

Platforma za praćenje kvaliteta vazduha u gradu Čačak

Nikola Kukrić, Božidar Popović, Slobodan Lubura, Zorana Mandić

Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Apstrakt—Izloženost PM2.5 česticama izdvaja se kao vodeći zdravstveni problem na globalnom nivou, a problem zagađenosti vazduha predstavlja jedan od glavnih uzroka smrtnosti na svijetu. Kako ovo predstavlja problem današnjice, zahtjevi da se mjerenje kvaliteta vazduha vrši što češće na što više lokacija, doveli su do razvoja niskobudžetnih senzora. Uz pomoć široko dostupnih senzora grade se senzorski čvorovi, koji pribavljaju podatke o trenutnim koncentracijama suspendovanih čestica, a ovi podaci kroz kasniju analizu dovede do kasne informacije o kvalitetu vazduha preko AQI - indeksa zagađenosti vazduha. U ovom radu osim razvoja senzorskih čvorova, predstavljena je i realizacija jedinstvene web platforme za prikazivanje, arhiviranje i analizu kvaliteta vazduha, čime je realizovan jedinstven i potpun sistem za prikupljanje i obradu podataka o kvalitetu vazduha. Iako je platforma realizovana za područje grada Čačka, gdje je izvršena integracija postojećih senzorskih čvorova sa novo realizovanim čvorovima, može biti prilagođena i drugim geografskim područjima te je široko upotrebljiva.

Cljučne riječi—kvalitet vazduha, suspendovane čestice, PM2.5, PM10

I. UVOD

Kvalitet vazduha je jedan od vodećih problema u mnogim gradovima i ima direktan uticaj na kvalitet života. Izloženost suspendovanim česticama PM10 i PM2.5 (eng. *Particular Matter*) predstavlja jedan od vodećih uzroka smrtnosti u svijetu i prema podacima Svjetska zdravstvena organizacija (eng. *World Health Organization* - WHO) na svjetskom nivou tokom godine dovede do između 4,2 i 8,9 miliona smrtnih slučajeva [1]. Suspendovane čestice su sastavni dio prašine i manje su od 10 μ m (PM10), odnosno 2.5 μ m (PM2.5) te predstavljaju smješu čađi, dima, kiselina, uz prisustvo teških metala, a izloženost PM2.5 česticama je prepoznat kao glavni globalni zdravstveni problem [2]. Podjela na osnovu izvora iz kojih potiču suspendovane čestice data je u Tabeli I, što predstavlja glavni kriterijum pri izboru lokacije senzorskih čvorova koji prate njihovu koncentraciju.

TABELA I
IZVORI PM2.5 ČESTICA [3]

| Izvor | Procentualno (%) |
|--------------------------------|------------------|
| Saobraćaj | 25% |
| Neodređenog ljudskog porijekla | 22% |
| Ogrjev u domaćinstvu | 20% |
| Prirodna prašina i soli | 18% |
| Industrijska djelatnost | 15% |

Dugoročnim praćenjem koncentracije suspendovanih čestica moguće je detektovati u kojim oblastima gradova je najveća koncentracija čestica te djelovati na izvore zagađenja kako bi se smanjenjem koncentracije čestica unaprijedio kvalitet života.

U gradu Čačku su ranije instalirana tri senzorska čvora za mjerenje zagađenosti vazduha, koji nisu bili povezani u jedinstvenu mrežu, niti su informacije o mjerenjima bile dostupne korisnicima tj. građanima. U pitanju su senzorski čvorovi *Davis AirLink®* kompanije *Davis Instruments* [4]. Navedeni senzorski čvorovi mjere količinu suspendovanih čestica PM1.0, PM2.5 i PM10 i u na osnovu njih izračunavaju indeks kvaliteta vazduha (eng. *Air Quality Index* - AQI).

U proteklom periodu, realizacijom projekta prekogranične saradnje „*Transport related Air Pollution and Health impacts in the Čačak city – AIRPOLISCA*“, u decembru 2021. godine [5], ovi senzorski čvorovi su povezani na jedinstven server sa odgovarajućom bazom podataka gdje se čuvaju podaci o izvršenim mjerenjima kvaliteta vazduha, obezbijeđen je domen za Web aplikaciju i kreirana Web aplikacija za prezentaciju podataka. Na taj način, broj građana Čačka koji imaju pristup informacijama o kvalitetu vazduha nije ograničen.

U nastavku aktivnosti vezanih za proširenje mreže senzorskih čvorova za mjerenje kvaliteta vazduha u saradnji sa gradom Čačkom, zaključno sa 08.02.2022. godine postavljeno je osam novih senzorskih čvorova koji će biti predstavljeni u nastavku.

Grad Čačak je pokriven sa senzorskom mrežom od jedanaest senzorskih čvorova za prikupljanje podataka o koncentraciji suspendovanih čestica i pristup podacima u realnom vremenu je omogućen svima preko Web stranice <https://cacak.vazduh.net>.

U nastavku rada, poglavlje II, predstavljen je problem kvaliteta vazduha te standardi i referentne vrijednosti za ocjenu kvaliteta. Poglavlje III daje detaljnu analizu realizovanog senzorskog čvora, a prezentacija prikupljenih podataka je predstavljena u poglavlju IV.

II. KVALITET VAZDUHA

Prema uredbi za monitoring i zahtjevima kvaliteta vazduha [6] kvalitet ambijentalnog vazduha se određuje pomoću koncentracije sumpor dioksida SO₂, azot monoksida NO i azot dioksida NO₂, ozona O₃, ugljen monoksida CO i masene koncentracije PM10 i PM2.5 čestica. Za mjerenje

koncentracije navedenih čestica propisane su referentne metode i standardi koji su dati u Tabeli II.

TABELA II [6]
VRSTE MJERENJA I REFERENTNE METODE

| Vrsta mjerenja | Metode/Specifikacije |
|---|---|
| Koncentracija sumpor dioksida SO ₂ | EN 14212:2013 EN 14212/Cor1:2015 Ultraljubičasta fluorescencija |
| Koncentracija azot monoksida NO i azot dioksida NO ₂ | EN 14211:2013 Hemiluminiscencija |
| Koncentracija ozona O ₃ | EN 14625:2013 Ultraljubičasta fotometrija |
| Koncentracija karbon monoksida CO | EN 14626:2013 Nedisperzivna infracrvena spektroskopija |
| Masena koncentracija PM ₁₀ i PM _{2.5} | EN 12341:2015 Gravimetrijska metoda |

Ministarstvo zaštite životne sredine - Agencija za zaštitu životne sredine Republike Srbije je 2015 pokrenula projekat „Objedinjeni prikaz automatskog monitoringa kvaliteta vazduha u Republici Srbiji“ gdje se prate navedeni parametri [7]. Za ocjenu kvaliteta vazduha korišten je indeks kvaliteta vazduha EAQI (eng. *European Air Quality Index*), koji je 2017. godine usvojila Evropska agencije za životnu sredinu (eng. *European Environment Agency*) zajedno sa Upravom za ekologiju Evropske komisije (*European Commission's Directorate General for Environment*). Pomenuti indeks kvaliteta vazduha prikazan je u Tabeli III.

TABELA III
SKALA ZA OCJENU KVALITETA VAZDUHA

| Oznaka | Zagađivač (satna koncentracija u $\mu\text{g}/\text{m}^3$) | |
|------------------|---|-------------------|
| | PM ₁₀ | PM _{2.5} |
| Odličan | 0 – 25 | 0 – 15 |
| Dobar | 25 – 50 | 15 – 30 |
| Prihvatljiv | 50 – 90 | 30 – 55 |
| Zagađen | 90 – 180 | 55 – 110 |
| Izuzetno zagađen | >180 | >110 |

S obzirom na to da je raspoređivanje i postavljanje akreditovanih stanica sa referentnim metodama za praćenje navedenih parametara vazduha veoma skupo te da najveći problem u gradovima uglavnom predstavljaju PM₁₀ i PM_{2.5} čestice odlučeno je da se realizuju senzorski čvorovi za mjerenje PM₁₀ i PM_{2.5} čestica. Za senzore koji prate koncentraciju suspendovanih čestica korišćeni su nisko budžetni (eng. *low cost*) laserski senzori.

Prema standardu EN 12341:2015 PM česticu su „čestice suspendovane u zraku koje su dovoljno male da mogu proći

kroz otvor za odabir veličine sa 50% efikasnosti pri aerodinamičkom promjeru $x \mu\text{m}$ “ [8]. Referentna metoda je gravimetrijska metoda koja podrazumijeva prikupljanje prašine na uzorku u periodu od 24h te određivanje koncentracije u opsegu od 1 – 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ za PM₁₀ i 1 – 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ za PM_{2.5} čestice.

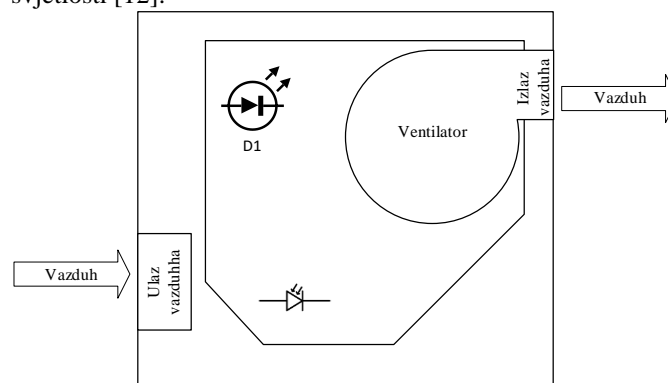
III. SENZORSKI ČVOR

Tokom istraživanja korišćena su tri niskobudžetna laserska senzora i to: SDS011 od proizvođača *Nova Fitness Co.*, PMS5003 i PMS7003 od proizvođača *Beijing Plantower Co., Ltd, China*. Pregled karakteristika senzora dat je u Tabeli IV.

TABELA IV
PREGLED KARAKTERISTIKA POJEDINIH NISKOBUDŽETNIH LASERSKIH SENZORA SUSPENDOVANIH ČESTICA [9,10,11]

| Karakteristika | Senzori | | |
|---|-----------|-------------------------------|-------------------------------|
| | SDS011 | PMS5003 | PM7003 |
| Dimenzije (mm) | 71x70x23 | 50x38x21 | 48x37x20 |
| Napajanje (V) | 4.7~5.3 | 4.5~5.5 | 4.5~5.5 |
| Potrošnja (mA) | 70 ± 10 | <100 | <100 |
| Temperaturni opseg (°C) | -20 ~ +60 | -40 ~ +80 | -40 ~ +80 |
| Opseg mjerenja čestica ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 0 – 999.9 | 0 – 500 efektivno, >1000 maks | 0 – 500 efektivno, >1000 maks |

Navedeni optički senzori mjere intenzitet svjetlosti koja se raspršuje pod uticajem prašine koja se uvlači u senzor. Senzori se sastoje od svjetlosne diode (eng. *Light Emitting Diode* – LED), fotodiode, ventilatora koji uvlači vazduh sa česticama prašine i većeg broja sočiva za fokusiranje snopa svjetlosti [12].



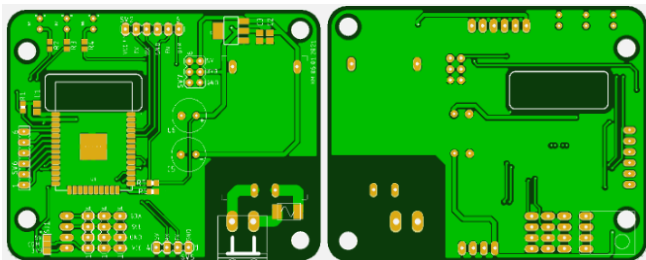
Sl. 1. Struktura optičkog senzora suspendovanih čestica

Prilikom realizacije senzorskog kao najbolji omjer kvalitet/cijena odabran je senzor PMS7003.

Senzorski čvor se sastoji od mikrokontrolerske jedinice, senzora i jedinice za napajanje. Mikrokontroler korišćen u realizaciji senzorskog čvora je ESP-WROOM-32, koji

pomoću *UART* modula komunicira sa PMS7003 senzorom i pomoću *Wi-Fi* modula prenosi očitane podatke sa senzora brzinom do 150 Mbps, sa snagom signala od 20 dB. Za napajanje je korišćen Hi-Link naponski modul. Navedeni modul ima naponsku konverziju sa 90-245 VAC na 5VDC sa maksimalnom izlaznom snagom od 3W [13]. Napon od 5VDC je potreban za napajanje senzora PMS7003. S obzirom da je za napajanje mikrokontrolera potrebno 3.3V korišćen je naponski regulator AMS1117-3.3V koji za ulazni napon u opsegu 4.8VDC – 6.5VDC daje na izlazu 3.3VDC.

Za crtanje šeme i realizaciju štampane ploče korišćeno je programsko okruženje *Eagle*. Izgled štampane ploče senzorskog čvora sa prednje i zadnje strane prikazan je na Sl. 2.



Sl. 2. Izgled štampane ploče senzorskog čvora

Tokom realizacije senzorskog čvora realizovano je kućište u kojem se smještaju pomenute elektronske komponente, koja treba da omogući protok vazduha prema senzoru PMS7003 te da elektronske komponente budu zaštićene od vremenskih uslova. Izgled senzorskog čvora i sastavljene ploče sa senzorom PM10, PM2.5 prikazani su na Sl. 3.



Sl. 3. Izgled senzorskog čvora i sastavljene ploče

Tokom instalacije senzorskog čvora, potrebno je senzoru prosljediti parametre za pristupnu *Wi-Fi* tačku preko kojeg će senzor slati očitane podatke. Za te potrebe kreirana je Android aplikacija *VazduhNet* koja omogućava jednostavno prosljeđivanje pristupnih podataka i praćenje očitavanja sa svih dodatih senzora. Prilikom dodavanja uređaja svakom se dodjeljuje jedinstveni *Token* koji omogućava autorizaciju prilikom slanja podataka, a na osnovu *MAC* adrese i lokacije uređaja radi se autentifikacija senzorskog čvora.

IV. PREZENTACIJA SENZORSKIH OČITANJA

A. Za administraciju senzorskih čvorova i prezentaciju očitanih vrijednosti kreirana je Web aplikacija koju možemo podijeliti na administratorsku i klijentsku.

Administratorska aplikacije je kreirana pomoću *Yii2* okruženja, a njene osnovne funkcionalnosti su: administracija senzorskih čvorova (dodavanje, brisanje, izmjene), prijem

podataka od senzorskih čvorova, obrada podataka, tabelarni prikaz svih očitavanja i generisanje izvještaja koji sadrže očitane podatke. *Yii2*, čiji naziv potiče od kineske riječi *Yii* - "jednostavan i evolucijski", je PHP okvir visokih performansi, baziran na komponentama za brzi razvoj modernih web aplikacija [14]. Komunikacija između senzorskih čvorova i web aplikacije se odvija preko programskog interfejsa aplikacije (eng. *Application Programming Interface* – API). Pristup administratorskoj aplikaciji je dozvoljen samo autentifikovanim korisnicima.

B. Klijentska aplikacija

Klijentska aplikacija je dostupna svim korisnicima i omogućava korisnicima da prate zagađenost vazduha. Prilikom otvaranja Web stranice prvo se prikazuje poruka o trenutnom kvalitetu vazduha na području grada i odgovarajući „emitikon“ u zavisnosti od kvaliteta vazduha. Prikaz kvaliteta u slikovnoj formi sa emotikonima omogućava korisnicima jednostavnije i brže dobijanje informacija. Takođe uz emotikone stoje i preporuke građanima i informacije o uticaju kvaliteta vazduha na zdravlje stanovništva.

Ocene Kvaliteta Vazduha

Saznajte više o uticaju kvaliteta vazduha na zdravlje stanovništva.



Sl. 4. Emotikoni i preporuke građanima u zavisnosti od kvaliteta vazduha

Na stranici je omogućeno mapiranje senzora pomoću biblioteke *Leaflet*. *Leaflet* je vodeća JavaScript biblioteka otvorenog koda za interaktivne mape prilagođene mobilnim uređajima. Težak je samo oko 32KB, i ima sve funkcije za rad sa mapama koje će većini programera biti potrebne, a ako postoji potreba za dodatnim stvarima tu su i razni dodaci i efekti [15]. *Leaflet* je dizajniran za jednostavnu upotrebu, brzinu i kvalitet. Radi lako i efikasno na gotovo svim desktop i mobilnim platformama, postoji i mogućnost ekstenzija sa dosta dodatka. Podaci o mapama koje se koriste su dobijeni od strane *OpenStreetMap* platforme. Svaki senzor na mapi je obojen odgovarajućom bojom u zavisnosti od trenutne zagađenosti. Klikom na jedan od senzora na mapi otvara se novi prozor na kojem se prikazuju detalji kvaliteta vazduha odnosno trenutni kvalitet, tačne koncentracije PM10 i PM2.5 čestica i vrijeme posljednjeg mjerenja, dok klikom na naziv senzora otvorimo grafik kvaliteta vazduha u vremenskom rasponu od montiranja senzora pa do posljednjeg mjerenja. Na dnu Web stranice nalazi se i sumirani grafik kvaliteta vazduha svih senzorskih čvorova i dodatne informacije šta predstavljaju PM10 i PM2.5 čestice. Izgled mape prikazan je na Sl. 5.



Sl. 5. Mapa sa označenim senzorskim čvorovima

V. ZAKLJUČAK

U radu je prezentovan senzorski čvor sa mogućnošću praćenje količine PM10 i PM2.5 čestica. Realizovana je platforma za praćenje, koja omogućava jednostavnu prezentaciju podataka grafički, prikaz na mapi i tabelarno. U narednom periodu je planirano da se dobijena mjerenja upoređuju sa mjerenjima koja su dobijena referentnim metodama i da se odredi koeficijent kalibracije. Takođe, planirano je unapređenje mobilne aplikacije da pomoću lokacije korisnika ispisuje poruku kvaliteta vazduha.

ZAHVALNICA

Zahvaljujemo se gradu Čačak, koji je obezbijedio novčana sredstva za realizaciju projekta praćenja kvaliteta vazduha.

LITERATURA

- [1] OECD, The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution, 2016 dostupno na: <https://www.oecd.org/env/the-economic-consequences-of-outdoor-air-pollution-9789264257474-en.htm>.
- [2] Richard Burnett, Hong Chen, Mieczyslaw Szyszkowicz, i drugi, *Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter*, 115 (38) 9592-9597, 2018.
- [3] Bulot, F.M.J., Johnston, S.J., Basford, P.J. i drugi. *Long-term field comparison of multiple low-cost particulate matter sensors in an outdoor urban environment*. Sci Rep 9, 7497 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43716-3J>
- [4] Davis AirLink® Quality Monitor, Davis Instruments, dostupno na <https://www.davisinstruments.com/pages/airlink>.

- [5] Rezultati projekta prekogranične saradnje, <https://banjaluka.net/na-elektrotehnickom-fakultetu-predstavljani-rezultati-projekta-prekograncne-saradnje/>.
- [6] Službeni glasnik Republike Srbije br. 11/2010, 75/2010 i 63/2013
- [7] Objedinjeni prikaz automatskog monitoringa kvaliteta vazduha u Republici Srbiji, <http://www.amskv.sepa.gov.rs/>
- [8] Ambijentni zrak – Standardna gravimetrijska metoda za određivanje masene koncentracije PM10 ili PM2.5 u suspendovanoj čestičnoj tvari (EN 12341:2014)
- [9] Laser PM2.5 Sensor specivation SDS011, <https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/X200/SDS011-DATASHEET.pdf>
- [10] Digital universal particle concentration sensor PMS5003, https://aqmd.gov/docs/default-source/aq-spec/resources-page/plantower-pms5003-manual_v2-3.pdf
- [11] Digital universal particle concentration sensor PMS7003, https://download.kamami.pl/p564008-PMS7003%20series%20data%20manua_English_V2.5.pdf
- [12] Marek Badura, Piotr Batog, Anetta Drzeniecka-Osiadacz, Piotr Modzel, *Optical particulate matter sensors in PM2.5 measurements in atmospheric air*, 2018, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184400006>
- [13] 3W Ultra-small PowerModule PM03/PM01/PM09/PM12, Hi-Link, https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/1909111105_HI-LINK-HLK-PM24_C399250.pdf
- [14] Yii2 dokumentacija, <https://www.yiiframework.com/doc/guide/2.0/en>
- [15] Leaflet dokumentacija, <https://leafletjs.com/reference.html>

ABSTRACT

PM2.5 exposure stands out as a leading health problem globally while the problem of air pollution is one of the leading causes of death in the world. Due to the poor air quality, the requirement for frequent measures in as many locations as possible has led to the development of low-cost sensors. Sensor nodes are being developed by utilizing widely accessible sensors, their use is to acquire the current concentration of particle matters. This raw data is later processed and used to calculate the air quality index – AQI. This paper presents the development of sensor nodes, as well as the development of a unique web platform. The web platform is equipped with a graphic representation of the date and history of archived data that had been collected. While this platform has been developed for the city of Čačak, it can be adapted to other geographical areas and it can be broadly used.

Air Quality Monitoring Platform in the City of Čačak

Nikola Kukrić, Božidar Popović, Slobodan Lubura,
Zorana Mandić