite gumb "Upload".
- 9) Napravo priključite na baterijo z uporabo USB-kabla. Vključila se bo samodejno.
- 10) Uporabite telefon in se povežite na novo ustvarjeno Wi-Fi omrežje z imenom »NOISE.INO«
- 11) Odprite brskalnik na vašem telefonu in odtipkajte katerokoli spletno stran (najhitreje je če v brskalnik odtipkate 192.168.4.1). Avtomatsko boste preusmerjeni na nastavitve naprave. Kliknite »Configure WiFi«
- 12) Izberite primerno Wi-Fi omrežje in vnesite geslo.
- 13) Merilnik se bo znova zagnal. Sedaj lahko odprete spletno konzolo in spremljate meritve v realnem času ali preverite grafe za prikaz preteklih meritev.

*Prosimo poskrbite, da med senzorjem in izvorom hrupa ni neposrednih ovir. Za pravilne rezultate je meritve je potrebno izvajati vsaj 2 metra od zvočno reflektivnih površin, kot so npr. fasade.



Slika 16: Sestavljena naprava

6.2 Raba naprave

Uporabniku s sestavljeno napravo platforma ponuja veliko različnih akcij za prispevanje podatkov, ali pa zgolj opazovanje hrupa v okolici.

Za uporabo platforme je potreben uporabniški račun. Ta se ustvari s pomočjo strani v spletni aplikaciji. V njej nato pridobimo tudi identifikator naprave, ki ga potrebujemo za nadaljnje postopke.

Za vzpostavitev nove povezave na API uporabimo t.i. 'WebSocket handshake' preko HTTP protokola na povezavi: <https://api.noisejs.erazred.si/?client=dvc&deviceid=identifier>

Naslov povezave vsebuje dva parametra. Eden je že podan, to je *client*, ki je enak 'dvc'. Kot drugi parameter *deviceid* pa vstavimo identifikator naprave, ki smo ga ustvarili prej.

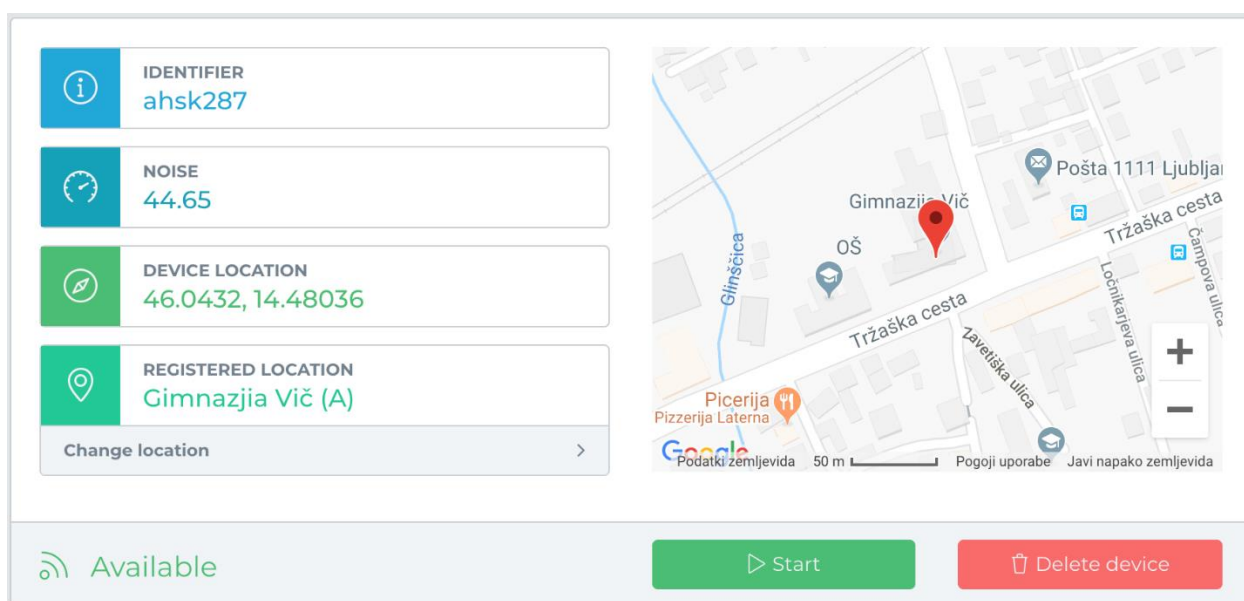
Tabela 2: Vhodni dogodki, ki jih podpira merilna naprava (websocket protokol)

DOGODEK	PARAMETRI V ZAHTEVKU	OPIS
welcome	"welcome to noisejs"	Naznanja uspešno povezavo naprave na API
apiDeviceState	{ locationID: x, measuring: y }	Ob vsaki vzpostavljeni povezavi naprava dobi zadnje zabeleženo stanje od API-ja.
wbpapiDeviceNewLocation	{ newLocationId: x }	Naprava dobi podatke o lokaciji, na katero je v spletni aplikaciji postala registrirana.
wbpapiDeviceRecState	{ measuring: x }	V kolikor je x število, naprava začne pošiljati meritve hrupa na API. Če je prazno, so meritve ustavljene s strani spletne aplikacije.

Tabela 3: Izhodni dogodki, ki jih podpira merilna naprava (websocket protokol)

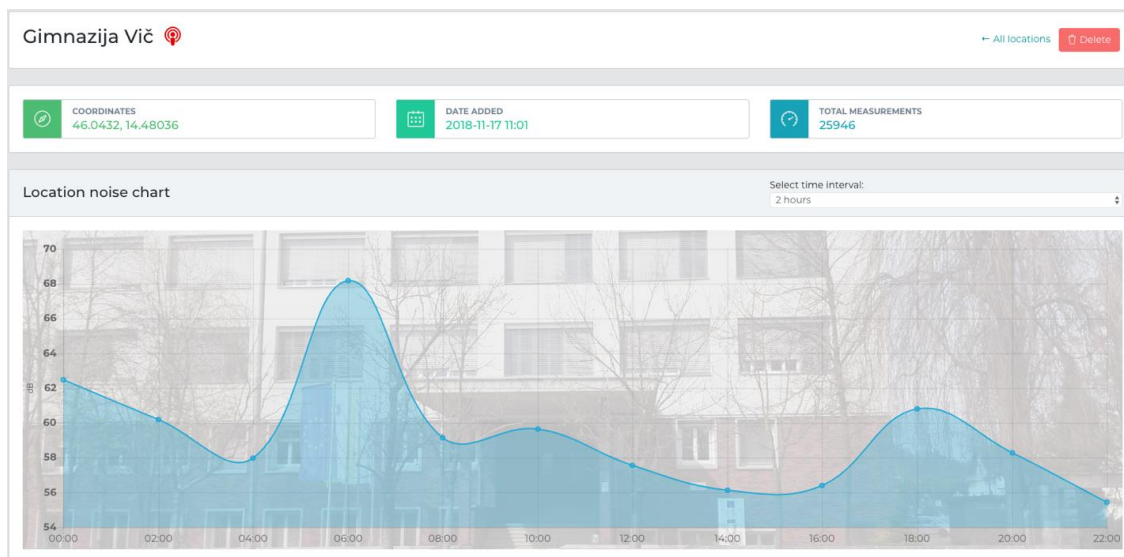
DOGODEK	PARAMETRI V ZAHTEVKU	OPIS
dvcDeviceData	{ identifier: 'abc', locationID: z, noise: n, measuring: m }	Pošilja podatke o razpoložljivosti in stanje naprave na spletno aplikacijo. Priporočen interval: 2-3 s
dvcNoiseData	{ measuring: m, noise: n }	Ko poteka merjenje se preko tega dogodka pretakajo podatki o hrupu. Priporočen interval: 60-90 s

Po prvem sproženju dogodka 'dvcDeviceData' se kartica naprave v spletni aplikaciji raztegne in začne prikazovati podatke z naprave, kot prikazuje Slika 17.



Slika 17: Kartica aktivne naprave s trenutnimi merilnimi podatki in podatki o napravi

Z gumbi na kartici naprave so na voljo nadaljnje operacije. Preden začnete s snemanjem hrupa, je potrebna registracija naprave na lokacijo. Za to uporabimo gumb Set/Change location. Lahko izberemo registrirano lokacijo ali pa registriramo novo s pomočjo lokacijskega okna. Ko je lokacija naprave nastavljena, se ta pošlje napravi prek API-ja in naprava je pripravljena za snemanje podatkov. Gumb »Start« postane omogočen in s tem omogočimo novo merjenje. Med meritvami je sprememba lokacije onemogočena. Lokacijo lahko znova spremenite tako, da ustavite merjenje, ki je v teku. Z gumbom »Stop« se meritve ne pošiljajo več ali beležijo v bazo podatkov. Za ogled shranjenih podatkov uporabljamo stran My Locations (Moje lokacije). Z izbiro zelene lokacije se prikaže njen hrupni profil (kot je prikazano na Sliki 18).



Slika 18: Primer hrupnega profila lokacije v uporabniški konzoli

Ikona poleg imena lokacije označuje, ali je lokacija zasebna ali javna. S spodnjim grafom je mogoče videti vse podatke o hrupu, zabeležene na lokaciji. Lokacijo lahko trajno izbrisemo z gumbom Delete.

Če ni potrebno izbrisati vseh podatkov lokacije, lahko to individualno storite s tabelo merjenj na strani My Measurements (Moja merjenja). Primer prikaza je na Sliki 19. Podatke o hrupu lahko ločeno izbrisete samo v merilnih enotah oz. merjenjih. Za iskanje pravega merjenja lahko uporabimo filtre na vrhu.

Filter location: ALL Filter device: ALL Rows per page: 5

	Location	Device Id.	Start	End	Total measurements
<input type="checkbox"/>	Gimnazija Vič (A)	ahsk287	2019-01-17 21:11:23	2019-01-17 22:02:40	149
<input type="checkbox"/>	Gimnazija Vič (A)	ahsk287	2019-01-17 21:07:47	2019-01-17 21:10:27	9
<input type="checkbox"/>	Gimnazija Vič (A)	ahsk287	2019-01-17 21:05:40	2019-01-17 21:06:20	3
<input type="checkbox"/>	Gimnazija Vič (A)	ahsk287	2019-01-17 21:02:41	2019-01-17 21:04:47	3
<input type="checkbox"/>	Gimnazija Vič	ahsk287	2019-01-16 20:22:34	2019-01-16 20:23:04	4

« < 1 2 > »

Select all Reset filters Delete

Slika 19: Tabela merjenj v spletni aplikaciji

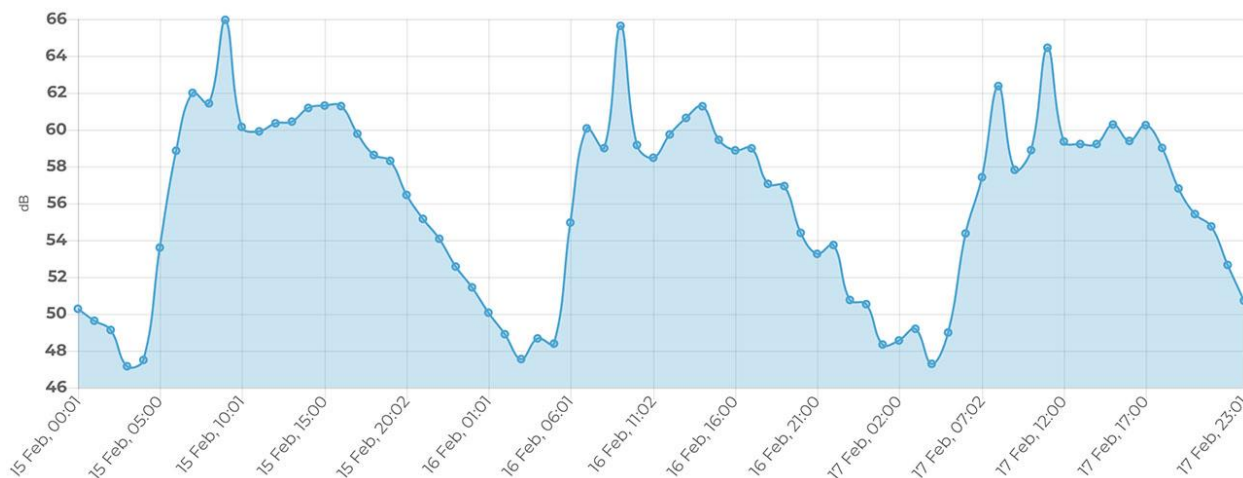
6.3 Raba v praksi

Po sestavljanju nekaj naprav sva sklenila, da je najboljši način testiranja, uporaba v praksi in naravnem okolju. Ena od naprav je postavljena ob Tržaški cesti, ki je ena najbolj prometnih cest v Ljubljani.

Povezala sva se tudi s sošolci in jim pomagala pri ustvarjanju pametnega krmilnika za ptice (Slika 20), ki zdej uporablja naš sistem za merjenje hrupa. Zanima jih, ali hranilnik obišče več ptic, ko je nivo hrupa v okolju nižji. S pomočjo najine platforme so lahko hitreje postavili svoje senzorce, hkrati so lahko uporabljali tudi orodja za vizualizacijo podatkov in risanja ustvarjanja grafov za podatke v realnem času (Slika 21). To jim je močno olajšalo delo.



Slika 20: Pametni krmilnik ptic, na katerem je z oražno označena škatla z elektroniko, v kateri se nahaja med drugimi tudi najina merilna naprava.



Slika 21: Graf hrupa na podlagi podatkov poslanih iz naprave v pametnem krmilniku

7 Diskusija

Ker meritve na platformi prispevajo uporabniki, je možno, da so precej nenatančne oz. celo ponarejene. Določila sva dva večja potencialna izvira napak v meritvah. Prvi izvor napake je lahko nepravilno sestavljena naprava (npr. senzor ne gleda iz ohišja). Drugi potencialni izvor napak pa je nepravilna metodologija merjenja (npr. merjenje hrupa s predmetom med izvorom in merilnikom). Obstaja tudi možnost, da ljudje namenoma ponaredijo meritve. Vendar pa tukaj ne vidiva neposrednega motiva za takšno početje. Verjetno bo največ ponarejenih meritev prišlo zaradi uporabniškega testiranja platforma npr. med sestavljanjem oz. prilagajanjem naprave.

Zavedava se, da platforma ni orodje, ki bi ga za svoje delovanje uporabljali regulatorni organi. V tem primeru pridejo v poštev profesionalne naprave z točno določeno metodologijo merjenja. Najino platformo je potrebno razumeti predvsem kot orodje, ki izboljšuje natančnost in funkcionalnost tržno usmerjenih rešitev. Članek iz revije Nature z naslovom "Validate personal air-pollution sensors" (3), spodbuja razvijalce, da svoje senzorične naprave namenjene končnim uporabnikom tudi ustrezno validirajo in ocenijo njihov 'fitness-for-purpose' oz. primernost za namen uporabe. To sva tudi storila in ugotovila, da je naprava za namen, za katerega je bila razvita, povsem primerna. Gre namreč za preprosto napravo, ki jo lahko ljudje uporabijo za ocenjevanje trendov, zgodnje zaznavanje okoljskih problemov in nazadnje za merjenje dejanskih vrednosti hrupa v okviru nekih merskih napak. Na podlagi teh meritev, bi se lahko v reševanje okoljskega problema nato vključili tudi regulatorni organi.

8 Sklepi

Uspelo nama je ustvariti namensko DIY (Do-It-Yourself – 'naredi sam') merilno napravo, ki jo je mogoče namestiti in uporabljati daljše meritve hrupa. Gledala sva tudi na končno ceno izdelane naprave, ki šteje le 58 €, kar je veliko ceneje kot podobne alternative. Poleg tega jo je z upoštevanjem jasnih navodil razmeroma enostavno sestaviti. Merilna naprava se poveže z našo spletno platformo in je odprtokodna. Koda je prosto dostopna vsem, ki jo želijo izboljšati ali jo uporabiti pri drugih projektih. Z vidika natančnosti merjenja sva izboljšala funkcionalnost, ki jo ponujajo mobilne aplikacije, izboljšala občutljivost senzorjev in bistveno povečala frekvenco vzorčenja v primarjavi s komercialno dostopnimi napravami. Najine izboljšave so pripomogle k veliko boljšim povprečnim vrednostim. Netatma ponuja podobna spletna orodja za analizo podatkov, vendar nima natančnosti merjenja s samo 1 meritvijo vsakih 10 sekund. Naš senzor lahko proizvede 8 meritev vsako sekundo. Združila sva najboljšo funkcijo Netatma – njihovo spletno platformo - in natančnost dražjih merilnikov ravni hrupa, s čimer sva ustvarila cenovno dostopno, a kakovostno okoljsko platformo za zaznavanje hrupa.

Najino napravo sva uvrstila predvsem med orodja za opazovanje trendov in zgodnje odkrivanje hrupa s sprejemljivo stopnjo natančnosti. Naprava zna indicirati, kje je potreben nadaljnji regulativni pregled. Ena od potencialnih izboljšav, ki se v tem trenutku zdi zelo pomembna, je tudi beleženje podatkov brez internetne povezave in njihovo naknadno nalaganje na platformo.

Z razvojem spletne platforme sva tudi izpolnila cilje raziskovanja. Kot rezultat raziskovanja je nastala javno dostopna spletna platforma, ki posreduje informacije o projektu in hrupu na sploh ter navodila za sestavljanje merilne naprave. Ima zelo preprost vmesnik, ki je logično strukturiran in intuitiven za uporabo. Zanesljivost in preprostost uporabe platforme za ubdelavo podatkov se odraža tudi v delu najinih sošolcev. Uporabe te platforme jim je močno olajšano delo pri njihovi ornitološki raziskavi. Osnovna interakcija in izmenjava podatkov med uporabniki je že omogočena, vendar načrtujemo, da

bova to funkcionalnost še močno razširila z dodatnimi delitvenimi in komunikacijskimi funkcijami (hrupni profili lokacij) in tako apelirala na moč množič v reševanju okoljskih problematik.

Platforma je bila že uspešno uporabljena v praksi, s čimer sva potrdila koncept. Skupina sošolcev je ustvarila pametni ptičji krmilnik, v katerega so integrirali tudi najin sistem za spremljanje hrupa. S pomočjo zabeleženih podatkov in najinih orodij za prikazovanje podatkov so ugotovili, da je več ptic obiskalo krmilnik, ko je bila raven hrupa nizka. Potem ko bodo na najini platformi uvedene obsežnejše funkcije za deljanje meritev, bodo lahko svoje ugotovitve delili na enostaven, interaktiven in končnim uporabnikom prijazen način. Tako bodo lahko seznanili javnost z vplivi zvočnega onesnaževanja na ptice.

9 Perspektive

Ko bodo dodane še izboljšave omenjene v prejšnjem odstavku, se bova bolj osredotočila na prepoznavnost platforme. Nekaj senzorjev bova namestila v šolske jedilnike, ki lahko postanejo precej glasne v času kosila. V podporo odprtokodne narave projekta, bova dodala še nekaj primerov modifikacij merilne naprave. Ena izmed njih bo »hrupni semafor«, ki bo na visoke nivoje hrupa opozarjal z različnimi svetlobnimi signali. Hipoteza za tem je, da se ljudje hrupa sploh ne zavedajo in bodo, če jih nekdo na to spomni, postali tišji. Gre za podobno idejo, kot je uporabljena v merilnikih in prikazovalnikih hitrosti na cestah. Ljudje v the primerih avtomatsko upočasnijo, ko jih senzor spomni, da vozijo prehitro. (4).

Vse postavljene naprave bova opremila s povezavami do spletne strani projekta. Želiva namreč spodbuditi zanimanje za platformo in spodbuditi ljudi, da sodelujejo v merjenju ter ozaveščanju o škodljivih posledicah okoljskega hrupa. Če bi bilo za to dovolj zanimanja, bi lahko prek spletne strani prodajala tudi že sestavljene naprave. Verjetno se kljub veliki preprostosti kdo ne počuti dovolj sposoben, da bi merilnik sestavil sam.

Ko bo zbranih dovolj podatkov, lahko tudi razširiva raziskovalne zmožnosti platforme z uporabo umetne inteligence. Razvila bi sistem, ki je spodoben prepoznavati različne tipe hrupa in trende povezovati še z drugimi okoljskimi parametri in z njimi povezanimi dogodki npr. vplivi različnih vremenskih pogojev, dnevno ponavljajoči dogodki itd.

Upava, da bodo rezultati pridobljeni s pomočjo najine platforme spodbudili odziv javnosti in tako pripomogli k bolj trajnostnemu razvoju na področju zvočnega onesnaženja.

10 Zahvale

Želela bi se zahvaliti obema mentorjema, Gimnaziji Vič, Inštitutu Jožef Štefan in Fakulteti za elektrotehniko.

Hvaležna sva najini profesorici kemije, gospe Mozer, ki je to raziskovalno nalogo sploh omogočila in jo koordinirala. Njena pomoč pri doseganju najinega cilja na poti natačnega in pomenskega merjenja hrupa je za ta projekt izjemnega pomena.

Ona naju je tudi usmerila in povezala z najinim zunanjim mentorjem, dr. Davidom Kocmanom z Inštituta Jožef Štefan. Tudi njemu izražava, zdaj v nasprotju s hrupom, neizmerno hvaležnost pri mentoriranju najinega raziskovanja. Njegova stalna pripravljenost in znanje s področja opazovanja okoljskih parametrov nama je bilo v veliko pomoč pri raziskovanju.

Hkrati se zahvaljujema še Fakulteti za elektrotehniko in profesorju Samu Begušu, ki je omogočil testiranje in kalibracijo najinega merilnika za hrup z njihovo profesionalno opremo in t.i. 'tiho sobo'.

Vse elektronske komponente in orodja za raziskovanje pa so bila zagotovljena s strani Inštituta Jožef Štefan, kot del projekta CitieS-Health H2020, sofinanciranega s strani EU (Citizen Science for Urban Environment and Health, grant agreement 824484).

11 Literatura

1. **Arduino AG.** Introduction to Arduino. *Arduino*. [Elektronski] [Navedeno: 10. February 2019.] <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>.
2. **The Editors of Encyclopaedia Britannica.** Sound-level meter. *Encyclopædia Britannica*. [Elektronski] Encyclopædia Britannica, inc., 30. September 2013. [Navedeno: 18. February 2019.] <https://www.britannica.com/technology/sound-level-meter>.
3. **Lewis, Alastair in Edwards, Peter.** Validate personal air-pollution sensors. *Nature*. 7. July 2016, Izv. 535.
4. *Review of the Effectiveness of Vehicle Activated Signs.* **Jomaa, Diala, Yella, Siril in Dougherty, Mark.** 2, 2013, Journal of Transportation Technologies, Izv. 3, str. 123-130.
5. **Noise Pollution.** *Department of Communications, Climate Action and Environment*. [Elektronski] [Navedeno: 22. January 2019.] <https://www.dccae.gov.ie/en-ie/environment/topics/noise-pollution/Pages/Noise-Pollution.aspx>.
6. **Oracle Corporation.** MySQL 8.0 Reference Manual. *MySQL*. [Elektronski] 2019. [Navedeno: 3. February 2019.] <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/what-is-mysql.html>.
7. **Fette, I.** in Melnikov, A. The WebSocket Protocol. *Internet Engineering Task Force*. [Elektronski] December 2011. [Navedeno: 4. February 2019.] <https://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc6455.txt.pdf>.
8. **You, Evan.** Introduction. *Vue.js*. [Elektronski] [Navedeno: 5. February 2019.] <https://vuejs.org/v2/guide/>.
9. —. **Overview.** *Vue CLI 3*. [Elektronski] 17. July 2018. [Navedeno: 5. February 2019.] <https://cli.vuejs.org/guide/>.
10. **European Commission, Directorate-General for Environment.** *REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL On the Implementation of the Environmental Noise Directive in accordance with Article 11 of Directive 2002/49/EC*. Brussels : EUR-Lex, 2017.
11. **EASME on behalf of the European Commission.** Have you heard about the concept of Citizens' Observatories? *European Commission*. [Elektronski] 21. December 2016. [Navedeno: 5. February 2019.] <https://ec.europa.eu/easme/en/news/have-you-heard-about-concept-citizens-observatories>.
12. *Environmental noise pollution in the United States: developing an effective public health response.* **Swinburn, Tracy K., Hammer, Monica S.** in Nietzel, Richard L. 2014, Environ Health Perspect, str. 115-119.
13. **European Environment Agency.** *Noise in Europe 2014*. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2014.
14. *Effective Noise Control Measures and Sustainable.* **Olayinka, Oyedepo Sunday.** 2013, World Journal of Environmental Engineering, str. 5-15.

15. Iversen, Sofie. How to reduce noise levels in cities. *SoundEar*. [Elektronski] 20. September 2016. [Navedeno: 8. February 2019.] <https://soundear.com/2016/09/20/reduce-noise-levels-in-cities/>.
16. NIDCD. Noise-Induced Hearing Loss. *NIDCH*. [Elektronski] 7. February 2017. [Navedeno: 7. February 2019.] <https://www.nidcd.nih.gov/health/noise-induced-hearing-loss>.
17. WHO Regional Office for Europe. *Environmental noise guidelines for European region*. Copenhagen : World Health Organisation, 2018.
18. Oxford English Dictionary. Noise. s.l. : Oxford University Press, 2019.
19. Palacin-Silva, Maria, et al. State-of-the Art Study in Citizen Observatories: Technological Trends, Development Challenges and Research Avenues. *REPORTS OF THE FINNISH ENVIRONMENT INSTITUTE*. [Online] 2016. [Cited: February 13, 2019.] https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/164810/SYKEre_28_2016.pdf?sequence=2.
20. Node.js Foundation. About Node.js. *Node.js*. [Online] [Cited: February 3, 2018.] <https://nodejs.org/en/about/>.
21. *A study of the accuracy of mobile technology for measuring urban noise*. Aumond, Pierre, in drugi. s.l. : Elsevier, 2016, Applied Acoustics, str. 219-226.
22. EPA. Summary of the Noise Control Act. *Laws & Regulations*. [Elektronski] 1972. [Navedeno: 13. February 2019.] <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-noise-control-act>.