

REALIZACIJA PRENOSIVOG UREĐAJA ZA MERENJE ZAGAĐENOSTI VAZDUHA ZASNOVANOG NA „PYCOM“ KONTROLERU I „BLE“ PRENOSU PODATAKA**REALIZATION OF PORTABLE AIR POLLUTION MEASURING DEVICE BASED ON "PYCOM" CONTROLLER AND "BLE" DATA TRANSFER**Nemanja Cvetković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MEHATRONIKA**

Kratak sadržaj – U ovom radu predstavljen je razvoj sistema za merenje zagađenosti vazduha čiji se rad zasniva na „Pycom“ kontroleru. Sistem se sastoji Pycom kontrolera koji upravlja logikom sistema za merenje zagađenosti vazduha, elektrohemijskih senzora za merenje ugljen-monoksida i azot-dioksida i senzora za merenje temperature, vlažnosti vazduha i pritiska. Dobijene vrednosti sa senzora se prikazuju na Android aplikaciji koja je razvijena u tu svrhu.

Ključne reči: Pycom kontroler, Elektrohemijski senzori, zagađenost vazduha, Android aplikacija.

Abstract – This paper presents the development of a system for measuring air pollution based on the Pycom controller. The system consists of a Pycom controller that controls the logic of the air pollution measurement system and electrochemical sensors for measuring carbon-monoxide (CO) and nitrogen-dioxide (NO₂), temperature sensors, air humidity and pressure. The values obtained from the sensors are displayed on an Android application developed for this purpose.

Keywords: Pycom controller, electrochemical sensors, air pollution, Android application.

1. UVOD

Jedan od najvećih problema savremenog sveta jeste zagađenost životne sredine. Svesni smo da održavanje i kvalitet uslova zaštite životne sredine nije na zadovoljavajućem nivou i da lošim i kontinualnim dejstvima dovodimo do sve većeg broja izumiranja biljnog i životinjskog sveta, klimatskih promena i sve težih uslova života na planeti.

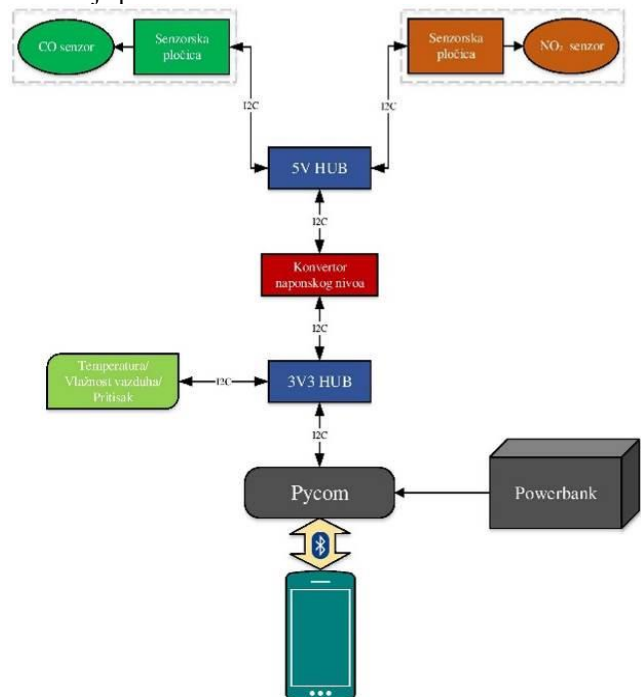
Implementacija raznih prečišćivača je u najvećem broju slučajeva ekonomski neisplativa i preduzeća često imaju minimalnu ili nikakvu zaštitu životne okoline. Međutim, poslednjih godina životna sredina u velikom broju slučajeva odgovara na čovekovo neadekvatno ophođenje, pa se stvaraju nepogodni efekti po čoveka.

Iz tog razloga sve više pažnje se posvećuje zaštiti životnog prostora što svedoče brojne svetske konferencije i standardi koji su doneseni u poslednje vreme.

Tema ovog rada jeste razvoj i testiranje uređaja niske potrošnje koji ima zadatak da meri koncentraciju ugljen-monoksida (CO) i azot-dioksida (NO₂) pri izmerenim vrednostima temperature, vlažnosti vazduha i pritiska. Rezultati ovih merenja se prikazuju na Android aplikaciji čiji se sadržaj svaki minut osvežava novim vrednostima. Cilj projekta jeste dobijanje prenosivog, jednostavnog i funkcionalnog uređaja koji efikasno meri pomenute vrednosti, koje se kasnije prikazuju na Android aplikaciji kako bi korisnik imao što jednostavniji pregled dobijenih vrednosti. Sva istraživanja i testiranja u okviru ovog rada su vršena u firmi *DunavNet* iz Novog Sada, u period od juna do septembra 2018.

2. ANALIZA PROBLEMA

Osnovni problem koji je trebalo rešiti je očitavanje vrednosti sa senzora i prosleđivanje istih na aplikaciju. Sistem se zasniva na integraciji senzora za merenje ugljen-monoksida (CO), azot-dioksida (NO₂) i senzora koji meri temperaturu, vlažnost vazduha i pritisak sa Pycom kontrolerom. Informacije sa senzora se preko I²C magistrale prenose na kontroler gde se vrši njihova obrada. Na kraju se obrađene informacije prenose preko BLE (*Bluetooth Low Energy*) na aplikaciju i prikazuju u određenom formatu. Blok dijagram sistema je prikazan na slici 1.



Slika 1. Blok dijagram Sistema

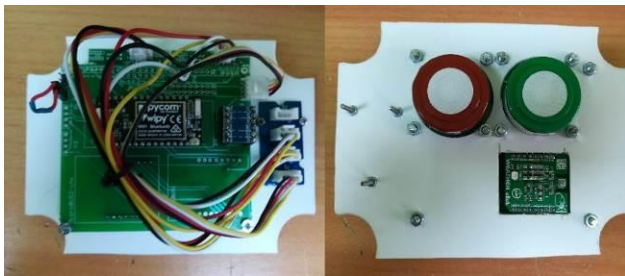
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Rajs, docent.

3. HARDVERSKA REALIZACIJA UREĐAJA

U okviru projekta korišćen je *Pycom* kontroler [1]. Odbran je iz razloga što mu je potrošnja mala, a najviše zbog *BLE* prenosa podataka. *Pycom* kontroler predstavlja sledeću generaciju „internet stvari“ (eng. *Internet of Things - IoT*) uređaja koji se bazira na korišćenju brzog mikrokontrolera sa skriptnim jezikom *MicroPython*. Osnovna namena ovog kontrolera je da omogući programerima realizaciju uređaja koji se povezuju na internet, pri čemu je brzina ključna. Ovi kontroleri se proizvode u nekoliko izvedbi u zavisnosti od komunikacija koje podržavaju. *WiFi*, *Bluetooth*, *LoRa*, *Sigfox*, *NB-IoT* su komunikacije koje *Pycom* kontroler podržava [1].

Za realizaciju projekta je potreban samo BLE pa se iz tog razloga koristi *Pycom WiPy 3.0* kontroler [1]. Princip rada sistema se zasniva na povezivanju senzora na jednu *I²C* magistralu. Senzori za merenje *CO* i *NO₂* se direktno povezuju na magistralu, dok *Weather Click* (senzor za merenje temperature, vlažnosti vazduha i pritiska) [2] mora biti u kombinaciji sa konvertorom naponskog nivoa pri čemu se napon od 3,3V pomera na 5V. Kontroler zahteva merenje sa senzora, po redu koji je definisan u programskom kodu, navodeći pri tome adresu senzora sa kojeg pristize trenutna informacija. Merenje se vrši na dva kanala preko radne i pomoćne elektrode, nakon dobijanja izmerenih vrednosti se vrši kalibracija. Kalibrisane vrednosti se upisuju na karakteristiku *GATT* severa čime se omogućava slanje na *Android* aplikaciju. Hardverska struktura uređaja je koncipirana tako da zauzme što manje prostora na štampanoj ploči kako bi uređaj bio što manji i kompaktniji. Takođe, smanjenjem štampane ploče dobijamo kvalitetniji signal sa manje šuma, čime se mnogo olakšava sama obrada tog signala. Slika 2.1 prikazuje izgled hardverske konfiguracije uređaja, dok slika 2.2 prikazuje finalni izgled, kada je uređaj spreman za upotrebu.



Slika 2.1 Izgled hardverske konfiguracije



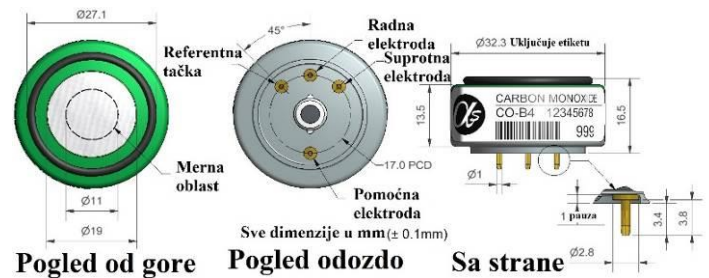
Slika 2.2 Finalni izgled uređaja

4. ELEKTROHEMIJSKI SENZORI

Senzori za kvalitet vazduha sa četiri elektrode proizvođača „*Alphasense*“ [3] su namenjeni za upotrebu u mrežama za kvalitet vazduha gde je potrebna veoma precizna detekcija. Veliko senzorsko pojačanje, kompezacija četvrtom elektrodom, napredna filtriranja i elektrode optimizovane za dugotrajnu ponovljivost obezbeđuju potrebnu osetljivost, selektivnost i stabilnost. U okviru ovog projekta korišćeni su senzori za merenje ugljen-monoksida (*CO*) i azot-dioksida (*NO₂*). Ovi senzori su skoro identični, razlika je samo u vrsti gasa koja se meri. Na slici 3.1 je prikazan šematski prikaz *NO₂* senzora, dok je na slici 3.2 prikazan šematski prikaz *CO* senzora.

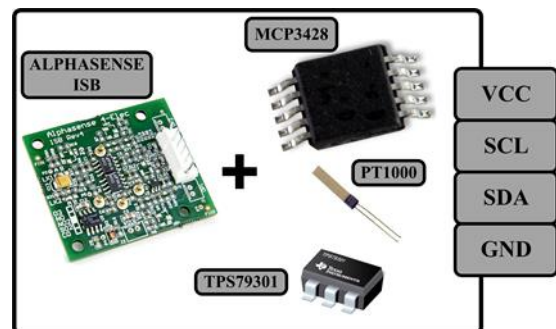


Slika 3.1 Šematski prikaz *NO₂* senzora



Slika 3.2 Šematski prikaz *CO* senzora

Performanse *NO₂* senzora su testirane na *Alphasense ISB* [3] niskošumnom elektronskom kolu i prilikom testa su utvrđene sledeće karakteristike: osetljivost senzora je u opsegu od -200 do -650 μm , vreme odziva je manje od 60 s, greška linearnosti je $\pm 0,5$ i opseg merenja do 20 m. Performanse *CO* senzora su testirane na *Alphasense ISB* niskošumnom elektronskom kolu i prilikom testa su utvrđene sledeće karakteristike: osetljivost senzora je u opsegu od 420 do -650 μm , vreme odziva je manje od 25 s, greška linearnosti je $\pm 0,5$ i opseg merenja do 100 m. Elektrohemijski senzori idu u kombinaciji sa senzorskim pločicama, koje su identične za ova dva senzora. Senzorske pločice koje se koriste su *EB800 ISB* [3] čiji je zadatak smanjenje šuma i povećanje upotrebljivosti senzora. Slika 3.3 prikazuje strukturu senzorske ploče.



Slika 3.3 Struktura senzorske ploče

4.1 Kalibracija senzora

Kalibracija senzora je neophoda za dobijanje što veće preciznosti senzora i prikazivanje što vernijih rezultata merenja. Postupak kalibracije gasnih *Alphasense* senzora se sastoji iz nekoliko koraka. Prvi korak se sastoji iz određivanja vrednosti neutralnog nivoa (eng. *offset*) pomoću štampane ploče.

Ovaj podatak se direktno dobija od firme koja proizvodi senzore, a to je "*Alphasense*" [3]. U tabeli 1.1 *NO2_W_O* označava neutralni nivo na radnoj elektrodi senzora za merenje *NO2*, dok *NO2_A_O* označava neutralni nivo na pomoćnoj elektrodi. Isti princip označavanja je i za senzor za merenje *CO*.

Tabela 1.1 Vrednosti ofseta *NO2* i *CO* senzora

Oznaka	Vrednost ofseta
<i>NO2_W_O</i>	3942.454545
<i>NO2_A_O</i>	3661
<i>CO_W_O</i>	5238.222222
<i>CO_A_O</i>	5420

Sledeći korak podrazumeva merenje struje i napona na radnoj i pomoćnoj elektrodi. Nakon dobijanja izmerenih vrednosti na elektrodama, treba ustanoviti kompenzacioni faktor radne temperature koji se množi sa vrednosti koja je dobijena na pomoćnoj elektrodi.

Iz iskustvenih i praktičnih znanja su ustanovljene konstante vrednosti za kompenzacioni faktor radne temperature. Tabela 1.2 prikazuje vrednosti kompenzacionog faktora radne temperature za senzore *NO2* i *CO*.

Tabela 1.2 Vrednosti kompenzacionog faktora radne temperature

Oznaka	Faktor radne temperature
<i>tempNO2</i>	0.76
<i>tempCO</i>	1

Postupak kalibracije za senzor *CO* je potpuno identičan sa postupkom kalibracije *NO2* senzora.

5. SOFTVERSKA REALIZACIJA UREĐAJA

Programski kod se sastoji iz dela za očitavanje vrednosti sa senzora i dela za slanje vrednosti na *Android* aplikaciju. Zadatak ovog uređaja je da izmerene vrednosti temperature, vlažnosti vazduha, pritiska, ugljen-monoksida (*CO*) i azot-dioksida (*NO2*) prosledi na *Android* aplikaciju na kojoj se korisnik pretplati na određene karakteristike koje hoće da meri. Slika 5.1 prikazuje algoritam programskog koda.

U tabeli 1.2 *tempNO2* prikazuje kompenzacioni faktor radne temperature za *NO2* senzor, dok *tempCO* prikazuje kompenzacioni faktor radne temperature za *CO* senzor. Kompenzacioni faktor radne temperature se množi sa izmerenom vrednosti na pomoćnoj elektrodi (*aeNO2*). Razlika između izmerene vrednosti na radnoj elektrodi (*weNO2*) i neutralnog nivoa daje korigovanu vrednost (*CorrectedValue*) na radnoj elektrodi koja je linearno zavisna od koncentracije gasa. Isto važi i za pomoćnu elektrodu, samo što je dodat i kompenzacioni faktor radne temperature. Formula (1) prikazuje korigovanu vrednost.

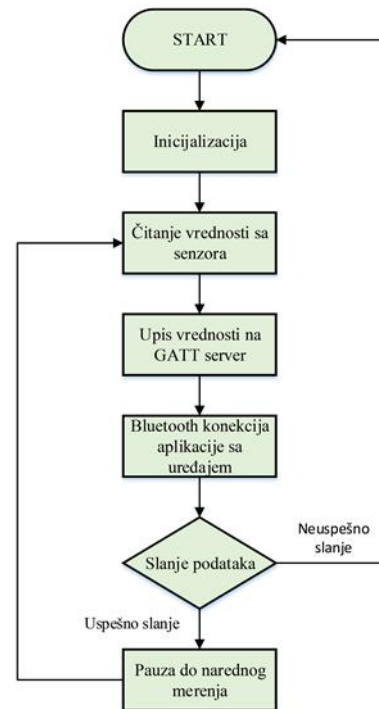
$$\text{CorrectedValue} = \text{weNO2} - \text{NO2_W_O} - \text{tempNO2} \cdot \text{aeNO2} + \text{NO2_A_O} \quad [1]$$

Ovu korigovanu vrednost je potrebno pomnožiti sa rezolucijom *AD* konvertora (*ADC_STEP*) koja u ovom slučaju iznosi 62.5 μV . Formula (2) prikazuje vrednost nakon množenja korigovane vrednosti sa rezolucijom *AD* konvertora (*ValueWithADC*).

$$\text{ValueWithADC} = \text{CorrectedValue} \cdot \text{ADC_STEP} \quad [2]$$

Zbog konstantnih parametara za neutralni nivo i kompenzacioni faktor radne temperature može se desiti da se dobije negativna krajnja vrednost. Da bi se to sprečilo, uzeta je apsolutna vrednost. Formula (3) predstavlja krajnju kalibracionu formulu senzora *NO2*.

$$\text{ValueNO2} = \|\text{ValueWithADC}\| \quad [3]$$



Slika 5.1. Algoritam programskog koda

Pokretanjem uređaja pokreće se i programski kod u njemu. Nakon pokretanja vrši se inicijalizacija svih vrednosti unutar programa. Naredni korak je očitavanje izmerenih vrednosti sa senzora koje se u sledećem koraku upisuju na *GATT* server (detaljno objašnjen u nastavku) koji omogućava slanje podataka na *Android* aplikaciju kada se korisnik pretplati na određenu karakteristiku. Nakon konektovanja *Android* aplikacije sa uređajem vrši se slanje podataka na aplikaciju na čijem terminalu se prikazuju. Ukoliko je slanje neuspešno uređaj se resetuje i programski kod se ponovo pokreće. Pored navedenih vrednosti koje se prikazuju na aplikaciji, ostavljena je mogućnost dodavanja novih senzora za buduće unapređenje projekta. Nakon slanja vrednosti na aplikaciju, kontroler ulazi u *sleep mode* u trajanju od 38 s. Merenje svake izmerene veličine između dva susedna merenja traje 22 s.

5.1 GATT server

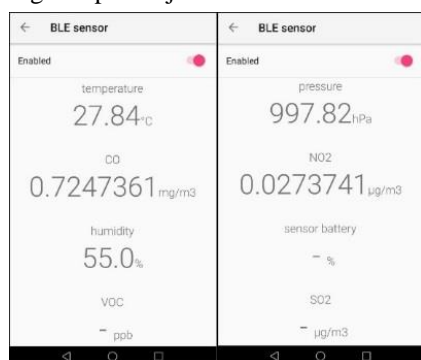
GATT [1] označava generički profil atributa i definiše način na koji dva *Bluetooth Low Energy* uređaja komuniciraju koristeći pojmove usluge (*services*) i karakteristike (*characteristics*). Koristi protokol podataka poznat kao *ATT*, koji se koristi za čuvanje i upravljanje uslugama, karakteristikama i sličnim podacima u *lookup* tabelama.

GATT se koristi kada se uspostavlja veza između dva uređaja, što znači da će uređaj već proći kroz proces reklamiranja kojim upravlja *GAP (Generic Attribute Profile)* [1]. Ova veza je ekskluzivna, tj. samo jedan klijent može biti povezan na jedan server istovremeno što znači da se reklamiranje prekida kada se veza prekine. *GATT* server takođe dozvoljava uređaju da deluje kao periferna jedinica i drži svoje *ATT lookup* [1] podatke, definicije severa i karakteristika. U ovom režimu uređaj deluje kao slave i master mora pokrenuti zahtev. U okviru ovog projekta korišćen je ovakav vid servera, gde se čeka zahtev sa *Android* aplikacije za čitanje izmerenih vrednosti.

Korisnik aplikacije se pretplati na karakteristike za koje želi da dobije vrednosti merenja. Kontroler izmerene vrednosti smešta u karakteristiku *GATT* servera nakon čega se to manifestuje na aplikaciji.

6. APLIKACIJA

Sastavni deo ovog projekta sačinjava *Android* aplikacija čije programiranje i dizajn ne spada u rešavanje ovog zadatka, nego samo njeno korišćenje i prilagođavanje uređaja da radi u skladu sa istom. Aplikacija je napravljena da se preko *BLE* poveže sa uređajem i iščitava vrednosti sa senzora putem *GATT* servera. Slika 6. prikazuje izgled aplikacije sa vrednostima



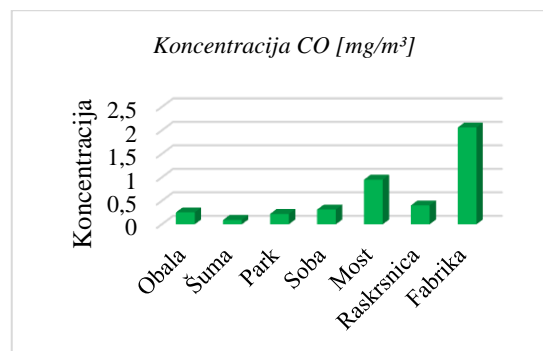
Slika 6. Izgled aplikacije sa vrednostima

7. TESTIRANJE

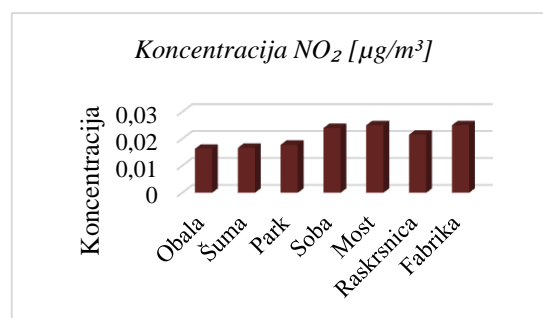
Testiranje aplikacije se zasniva na merenju već pomenutih veličina pri određenoj temperaturi, vlažnosti vazduha i pritisku.

Aparatura za merenje se sastoji iz jednog uređaja za merenje zagađenosti vazduha, *Power Bank* izvora napajanja i mobilnog uređaja na kojem se nalazi instalirana *Android* aplikacija.

Postupak merenja se zasniva na uključivanju uređaja u *Power Bank*. Neophodno je sačekati nekoliko sekundi da se uređaj stabilizuje. Nakon toga, pomoću mobilnog uređaja se preko *Android* aplikacije i *BLE* izvrši konekcija na uređaj. Nakon uspešne konekcije sačekati da se izvrši merenje sa senzora i podaci ažuriraju u aplikaciji. Nakon toga, ciklus merenja se periodično ponavlja na svaki minut, čime se sadržaj *Android* aplikacije osvežava novim vrednostima sa pomenutih senzora. Merenje se vrši u više prolaza, gde svaki prolaz podrazumeva merenje vrednosti na mestu koje je drugačije od prethodnog da bi se dobila jasnija slika o dobijenim vrednostima. Dijagrami na slikama 7.1 i 7.2 prikazuju koncentracije *CO* i *NO₂* gasova u vazduhu.



Slika 7.1 Koncentracija *CO* gasa u vazduhu



Slika 7.2 Koncentracija *NO₂* gasa u vazduhu

8. ZAKLJUČAK

Projekat je uspešno realizovan što je potvrdilo testiranje uređaja. Doneseni su i glavni zaključci u vezi sa projektom, a to su: potrebno je veoma precizno projektovanje iz razloga što su senzori veoma osetljivi, prihvatljive dimenzije kako bih uređaj mogao da se spakuje u torbicu, smisleno programiranje kako bi uređaj radio sa što manjom potrošnjom energije i kompaktna realizacija koja obezbeđuje pogodan raspored komponenti.

Ostavljena je i mogućnost unapređenja projekta, čime bi dobio na univerzalnosti i povećanom broju aplikacija za korišćenje.

9. LITERATURA

- [1] Internet sajt, „*Pycom-Next Generation Internet of Things Platform*“, <https://pycom.io/>, (avgust 2018.)
- [2] Internet sajt, „*Weather Click*“ <https://www.mikroe.com/weather-click>, (avgust 2018.)
- [3] Internet sajt, „*Alphasense/The Sensor Technology Company*“, <http://www.alphasense.com/index.php/-safety/> (avgust 2018.)

Kratka biografija:



Nemanja Cvetković rođen je u Sremskoj Mitrovici 1994. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronike odbranio je 2017.god. Oblasti interesovanja su mu embeded sistemi, obrada signala i internet stvari.