



Gibanje MLADI RAZISKOVALCI KOROŠKE

Področje: Računalništvo ali telekomunikacije

**IZDELAVA NAPRAVE ZA MERJENJE KAKOVOSTI
ZRAKA V SLOVENSKIH ŠOLAH KOT PRIMER
LJUBITELJSKE ZNANOSTI**

Avtor: Anej Repnik

Mentor: Gorazd Geč, univ. dipl. inž. rač. in inf.

Somentorica: dr. Ana Kroflič

Ravne na Koroškem, 2022

Srednja šola Ravne

Na gradu 4a, 2390 Ravne na Koroškem

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Gorazdu Geču za pomoč pri uresničitvi zadanih ciljev in za vodenje pri opravljanju raziskav ter za dosledno beleženje časov zračenja učilnice in prihoda ter odhoda dijakov.

Posebna zahvala gre tudi dr. Ani Kroflič, ki me je povabila k projektu ter me navdihnila za razvijanje merilne naprave. Prav tako se ji zahvaljujem za pomoč pri interpretaciji podatkov, posredovanju pomembne literature in za dobavo potrebne strojne opreme ter zakup domene.

KAZALO VSEBINE

ZAHVALA.....	i
KAZALO VSEBINE.....	iii
KAZALO SLIK.....	v
KAZALO TABEL.....	v
POVZETEK	vii
SUMMARY	viii
1. UVOD	1
1.1 CILJI.....	2
1.2 HIPOTEZE.....	2
2. VSEBINSKI DEL	4
2.1 LASTNOSTI ZRAKA	4
2.1.1 KISIK IN OGLJIKOV DIOKSID.....	4
2.1.2 PM DELCI	5
2.1.3 HLAPE NE ORGANSKE SPOJINE.....	5
2.1.4 TEMPERATURA IN VLAGA	6
2.2 TEHNOLOGIJA ARDUINO	6
2.2.1 PREDNOSTI ODPRTOKODNIH SISTEMOV	6
2.3 TEHNOLOGIJA ASP.NET	7
2.4 PODATKOVNA BAZA	7
2.5 AMCHARTS.....	7
3. PRAKTIČNO DELO	8
3.1 PRIPRAVA NAPRAVE	8
3.1.1 SESTAVLJANJE IN PROGRAMIRANJE	8
3.1.2 KALIBRIRANJE SENZORJEV	10
3.2 RAZVIJANJE SPLETNE APLIKACIJE.....	11

3.2.1 KREIRANJE PODATKOVNE BAZE	11
3.2.2 UREJANJE ZAHTEV ZAPISOVANJA.....	12
3.2.3 OBLIKOVANJE GRAFOV	12
3.3 OPRAVLJANJE MERITEV	13
4. REZULTATI IN DISKUSIJA.....	14
4.1 REZULTATI MERITEV	14
4.1.1 NATANČNOST TEMPERATURE.....	16
5. ZAKLJUČEK.....	18
5.1 OVREDNOTENJE HIPOTEZ.....	18
5.2 ANALIZA CILJEV IN SKLEP	19
6. SEZNAM LITERATURE.....	20
PRILOGA 1: Koda Arduino.....	22
PRILOGA 2: Koda za sprejem zahtev, 1. del	26
PRILOGA 3: Koda za sprejem zahtev, 2. del	26
PRILOGA 4: Seznam komponent.....	27
PRILOGA 5: Primer kode za posodabljanje neke vrednosti 1. del.....	27
PRILOGA 6: Primer kode za posodabljanje neke vrednosti 2. del.....	27

KAZALO SLIK

Slika 1: Shema vezave naprave	9
Slika 2: Dokončana zvezana naprava	10
Slika 3: Diagram ER podatkovne baze.....	11
Slika 4: Graf izmerjenih vrednosti <i>CO2</i> v času izvajanja meritev	15
Slika 5: Graf <i>CO2</i> za 22. 2. 2022	15
Slika 6: Graf temperature	17

KAZALO TABEL

Tabela 1: Delovni list	14
Tabela 2: Odčitki temperature iz senzorja in analognega termometra ob istem času	16

POVZETEK

V zadnjih dve letih je predvsem zaradi pandemije covid-19 velik poudarek na kakovosti zraka, ki ga dijaki in učenci dihajo v šolah. Na pobudo dr. Ane Kroflič s Kemijskega inštituta v Ljubljani sem se vključil v projekt, v sklopu katerega bomo po slovenskih srednjih šolah izvajali meritve kakovosti zraka in rezultate pozneje analizirali in primerjali. Namen projekta ni le ugotoviti, kakšna je kakovost zraka po šolah, ampak kaj nanjo vpliva, kako jo izboljšati in kako učinkovito je zračenje oziroma kako pogosto bi morali prezračevati. Tako sem za začetek sestavil in sprogramiral napravo na tehnologiji Arduino s senzorji, ki lahko te meritve izvajajo. Ker bomo izvedli veliko število meritev na različnih lokacijah, se je bilo treba ustrezno pripraviti na veliko količino podatkov. S tem razlogom sem razvil spletno aplikacijo, ki podatke od naprave Arduino sprejme, jih uredi in ustrezno zapiše v podatkovno bazo. Aplikacija prav tako služi prikazovanju podatkov v realnem času s pomočjo grafov, ki vsebujejo časovno odvisne meritve za izbrano šolo.

Ključne besede: kakovost zraka, Arduino, spletna aplikacija, podatkovna baza, odprtokodni sistemi, ogljikov dioksid, temperatura, senzorji

SUMMARY

Due to the pandemic of covid-19, much attention has been paid to the quality of air in schools. With the initiative from dr. Ana Kroflič at the National Institute of Chemistry in Ljubljana, I joined a project, in frame of which we will be monitoring the quality of air in Slovenian high schools. The goal of the project isn't only to investigate air quality in schools, but also identify what influences it and how we can improve it. For this purpose, I put together and programmed an Arduino with appropriate sensors. As we will perform a lot of measurements on different locations, we have to be ready for a large quantity of data. So I developed a web application, which recieves the data from the Arduino, and stores it in a database. The application also displays time-dependent data on dynamic graphs in real time.

Keywords: Air quality, Arduino, web application, database, open source, carbon dioxide, temperatue, sensors

1. UVOD

V zadnjih dveh letih je bilo zaradi pandemije virusa SARS-Cov-2 veliko več pozornosti posvečene kakovosti zraka v učilnicah, kjer šolarji preživljajo veliko časa v družbi vrstnikov. Velik poudarek je bil na rednem zračenju prostorov, predvsem med odmori, ko se menjajo razredi, ki so sicer med seboj izolirani.

Pomanjkljivo zračenje učilnic pa ni le problem pri prenosu virusov, ampak tudi negativno vpliva na počutje in kognitivne sposobnosti dijakov. Vemo na primer, da visoke koncentracije ogljikovega dioksida slabo vplivajo na posameznikovo počutje in da lahko previsoke temperature zmanjšajo zbranost.

Na kakovost zraka v učilnici vpliva veliko dejavnikov, kot so velikost učilnice oziroma količina zraka v prostoru, število oseb v prostoru, čas zadrževanja v prostoru, frekvenca in dolžina prezračevanj, kakovost zunanjega zraka itd. Na temperaturo vpliva tudi število računalnikov v prostoru, kar je predvsem problem pri strokovnem izobraževanju, kjer je raba računalnikov nepogrešljiva.

Za izdelavo raziskovalne naloge me je navdihnil projekt, pri katerem se bodo po slovenskih srednjih šolah izvajale meritve zraka. Na pobudo dr. Ane Kroflič s Kemijskega inštituta v Ljubljani sem se vključil v projekt in prevzel nalogo, da sestavim napravo, ki bo zmožna opravljati zelene meritve in nam bo pomagala ovrednotiti, kakšen zrak dihajo dijaki v slovenskih učilnicah. Odločili smo se za odprtokodno tehnologijo Arduino in pripadajoče senzorje. Predlagal sem tudi, da razvijem še spletno aplikacijo, ki nam bo bistveno olajšala shranjevanje, urejanje oziroma analiziranje in prikazovanje podatkov.

1.1 CILJI

Glavni cilj je izdelava naprave, ki bo cenovno ugodna, a vseeno zanesljiva, in bo omogočala merjenje kakovosti zraka v prostoru. Pomembno je, da ostane cena naprave dokaj ugodna in s tem dostopna širši javnosti, torej nekje okrog 100 evrov. Načrt je, da bo naprava potovala po slovenskih srednjih šolah. Na vsaki šoli bo nek določen čas izvajala meritve. Seveda bo treba vse podatke, ki ji bomo izmerili, shraniti, da se jih pozneje lahko analizira. S tem namenom bom izdelal spletno aplikacijo, ki bo podatke urejala in jih zapisovala v podatkovno bazo. Na spletni strani si bo mogoče ogledati tudi grafičen prikaz podatkov, ki jih bo naprava izmerila. Poleg dela s podatki bo spletna stran služila tudi kot publikacija za projekt, saj bo objavljena na javni domeni. Upam, da bo to pritegnilo več šol k sodelovanju, ali pa celo navdihnilo koga, da sam sestavi podobno napravo.

1.2 HIPOTEZE

Pred začetkom naloge sem zastavil nekaj hipotez, in sicer:

Hipoteza 1: Ker naprava temelji na odprtokodni tehnologiji, bo cenovno ugodna.

Odprtokodni sistem je javno dostopen vsem. To pomeni, da lahko proizvajalci za tak sistem z lahkoto izdelajo različne senzorje, ki so cenovno ugodni, njihova uporaba pa je dobro dokumentirana.

Hipoteza 2: Zaradi dostopnosti računalniških kod lahko takšno napravo sestavi in uporablja vsak posameznik, ki je vsaj malo več v računalništvu.

Še ena od mnogih prednosti odprtokodnih sistemov je, da lahko razvijalci in vsi posamezniki prosto delijo vnaprej napisano kodo. Tako lahko vsak senzor posamično uporabljamo brez pisanja kode, saj lahko do obstoječih programov brezplačno dostopamo prek interneta. Potrebno jih je le povezati tako, da vsi senzorji delujejo hkrati.

Hipoteza 3: Senzorji za pravilno delovanje ne zahtevajo kalibracije v laboratorijskem okolju.

Senzorji so dobro dokumentirani in imajo točno določena odstopanja. Prav tako jih večina pride iz tovarne že kalibriranih, ali pa naj bi bila kalibracija izredno preprosta.

Hipoteza 4: **Zračenje samo med odmori, ki trajajo le pet minut, ni zadostno.**

V času pandemije je bil poudarek na prezračevanju učilnic pred menjavo šolarjev iz različnih razredov, vendar menim, da pet minut zračenja ni dovolj, da bi se učilnica popolnoma prezračila.

Hipoteza 5: **Prisotnost PM delcev bo razvidno višja v šolah, ki so blizu prometne ceste.**

Dim, ki nastane pri motorjih na notranje izgorevanje, vsebuje tudi saje, ki so škodljive za zdravje našega respiratornega sistema. Ker med zračenjem učilnic z odpiranjem okna v prostor spuščamo zunanji zrak, sklepam, da se bo onesnaženje zunanjega zraka pozneje poznalo tudi pri meritvah zraka v prostoru. Prav tako predpostavljam, da bodo koncentracije PM višje na šolah, ki so v središču večjih mest, kot je na primer Ljubljana, kjer je več prometa kot v manjših slovenskih mestih.

2. VSEBINSKI DEL

2.1 LASTNOSTI ZRAKA

Kakovost zraka ni samostojno izmerljiva lastnost, ampak je skupek vrednosti mnogih fizikalnih parametrov in snovi, ki so prisotne v zraku. Zrak je sestavljen iz približno 78 % dušika, 21 % kisika, 0,9 % argona in 0,04 % ogljikovega dioksida. V zraku poleg naštetega najdemo tudi majhne količine helija, vodika, neona in drugih elementov ter vodno paro in lebdeče delce oziroma PM (angl. *particulate matter*).

Na ravni srednješolskega projekta je nemogoče vse izmeriti, zato smo se odločili za najpomembnejše. Po šolah bomo tako merili koncentracije kisika, ogljikovega dioksida, hlapnih organskih spojin (VOC) in delcev PM. Poleg tega nas zanimata tudi vrednost temperature in vlage.

2.1.1 KISIK IN OGLJIKOV DIOKSID

Koncentraciji kisika (O_2) in ogljikovega dioksida (CO_2) sta med seboj povezani. Pri dihanju porabljamo O_2 in proizvajamo CO_2 . V zaprtem prostoru se zaradi tega s časom dvigne koncentracija CO_2 in zmanjša koncentracija O_2 . Poraba O_2 je sorazmerna s številom oseb, ki so v istem prostoru in dihajo isti zrak. Vir CO_2 so tudi kurjenje in izpušni plini pri prometu, O_2 pa proizvajajo rastline med fotosintezo.

Povišana koncentracija CO_2 v zraku ima slab vpliv na človekovo počutje in njegove kognitivne sposobnosti. Ko dihamo zrak, v katerem je povišana količina CO_2 , se poveča tudi njegova prisotnost v naši krvi. Hkrati je v krvi manj O_2 , kar lahko povzroči utrujenost, glavobol, neenakomerno dihanje itd. Naši možgani prav tako ne dobijo dovolj O_2 , kar zmanjša našo koncentracijo in sposobnosti razmišljanja.

2.1.2 PM DELCI

Delce PM delimo glede na njihovo velikost. V glavnem jih razvrščamo v tri skupine, in sicer v PM_{10} , $PM_{2,5}$ in PM_1 , kjer številka v podpisu predstavlja zgornjo mejo premera delcev te skupine v μm .

PM_{10} torej zajema vse delce s premerom manjšim od 10 μm , vključno z vsemi $PM_{2,5}$ in PM_1 delci. Merimo jih v enotah $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ki predstavljajo maso delcev izbrane velikosti v μg na 1000 litrov zraka.

PM delci so nevarni človekovemu respiratornemu sistemu. So premajhni, da bi jih videli, vendar se v dihalnih poteh in pljučih vsadijo v vlažno tkivo. Povišane količine delcev v vsakdanjem zraku zvišujejo možnost nastanka raka. Delci pa so lahko tudi strupene snovi ali celo mikroorganizmi, kot so bakterije in virusi.

2.1.3 H LAPNE ORGANSKE SPOJINE

Hlapne organske spojine ali VOC (angl. *volatile organic compounds*) so skupina ogljikovodikov, ki pri sobni temperaturi zlahka hlapijo. Viri VOC-jev so promet, gorenje lesa, barve, laki, čistila, razkužila, lepila itd.

V skupino VOC sodi zelo veliko raznolikih snovi, zato je njihove učinke na človeka težko v splošnem opredeliti, a v glavnem lahko povzročajo glavobol in draženje oči, so kancerogene in povzročajo okvare v živčnem sistemu.

Ker je spekter VOC snovi tako širok, je težko natanko določiti, katera snov je prisotna v merilnem okolju. V to skupino sodijo vse – od neškodljivih hlapnih spojin v parfumih do sarina ($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{FO}_2\text{P}$), ki je bil v preteklosti v vojnah uporabljen kot kemično orožje.

2.1.4 TEMPERATURA IN VLAGA

Temperatura in vlaga sta sicer manj direktna indikatorja kakovosti zraka, vendar vseeno vplivata na posameznikovo zdravje in udobje. Povišana vlažnost in temperatura prostora skozi daljše časovno obdobje lahko spodbudita nastanek plesni, ki so človeku zelo nevarne.

Povišana temperatura okolja povzroča potenje, človek pa se s potenjem hladi. Pri visoki vlažnosti zraka znoj počasneje izhlapeva in je učinek hlajenja milejši, kar spodbuja nadaljnje znojenje. Prav tako pa suh zrak suši sluznico dihal in s tem zniža njeno zaščitno funkcijo, kar pomeni, da smo manj odporni pred okužbami.

2.2 TEHNOLOGIJA ARDUINO

Arduino je odprtokodni sistem programirljivih krmilnikov. To pomeni, da lahko vsi – posameznik ali podjetje – dostopajo do načrtov teh krmilnikov ter zanje razvijajo programske ali strojno opremo. Ima veliko skupnost, ki je začetnikom prijazna. Brezplačno je mogoče dostopati do ogromne količine primerov kod, na voljo pa je tudi mnogo ugodnih fizičnih dodatkov, kot so razni senzorji, zasloni LED, zvočniki, kamere itd.

2.2.1 PREDNOSTI ODPRTOKODNIH SISTEMOV

Pri odprtokodnih sistemih se pogosto oblikujejo velike skupnosti. Ker je nek sistem v preteklosti že uporabljalo veliko ljudi, na internetu z lahkoto najdemo ogromno brezplačnih primerov kod in dokončanih projektov, s katerimi si lahko pomagamo in vidimo, kako so drugi reševali probleme.

Prednost je tudi v tem, da lahko proizvajalci brez težav razvijajo dodatke k nekemu sistemu ali pa ga nadgrajujejo, saj imajo dostop do izvorne kode in do načrtov elektronskih vezij. Tako se razvijanje takšnega okolja nikoli ne ustavi. Posledično se zniža tudi cena, saj je na trgu veliko število izvornih in ugodnih rešitev različnih proizvajalcev. To hkrati pomeni, da lahko skupnost še naprej vzdržuje nek sistem, tudi če ga podjetje neha podpirati.

V glavnem je največja slabost odprtokodnih sistemov slaba podpora proizvajalca. Pri majhnih skupnostih je lahko problem tudi počasen razvoj ali pa novincem neprijazno okolje, če so stvari slabo dokumentirane.

2.3 TEHNOLOGIJA ASP.NET

Tehnologija ASP.NET omogoča hiter in poenostavljen razvoj spletnih aplikacij. Vsebuje veliko funkcij, ki olajšajo razvijanje in testiranje same aplikacije, kot so tabela napak, razhroščevalnik, lokalni strežnik za testiranje idr. Uporablja pa programsko okolje Microsoft Visual Studio.

2.4 PODATKOVNA BAZA

Podatkovna baza je urejen skupek med seboj logično povezanih podatkov. V moderni dobi digitalnih informacij je nepogrešljiv del vsakdanjega življenja. Omogoča lažjo obdelavo, razvrščanje, shranjevanje in analiziranje podatkov. Obstajajo različne podatkovne baze. Najpogostejše so Oracle, MySQL in Microsoft SQL Server. Za urejanje baz potrebujemo tudi ustrezen program, ki podpira delo z izbranim tipom podatkovne baze. Poznamo orodja, kot so phpMyAdmin, Microsoft SQL Management Studio itd.

2.5 AMCHARTS

Razširitev amCharts je knjižnica oziroma skupek že napisanih podprogramov v programskem jeziku JavaScript, ki nam omogoča relativno preprosto dinamično prikazovanje večjih količin podatkov na t. i. sprednjem delu spletne strani. Sprednji del je v resnici samo izgled spletne strani, ki ga strežnik pošlje brskalniku, ko uporabnik vanj vnese naslov URL in predstavlja vse informacije, kot so besedilo, slike, grafi ipd., ki jih uporabnik vidi. Poznamo še zadnji del spletne strani, kjer se odvijajo pošiljanje in sprejemanje zahtev, preusmeritve, upravljanje s podatki ter mnoge druge stvari, ki pa uporabnikom niso vidne.

3. PRAKTIČNO DELO

Preden sem se lotil same izdelave naprave, sem sestavil dosleden načrt z vrstnim redom opravil, ki sem jih moral narediti. Med izdelovanjem se je načrt malo spremenil. Prvotna naprava – Arduino s senzorji – namreč ni imela dostopa do interneta in bi morala biti ves čas delovanja priključena na računalnik, kar za dolgotrajne meritve (posebej čez noč) ni idealno, podatki pa bi bili nepregledno shranjeni samo lokalno na računalniku in bi jih morali pozneje ročno urejati. Pri tolikšni količini podatkov to ni le nepraktično, ampak skoraj nemogoče.

Iz teh razlogov sem predlagal, da napravi omogočimo dostop do interneta in da razvijem spletno aplikacijo, ki bo prikazovala že urejene podatke. Tako se podatki sproti prek interneta pošiljajo na strežnik, kjer se avtomatično uredijo, sistematsko shranijo ter so dostopni komur koli, kjer koli in kadar koli. Zato smo morali dokupiti še omrežno kartico za Arduino in spletno domeno, kjer gostuje spletna aplikacija (<http://kajdiham.si/>). Tehnični del naloge je torej postal bolj zapleten z namenom, da bi bilo napravo pozneje, ko bo potovala po slovenskih šolah, lažje uporabljati in podatke enostavneje pregledovati.

3.1 PRIPRAVA NAPRAVE

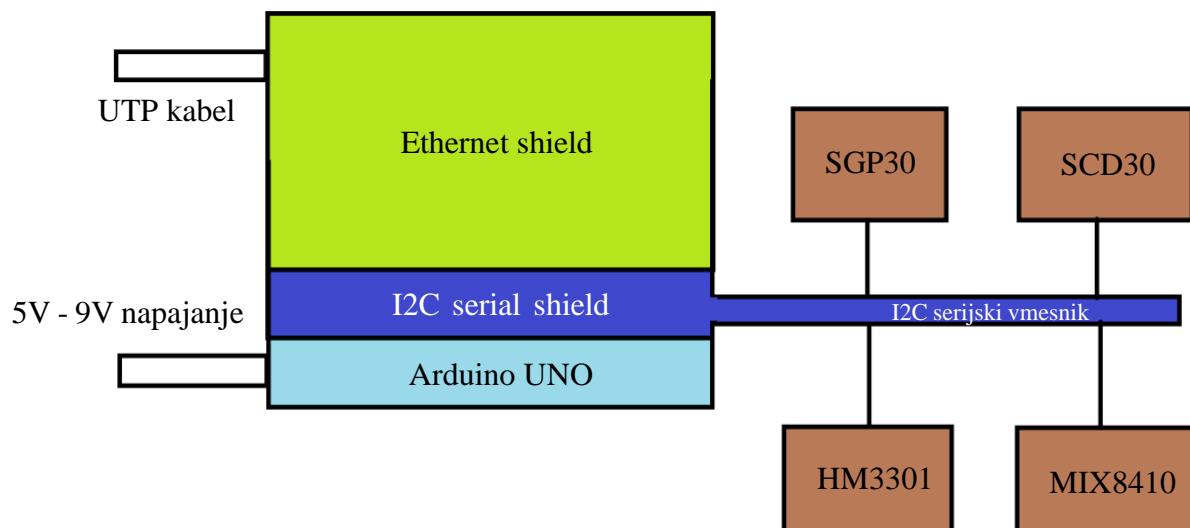
3.1.1 SESTAVLJANJE IN PROGRAMIRANJE

Najprej sem sestavil in sprogramiral Arduino z vsemi senzorji. Nekateri senzorji merijo več kot eno vrednost, zato sem najprej ugotovil točno število podatkov, ki jih bomo z vsako meritvijo pridobili. To je bilo pomembno za pozneje, ko sem načrtoval strukturo podatkovne baze.

Kot sem že omenil, je prednost odprtokodnih sistemov lahek dostop do primerov kod. Najprej sem z že obstoječimi programi preveril delovanje posameznih senzorjev. Nekateri senzorji za delovanje potrebujejo knjižnice (skupke vnaprej napisanih podprogramov), ki sem jih predhodno namestil v programsko okolje Arduino. Ko sem potrdil, da vsi senzorji pravilno delujejo, sem posamezne programe sestavil v novega, ki bere vrednosti z vseh petih senzorjev hkrati.

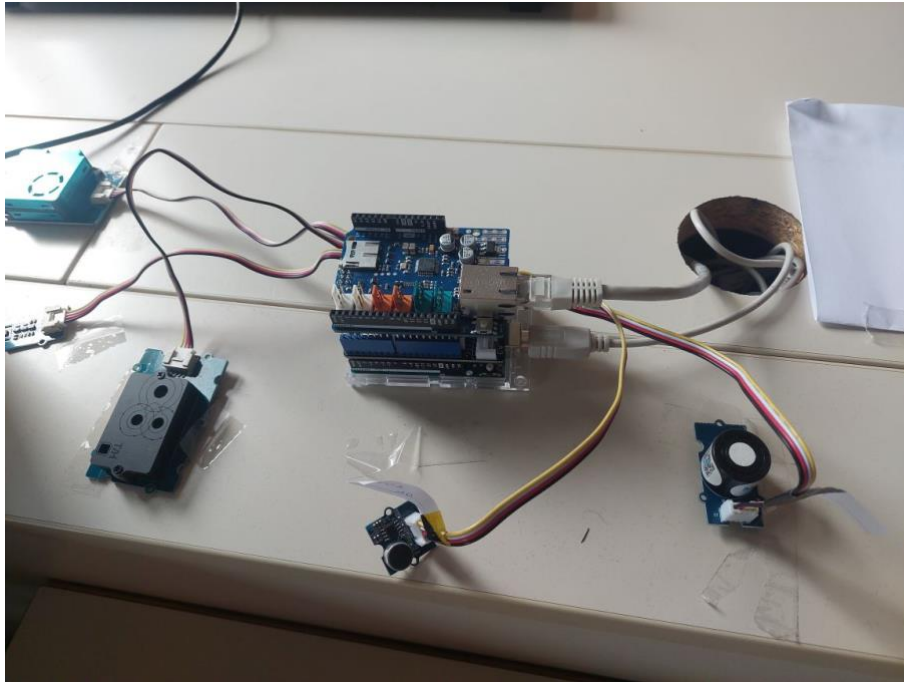
Dodal sem še omrežno kartico in v kodi napravi omogočil, da dinamično pridobi naslov IP in tako dostopa do interneta. Pomembno je, da je proces pridobivanja naslova IP avtomatičen, saj so si omrežja različna in bi v nasprotnem primeru na vsaki lokaciji morali spremeniti kodo na napravi. To bi bilo zamudno, saj bi poleg namestitve programskega okolja z vsemi potrebnimi knjižnicami morali preveriti tudi lastnosti omrežja in najti prost naslov IP. Naprava tako v končni obliki vsaki dve sekundi na strežnik pošlje zahtevo HTTP, ki vsebuje podatke vseh meritev. Aplikacija zahtevo obdela in vrednosti zapiše v bazo, za čas merjenja pa uporabi lokalni čas na strežniku v trenutku, ko je zahteva prispela. Končna koda je priložena pod prilogo 1.

Slika 1 prikazuje shemo vezave naprave. Seznam komponent je podan v prilogi 4.



Slika 1: Shema vezave naprave

Na sliki 2 je prikazana dokončno zvezana naprava, ki deluje in opravlja meritve.



Slika 2: Dokončana zvezana naprava

3.1.2 KALIBRIRANJE SENZORJEV

Za štiri od petih senzorjev proizvajalec zagotavlja natančnost iz tovarne. Žal na šoli nimam primerne opreme, da bi to trditev lahko testiral in potrdil ali zavrgel. Peti senzor, ki meri vlago, temperaturo in koncentracijo CO₂, pa ni vnaprej kalibriran. Na srečo je postopek izredno preprost. Za kalibracijo senzorja je že napisana koda, ki jo je treba le zagnati, senzor pa se v roku enega tedna samodejno kalibrira.

Edini parameter, ki sem ga lahko preveril, je temperatura. Iz kemijske učilnice sem si sposodil termometer ter vrednosti primerjal z izmerjenimi v različnih trenutkih.

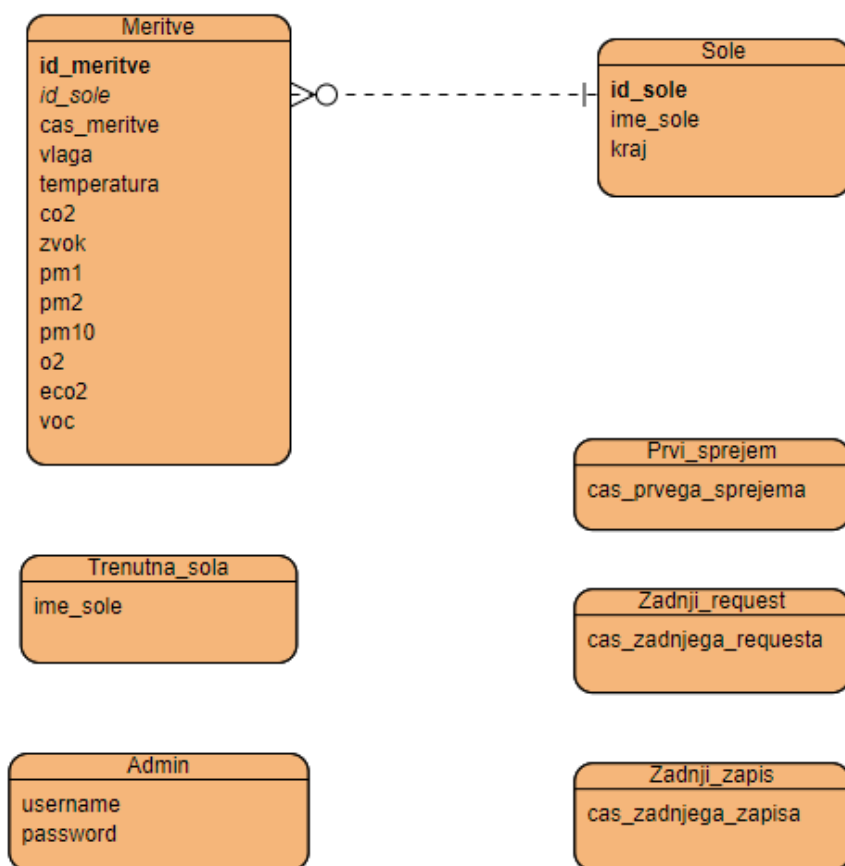
Ujemanja predstavim v poglavju Rezultati in diskusija.

3.2 RAZVIJANJE SPLETNE APLIKACIJE

Za razvoj spletne aplikacije sem uporabil tehnologije ASP.NET, Microsoft SQL Server in amCharts.

3.2.1 KREIRANJE PODATKOVNE BAZE

Da bi lahko podatke sploh dolgoročno hranili, sem moral izdelati podatkovno bazo. Da baza pravilno deluje, morajo biti podatki zapisani v točno določeni obliki in zaporedju. Poleg izmerjenih vrednosti nas zanima tudi, na kateri šoli in ob katerem času je bil podatek izmerjen. Ob tem potrebujemo v bazi še podatke o času zadnje zahteve od naprave, o času zadnjega vnosa meritve v bazo in o času prvega možnega zapisa. Na sliki 3 je prikazan diagram ER podatkovne baze, ki sem jo izdelal.



Slika 3: Diagram ER podatkovne baze

3.2.2 UREJANJE ZAHTEV ZAPISOVANJA

Čas zadnje zahteve nam pove, kdaj je Arduino nazadnje posredoval podatke na strežnik. Med delovanjem naprave se posodablja vsaki dve sekundi, da se ne ohladi. Ker nekateri senzorji pred uporabo potrebujejo nekaj časa, da se segrejejo, lahko ugotovimo, če je od zadnje zahteve naprave minilo preveč časa in so se senzorji vmes ohladili. Takrat se podatek o času prvega možnega zapisa samodejno nastavi na dvajset minut od trenutka, ko strežnik po daljši prekinitvi (več kot pet minut) prejme prvo zahtevo za zapis. Tako se podatki ne bodo zapisovali dovolj časa, da se senzorji ustrezno zagrejejo.

Prav tako nam ti podatki o času omogočajo variabilen interval zapisovanja podatkov v bazo brez spreminjanja kode Arduino. Naprava med delovanjem pošilja zahteve s podatki o meritvah na vsaki dve sekundi, strežnik pa jih zapiše le, če je od zadnjega zapisa minilo poljubno število minut. Tako sem dosegel, da se v času pouka (7.00–15.00), ko so na šoli dijaki in profesorji, podatki zapisujejo na vsakih pet minut, popoldne in ponoči, ko na šoli ni aktivnosti, pa vsakih dvajset minut.

Koda za sprejem zahtev je priložena pod prilogo 2 in prilogo 3.

3.2.3 OBLIKOVANJE GRAFOV

Podatki se med merjenjem hitro nabirajo, zato bi jih že po nekaj urah iz tabele težko analizirali, ročno risanje grafov pa je izredno zamudno. Tako sem se odločil podatke prikazovati grafično, in sicer neposredno na spletni strani. Ker se meritve neprestano izvajajo, je pomembno, da so grafi dinamični in se sproti posodabljaajo. V dopoldanskem času je razmik med meritvami drugačen kot popoldan in ponoči, zato je abscisna os prikazana kot časovna premica, vrednosti pa so razporejene po času merjenja. Po grafih se lahko tudi premikamo, jih povečujemo oziroma pomanjšujemo ter izbiramo šolo, katere podatki naj se izrišejo na grafih. Ker je risanje takšnih grafov daleč od preprostega, sem uporabil razširitev amCharts, ki postopek nekoliko olajša.

3.3 OPRAVLJANJE MERITEV

Ker sem veliko misli posvetil čim enostavnejši uporabi naprave, je opravljanje meritev popolnoma avtomatiziran proces.

Napravo priključimo na internet s pomočjo omrežnega kabla (UTP) in na ustrezni vir napetosti. Vse ostalo se opravi samo od sebe, torej lahko napravo nastavimo in nanjo pozabimo, kar je idealno za projekt, kjer naprava potuje po šolah in pride v roke dijakov, ki niso večji računalništva. Poleg tega pa je ni treba vzdrževati.

Med opravljanjem meritev sem ob naključnih časih bral vrednosti s termometra, ki je bil ves čas zraven naprave, z namenom, da sem pozneje določil točnost izmerjene temperature. To je tudi edini parameter, katerega vrednosti sem lahko ovrednotil.

4. REZULTATI IN DISKUSIJA

4.1 REZULTATI MERITEV

Ker je bil cilj moje naloge le izdelati ustrezno napravo in me je zanimalo samo njeno delovanje, sem manj časa posvetil analiziranju izmerjenih vrednosti. Tako sem se osredotočil samo na vrednosti temperature in CO₂ z namenom, da ugotovim, kako učinkovita je naprava in v grobem ugotovim, kakšen je zrak v učilnici.

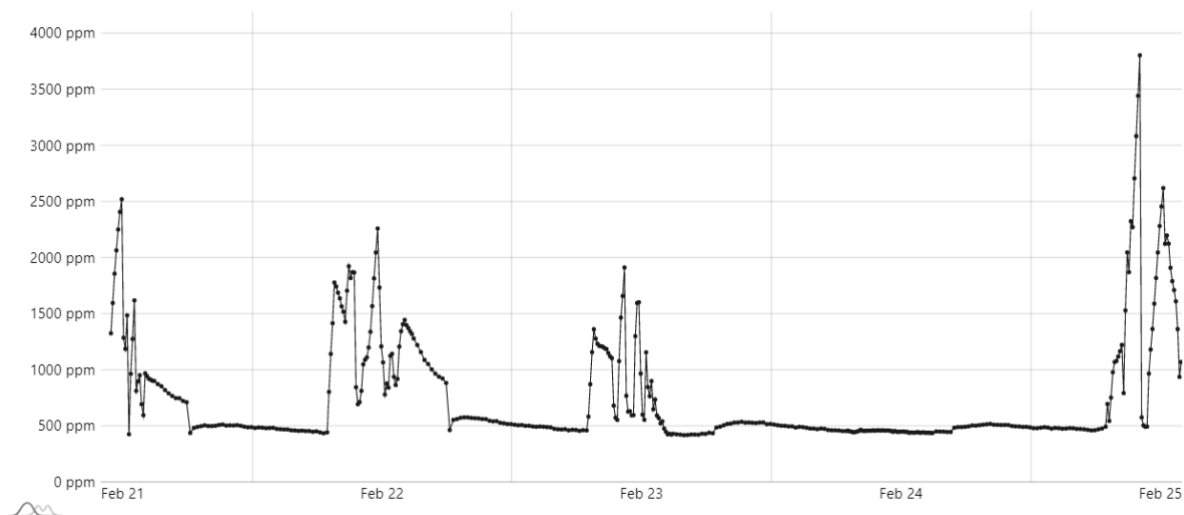
Meritve sem izvajal v računalniški učilnici od 21. 2. 2022 do 25. 2. 2022. V tem obdobju je profesor, ki stalno poučuje v učilnici, kjer so se meritve izvajale, skrbno beležil čase, ko je bilo odprto okno oziroma ko se je učilnica prezračevala. V tabeli 1 je prikazan izsek iz delovnega lista, kamor je profesor beležil čase zračenja.

Tabela 1: Delovni list

Dan in datum	21. 2. 2022	22. 2. 2022	23. 2. 2022	24. 2. 2022	25. 2. 2022
Št. oseb v učilnici	12	14	12	ŠPORTNI DAN	15
Klima	NE	NE	NE		NE
Kurjenje	DA	DA	DA		DA
Zračenje	12.03–12.18 12.25–12.45 13.20–14.00	9.30–10.05 11.46–14.03	9.30–9.55 10.50–11.20 12.00–12.20		7.05–7.40 10.10–10.50 12.30–14.00

Eden najenostavnejših načinov za določanje kakovosti zraka v notranjih prostorih je spreminjanje vrednosti CO₂, ker lahko iz nje razberemo, ali je prostor prezračen ali ne. Slika 4 prikazuje vrednosti CO₂ čez cel teden.

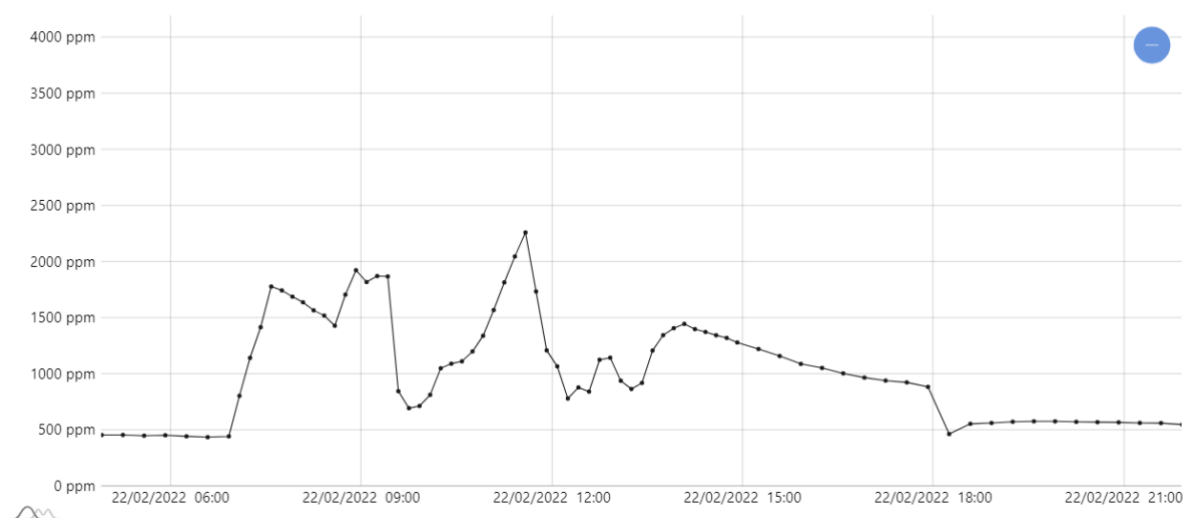
CO₂:



Slika 4: Graf izmerjenih vrednosti CO₂ v času izvajanja meritev

Za lažje razbiranje grafov si lahko izberemo le en dan. Na sliki 5 so prikazane vrednosti CO₂ za torek, 22. 2. 2022.

CO₂:



Slika 5: Graf CO₂ za 22. 2. 2022

Ko primerjamo čase padcev koncentracije CO₂ s časi zračenja, ki jih je beležil profesor, vidimo, da se ujemajo. Vidimo tudi, da je okoli 14.00 padeč manj strm kot ob odprtju oken. Takrat se namreč konča pouk in učilnica ostane prazna, vendar se ne zrači aktivno, zato vrednost CO₂ pada veliko počasneje.

4.1.1 NATANČNOST TEMPERATURE

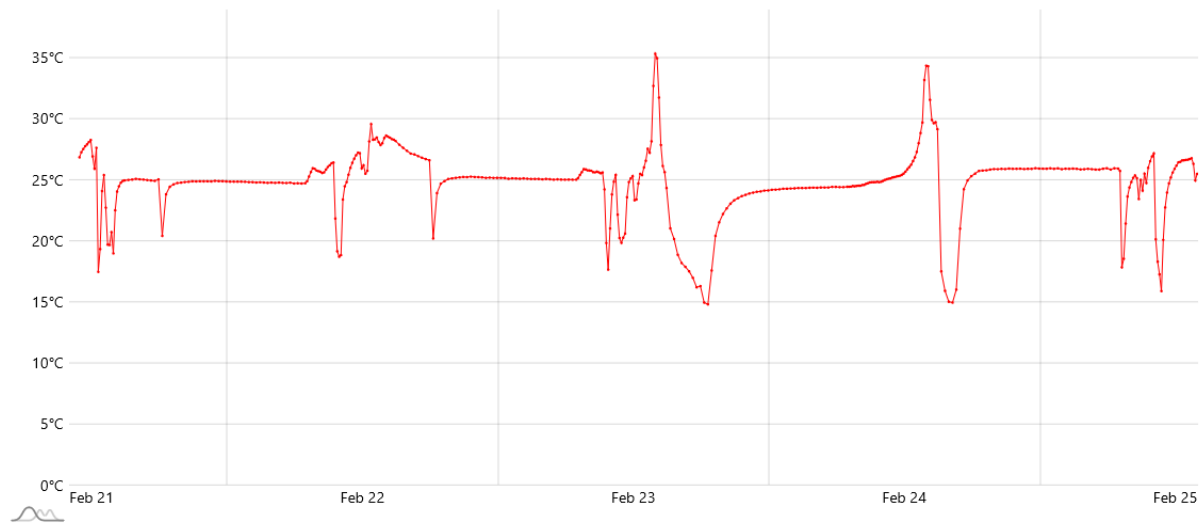
V času merjenja sem naključno opravil pet branj temperature s termometra, ki sem ga postavil ob napravi, in jih primerjal s temperaturo, ki jo je pokazal senzor ob istem času. Ker je skala termometra od -20 °C do 100 °C, je natančnost branja vrednosti s termometra nižja kot v primeru senzorja

Tabela 2: Odčitki temperature iz senzorja in analognega termometra ob istem času

Senzor	Termometer	Razlika
24,80 °C	24,5 °C	0,3 °C
25,87 °C	25,4 °C	0,5 °C
26,32 °C	26,0 °C	0,3 °C
26,69 °C	27,1 °C	0,4 °C
24,41 °C	24,5 °C	0,1 °C

Ugotovimo lahko, da je največje odstopanje temperature 0,5 °C, kar je več kot dovolj natančno za naše potrebe. Slika 6 prikazuje graf temperature.

Temperatura:



Slika 6: Graf temperature

Graf temperature se načeloma spreminja po pričakovanjih (padec vrednosti ob odprtju okna, saj je zunaj hladneje), razen dveh nenadnih dvigov temperature na okoli 35 °C (23. 2. 2022 in 24. 2. 2022). Ti dve neskladnosti sta verjetno posledici tega, da so čistilke dvignile ruleto, kar je senzor za kratek čas izpostavilo neposredni sončni svetlobi. V dokumentaciji senzorja je jasno napisano, da to na meritve negativno vpliva in zmanjša natančnost senzorja. Skozi celotno merilno obdobje je temperatura dokaj visoka, vendar je to posledica tega, da je poleg dvanajstih dijakov v učilnici še dvanajst računalnikov, ki so ves čas prižgani in oddajajo toploto.

5. ZAKLJUČEK

5.1 OVREDNOTENJE HIPOTEZ

H1: Ker naprava temelji na odprtokodni tehnologiji, bo cenovno ugodna.

Hipoteza 1 je pravilna. Za cca. 150 evrov smo sestavili napravo, ki nam z enostavno uporabo zagotavlja zelene rezultate. Celotna cena bi bila še nižja, če bi izpustili omrežno kartico, ki nam olajšuje zbiranje podatkov in bi podatke zbirali samo lokalno. Ogromna prednost je tudi, da lahko katerega koli od senzorjev zamenjamo za drugega ali pa ga v celoti izpustimo. Res pa je, da obstajajo izdelki, ki lahko merijo podobne parametre za polovično ceno, a ne merijo vseh hkrati. Tako bi za enak set meritev potrebovali vsaj dva takšna izdelka in bi se s tem zelo približali ceni naše naprave. Poleg tega to ne pomeni, da lahko z vnaprej sestavljenimi izdelki opravljamo iste naloge. Vsi vnaprej izdelani merilniki zraka sodijo v zaprte sisteme in meritev posledično ne moramo digitalno pošiljati, kar pomeni, da bi morali vse rezultate ročno prepisovati iz zaslonov na takšnih izdelkih.

H2: Zaradi dostopnosti računalniških kod lahko takšno napravo sestavi in uporablja vsak posameznik, ki je vsaj malo več v računalništvu.

Hipoteza drži. Za vsakega od senzorjev je na spletu mogoče dostopati do že obstoječe kode, ki jo lahko uporablja vsak brez posebnega predznanja. Napravo je izredno enostavno sestaviti in sprogramirati, še posebej v primeru, da podatke zbiramo le lokalno in nimamo potrebe po internetnem vmesniku, ki pa posledično za delovanje potrebuje še spletno aplikacijo oziroma neke vrste sprejemnik. Kodo Arduino, ki sem jo za celoten projekt napisal, lahko tudi objavim na spletu in s tem olajšam delo nekemu, ki se bo morda v prihodnosti lotil česa podobnega.

H3: Senzorji za pravilno delovanje ne zahtevajo kalibracije v laboratorijskem okolju.

Te hipoteze ne morem v celoti ovreči ali potrditi. Po specifikacijah senzorjev bi hipotezo sicer lahko potrdil, a sem v mojem okolju lahko preverjal le verodostojnost podatkov o temperaturi, ne pa tudi za druge parametre. Ugotovil sem, da je senzor za temperaturo dokaj točen, a to ne pomeni, da so točni tudi drugi senzorji, ki jih na žalost ne morem testirati. Lahko pa potrdim, da so oblike grafov v skladu s pričakovanimi. Torej se na primer ob odprtju okna znižata vrednosti CO₂ in temperature, poviša pa se vlaga.

H4: Zračenje samo med odmori, ki trajajo le pet minut, ni zadostno.

Hipoteza 4 drži. Na grafih je ob času zračenja lepo viden strm padec vrednosti CO₂, ki je naš glavni parameter za določanje prezračенosti učilnice. Kljub temu pa se koncentracija CO₂ v samo petih minutah ne vrne na začetno vrednost. V večini primerov potrebuje CO₂ minimalno deset minut, da doseže vrednost ozadja (ponoči), ko v prostoru ni ljudi. Izjemoma je vrednost dosegla strm padec na normalno vrednost 25. 2. 2022 ob 10.10, a takrat se prične glavni odmor in so najverjetneje ostala odprta vrata, kar je ustvarilo prepih.

H5: Prisotnost PM delcev bo razvidno višja na šolah, ki so blizu prometne ceste.

Na žalost te hipoteze ne morem ovrednotiti, saj so se meritve do časa pisanja raziskovalne naloge izvajale samo na Srednji šoli Ravne. Imeli smo namreč težave z okvaro senzorja za delce, zato se je izvajanje meritev po drugih šolah ustavilo, dokler ne dobimo nadomestnega senzorja.

5.2 ANALIZA CILJEV IN SKLEP

Glavni cilj je bilo sestaviti delujočo napravo za približno 100 evrov. Končna cena naprave je bila sicer nekoliko višja (cca. 150 evrov), a je to posledica poenostavljanja uporabe in lažjanja dela s podatki in centraliziranja podatkov. Če bi nas zanimale le vrednosti na senzorjih, bi lahko iz cene izključili omrežno kartico in tako od končne vrednosti odšteli še 20 evrov.

Drug cilj je bilo ustvariti spletno aplikacijo, ki podatke ureja in zapisuje v bazo ter izrisuje grafe. Stran deluje pravilno in celoten projekt dopolnjuje še boljše, kot sem si zamislil. Največji učinek imajo grafi, ki zaradi njihove dinamičnosti in drugih funkcij omogočajo zares enostavno analiziranje podatkov, še posebej na specifičnih intervalih, kot so časi zračenja prostora.

6. SEZNAM LITERATURE

1. Kaj vpliva na kakovost zraka v notranjih prostorih in kakšne so posledice tega [online] ? 2022. [Pridobljeno 17. 3. 2022]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://siol.net/dom/prenova-in-gradnja/kaj-vpliva-na-kakovost-zraka-v-notranjih-prostorih-in-kaksne-so-posledice-tega-568864>
2. Vdihavanje ogljikovega dioksida miselne funkcije zmanjša za 50 % [online]. 2021. [Pridobljeno 17. 3. 2022]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://www.revijazamojezdravje.si/co2-vpliva-na-kognitivne-funkcije-upad-celo-za-polovico/>
3. Air quality in Europe: Vplivi na okolje [online]. 2007. [Pridobljeno 18. 3. 2022]. Dostopno na spletnem naslovu: https://www.airqualitynow.eu/sl/pollution_environmental_problems.php#parag4
4. Vplivi temperature na dobro počutje [online]. [Pridobljeno 18. 3. 2022]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://baumit.si/resitve/zdravo-bivanje/vpliv-temperature-na-dobro-pocutje>
5. Kakovost zraka v zaprtih prostorih [online]. 2014. [Pridobljeno 18. 3. 2022]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://www.eea.europa.eu/sl/eea-signali/signali-2013/clanki/kakovost-zraka-v-zaprtih-prostorih>
6. Zajemi zrak, telo potrebuje kisik [online]! 2017. [Pridobljeno 18. 3. 2022]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://www.abczdravja.si/dihala/zajemi-zrak-telo-potrebuje-kisik/>
7. United States Environmental Protection Agency (EPA). Particulate Matter (PM) Basis [online]. [Pridobljeno 18. 3. 2022]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
8. LAVTAR, Miha. 2014. Zakaj odprtokodni sistemi [online]? [Datum zadnjega popravljanja 14. 2. 2014]. [Pridobljeno 19. 3. 2022]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://www.optiweb.com/sl/blog/zakaj-odprtokodni-sistem/>
9. Kaj je odprtokodna strojna oprema? – definicija iz tehopedije – Strojna oprema – 2022 [online]. 2022. [Pridobljeno 19. 3. 2022]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://sl.theastrologypage.com/open-source-hardware>
10. Odprtokodna programska oprema [online]. 2019. [Pridobljeno 19. 3. 2022]. Dostopno na spletnem naslovu: https://sl.wikipedia.org/wiki/Odprtokodna_programska_oprema
11. What is Arduino [online]? 2013. [Pridobljeno 19. 3. 2022]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://www.ssla.co.uk/arduino/>
12. Advantages and Disadvantages of Using Arduino [online]. 2016. [Pridobljeno dne 19. 3. 2022]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://engineerexperiences.com/advantages-and-disadvantages.html>

13. Kaj je Front End Developer [online]? [Pridobljeno 19. 3. 2022]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://gregag.com/blog/kaj-je-front-end-developer>
14. Microsoft .NET [online]. 2021. [Pridobljeno 19. 3. 2022]. Dostopno na spletnem naslovu: https://sl.wikipedia.org/wiki/Microsoft_.NET
15. ASP.NET : Omogoča hiter in predvsem lažji razvoj dinamičnih spletnih strani [online]. [Pridobljeno 19. 3. 2022]. Dostopno na spletnem naslovu: <https://www.avera.si/tehnologija/asp-net/>
16. SAKSIDA, Črt. 2021. Obrazne maske kot zaščita pred trdnimi delci v zraku: raziskovalna naloga. Dornberk, [Č. Saksida].
17. Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ): Mednarodno sprejeti ukrepi za zagotavljanje kakovosti zraka v notranjih prostorih [pdf]. 2019, Ljubljana. ISBN 978-961-7002-98-0.
18. Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ): Kakovost zraka v notranjih prostorih [pdf]. 2017, Ljubljana. Dostopno na spletnem naslovu: https://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/publikacije-datoteke/inairq_zbornik_2017_kakovost_zraka_v_notranjih_prostorih_koncna.pdf

PRILOGA 1: Koda Arduino

```
#include "Arduino.h"
#include "SCD30.h"
#include "sensirion_common.h"
#include "sgp30.h"
#include "SparkFun_SGP30_Arduino_Library.h"
#include "Seeed_HM330X.h"
#include "SPL.h"
#include "Ethernet.h"

//Ethernet shield
EthernetClient client;
IPAddress server(212,44,113,144);
byte mac[] = { 0xA8, 0x61, 0x0A, 0xAE, 0x39, 0xAB };

//HTTP request
String HTTP_REQUEST = "GET /Pages/Request_Handler?vnesi_meritev=";
String HTTP_QUERRY_VALUES = "";
String HTTP_HOST = "www.kajdiham.si";

//Senzorji
SGP30 sgp_30;
HM330X Dust_Sensor;

//Konstante
uint8_t store[30];
const int Sound_Sensor = A0;
const int O2_Sensor = A1;
const float Voltage = 5.0;

double RHtoAbsolute (float relHumidity, float tempC) {
    double eSat = 6.11 * pow(10.0, (7.5 * tempC / (237.7 + tempC)));
    double vaporPressure = (relHumidity * eSat) / 100; //millibars
    double absHumidity = 1000 * vaporPressure * 100 / ((tempC + 273) * 461.5); //Ideal gas law with unit
    conversions
    return absHumidity;
}

uint16_t doubleToFixedPoint( double number) {
```



```

int power = 1 << 8;
double number2 = number * power;
uint16_t value = floor(number2 + 0.5);
return value;
}

void check_Sensors_Shield()
{
  Dust_Sensor.init();
  scd30.initialize();
  Ethernet.init(10);

  if(sgp_30.begin() == false)
  {
    Serial.println("SQP-30 initialisation failed");
    while (true);
  }
  sgp_30.initAirQuality();

  Serial.println("Initialize Ethernet with DHCP:");
  if (Ethernet.begin(mac) == 0)
  {
    Serial.println("Failed to configure Ethernet using DHCP");
  }
  else
  {
    Serial.print("DHCP assigned IP ");
    Serial.println(Ethernet.localIP());
  }
}

void send_Request()
{
  client.stop();
  if (client.connect(server, 80))
  {
    Serial.print("connected to ");
    Serial.println(client.remoteIP());
    client.println(/*HTTP_METHOD + HTTP_PATH + HTTP_QUERRY_METHOD*/HTTP_REQUEST +
    HTTP_QUERRY_VALUES + (String) " HTTP/1.1");
  }
}

```

```

client.println("Host: "+HTTP_HOST);
client.println("Connection: close");
client.println();
}
else
{
  Serial.println("connection failed");
}
}

void construct_Query()
{
  String query="";

  long sum_sound = 0;
  long sum_O2_VOut = 0;
  for(int i=0; i<32; i++)
  {
    sum_sound += analogRead(Sound_Sensor);
    sum_O2_VOut += analogRead(O2_Sensor);
  }

  sum_sound >>= 5;
  sum_O2_VOut >>=5;

  float MeasuredVout = sum_O2_VOut * (Voltage / 1023.0);
  float Concentration = 100*MeasuredVout * 0.21 / 2.70;

  float result[3] = {0};
  scd30.getCarbonDioxideConcentration(result);
  sgp_30.measureAirQuality();
  Dust_Sensor.read_sensor_value(store, 29);

  uint16_t value = 0;
  char pom;

  float humidity = result[2];
  float temperature = result[1];
  double absHumidity = RHtoAbsolute(humidity, temperature);
  uint16_t sensHumidity = doubleToFixedPoint(absHumidity);

```

```

sgp_30.setHumidity(sensHumidity);

query+=(String)result[2]+"&";
query+=(String)result[1]+"&";
query+=(String)result[0]+"&";
query+=(String)sum_sound+"&";
for (int i = 2; i < 5; i++) {
    value = (uint16_t) store[i * 2] << 8 | store[i * 2+1];
    query+=(String)value+"&";
}
query+=(String)Concentration+"&";
query+=(String)sgp_30.TVOC+"&";
query+=(String)sgp_30.CO2;

HTTP_QUERRY_VALUES=query;
}

void setup()
{
    Wire.begin();
    check_Sensors_Shield();
}

void loop()
{
    construct_Query();
    send_Request();
    delay(2000);
}

```

PRILOGA 2: Koda za sprejem zahtev, 1. del

```
protected void Page_Load(object sender, EventArgs e)
{
    string url = HttpContext.Current.Request.Url.AbsoluteUri;
    string query = url.Split('?')[1];
    string method = query.Split('=')[0];
    string values = query.Split('=')[1];

    if (method == "vnesi_meritev")
    {
        DateTime time = DateTime.Now;

        time = time.AddSeconds(-time.Second);
        time = time.AddMilliseconds(-time.Millisecond);

        Database.Posodobi_Zadnji_request(time);

        if (Database.Je_cas(time))
        {
            string[] vrednosti = values.Split('&');
            Database.Vnesi_Meritev(Database.Vrni_Trenutno_Solo(), time, vrednosti[0],
            vrednosti[1], vrednosti[2], vrednosti[3], vrednosti[4], vrednosti[5],
            vrednosti[6], vrednosti[7], vrednosti[8], vrednosti[9]);
            Database.Posodobi_Zadnji_zapis(time);
        }
    }
}
```

PRILOGA 3: Koda za sprejem zahtev, 2. del

```
public static bool Je_cas(DateTime now)
{
    if (now > Vrni_Zadnji_request().AddMinutes(5))
        Posodobi_Prvi_Sprejem(now.AddMinutes(20));

    if (now < Vrni_Prvi_sprejem())
        return false;

    int razmik;
    if (now.Hour >= 7 && now.Hour <= 14)
        razmik = 5;
    else
        razmik = 20;

    if (now > Vrni_Zadnji_zapis().AddMinutes(razmik))
        return true;

    else
        return false;
}
```

PRILOGA 4: Seznam komponent

- Arduino UNO
- Grove base shield V2.0 for Arduino
- Arduino ethernet shield
- Grove SCD30 CO2, temperature & humidity sensor
- Grove SGP30 VOC and eCO2 Gas Sensor
- Grove MIX8410 O2 sensor
- Grove HM3301 Laser PM2.5 sensor

PRILOGA 5: Primer kode za posodabljanje neke vrednosti 1.

del

```
1 reference
public static void Posodobi_Zadnji_request(DateTime time)
{
    SqlCommand comm = new SqlCommand("Posodobi_Zadnji_request", conn);
    comm.CommandType = CommandType.StoredProcedure;
    comm.Parameters.Add(new SqlParameter("@zadnji_cas", SqlDbType.DateTime)).Value = time;

    conn.Open();
    comm.ExecuteNonQuery();
    conn.Close();
}
```

PRILOGA 6: Primer kode za posodabljanje neke vrednosti 2.

del

```
1 CREATE PROCEDURE [dbo].[Posodobi_Zadnji_request]
2     @zadnji_cas DATETIME
3 AS
4     DELETE FROM Zadnji_request
5     INSERT INTO Zadnji_request VALUES(@zadnji_cas)
6     RETURN 0
```