

Laboratorijski prototip bežičnog senzorskog sistema za nadzor parametara kvaliteta vazduha

Srđan Ajkalo, Goran Stojanović

Departman za energetiku, elektroniku i telekomunikacije
Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu
Novi Sad, Srbija
ajkalos@uns.ac.rs

Sadržaj — **Pozitivan trend tehnološkog razvoja doprineo je poboljšanju ukupnog kvaliteta života ljudi. Brojna naučno-tehnološka dostignuća u proteklom periodu znatno su olakšala svakodnevni život, komunikaciju i proizvodnju. Sa druge strane, svedoci smo i velikog negativnog uticaja tehnološkog razvoja na životnu sredinu. Kvalitet vazduha jedan je od parametara koji se svakako može povezati i sa ukupnim kvalitetom života čoveka, jer može imati presudan uticaj na njegovo zdravlje i aktivnosti. U ovom radu je opisan laboratorijski prototipni sistem za nadzor pojedinih parametara kvaliteta vazduha. Realizovana je ZigBee bežična senzorska mreža koja omogućava praćenje i upozoravanje operatera sistema ukoliko je neki od nadgledanih parametara kvaliteta vazduha van dozvoljenog definisanog vrednosnog opsega.**

Ključne riječi-kvalitet vazduha; elektrohemijski senzor; senzor gasa; bežična senzorska mreža; (key words)

I. UVOD

Zagađenje životne okoline, a samim tim i kvalitet vazduha u naseljenim područjima je svakako jedan od problema koji u današnje vreme zavređuju veliku pažnju i kojima su posvećene brojne studije. Ovaj problem je davno prepoznat i od strane Evropske unije (EU) i ulažu se velika finansijska sredstva i naponi kako bi se negativne posledice industrijalizacije, ali i drugih zagađivača životne sredine svele na minimum uz održanje postojećeg trenda razvoja. Veliki uticaj zagađenja vazduha na zdravlje ljudi potvrđuje i činjenica da se prosečan životni vek stanovništva u zemljama EU umanjio u proseku za oko osam meseci do dve godine u najzagađenijim gradovima i regionima. Parametri kojima se može definisati kvalitet vazduha između ostalih su sumpor dioksid SO₂, azot dioksid NO₂, ozon O₃ i aerosolna zagađenja [1].

Nakon industrijske revolucije sagorevanje fosilnih goriva u znatnoj meri iz godine u godinu povećava koncentraciju ugljen dioksida koji je glavni uzrok globalnog zagrevanja. Iz tog razloga je veoma značajno utvrditi vremenske i prostorne promene koncentracije ovog gasa [2].

Za potrebe kvantitativne i kvalitativne analize LTCC (*Low Temperature Co-fired Ceramics*) senzora i IR-UWB (*Impulse-Radio Ultra-Wide Band*) transivera koji će biti razvijeni kao deo FP7 projekta *Low-cost and energy-efficient LTCC sensor/IR-UWB transceiver solutions for sustainable healthy environment* – SENSEIVER, započet je rad na razvoju

akvizicionog sistema za nadzor parametara životne sredine koji je u daljem tekstu detaljnije opisan.

II. KRATAK OPIS REALIZOVANOG SISTEMA

Laboratorijski prototip bežičnog senzorskog sistema za nadzor parametara kvaliteta vazduha je realizovan korišćenjem komercijalnih senzora gasa britanske kompanije *Alphasense Ltd*. Pri izboru senzora posebna pažnja je posvećena relevantnosti senzora u pogledu ukupnog stanja kvaliteta vazduha [1], ali i zastupljenosti različiti tipova elektrohemijskih senzora koji se danas mogu naći na tržištu u cilju objedinjavanja svih neophodnih senzorskih interfejsnih elektronskih kola. Na taj način, u ovom laboratorijskom prototipu ispitano je ponašanje različitih interfejsnih konfiguracija i omogućeno jednostavnije proširenje sistema neophodnim senzorima za različite gasove u njegovim budućim verzijama.

Realizovani bežični senzorski sistem sastoji se od ukupno tri modula koji imaju specifične uloge, kako u akvizicionom sistemu, tako i u realizovanoj *ZigBee* mreži:

1) *ZigBee* koordinator: formira koren mreže i preko njega se može ostvariti veza ka drugim *ZigBee* mrežama. Kako je mreža inicirana od strane ovog uređaja, u jednoj *ZigBee* mreži može postojati samo jedan *ZigBee* koordinator.

2) *ZigBee* ruter: ponaša se kao posrednik u komunikaciji *ZigBee* koordinatora i ostalih uređaja na mreži. Postoje dva rutera za komunikaciju sa senzorskim čvorovima – jedan od rutera koristi prenosni (*hand-held*) modul, dok je drugi ruter putem USB (*Universal Serial Bus*) serijske veze povezan na personalni računar na kom se izvršava aplikacija *Environmental sensors acquisition system terminal* – grafički korisnički interfejs (GUI) za akviziciju podataka koncentracija izmerenih na pojedinim senzorima na senzorskom čvoru, skladištenje podataka merenja, izračunavanja i grafički prikaz u vidu grafika.

3) *ZigBee* senzorski čvor: poseduje dovoljnu funkcionalnost koja mu omogućava komunikaciju sa nadređenim čvorom (bilo koordinatorom ili ruterom) po njihovom upitu. Povremeno pribavljanje podataka merenja je omogućilo da senzorski čvor bude u režimu uštede energije veći deo vremena, na koji način se produžava autonomija ovog

baterijski napajanoj modula. Takođe, u ovom modulu je pored komunikacionog dela implementiran i merni deo za akviziciju sa senzorskih elektronskih interfejsnih kola putem A/D konvertora mikrokontrolera komunikacionog modula.

Na slici 1 data je principijelna shema ZigBee mreže i modula realizovanog sistema.



Slika 1. Moduli realizovanog sistema

III. KORIŠĆENI SENZORI I ELEKTRONSKA INTERFEJSNA KOLA BEŽIČNOG SENZORSKOG ČVORA

Merenje koncentracije gasova može se izvršiti sensorima koji rade na različitim principima: optičkim, katalitičkim i poluprovodničkim [3], [4].

U realizovanom sistemu korišćena su ukupno četiri različita *Alphasense Ltd.* elektrohemijska senzora gasa (ugljen dioksid – CO₂, kiseonik – O₂, sumpor dioksid – SO₂ i azot dioksid – NO₂), realizovanih kao poluprovodnički, metal-vazduh i troelektrodni senzori. Poslednja tri senzora mogu se svrstati u senzore koji rade na katalitičkom principu. Tehničke skice korišćenih senzora date su na slici 3 levo.

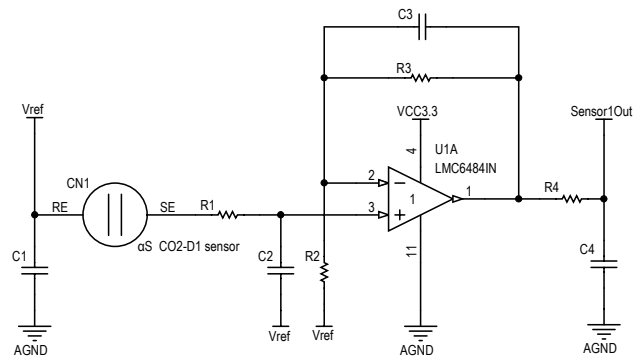
A. Senzor ugljen dioksida – *Alphasense CO₂-D1*

CO₂-D1 je poluprovodnički potencimetrijski senzor gasa realizovan korišćenjem soli srebra. Senzor na svom izlazu generiše signal reda mV, a odziv senzora na promenu koncentracije gasa je približno linearan u odnosu na logaritamsku promenu koncentracije (6 do 10 mV po dekadi promene koncentracije gasa) [5]. U paleti CO₂ senzora kompanije *Alphasense Ltd.* postoji i precizniji senzor izrađen u drugoj tehnologiji (optoelektronski senzor) kao što je NDIR (*Nondispersive Infra Red*) CO₂ senzor. Njegov elektronski interfejs troši znatno veću energiju od interfejsa poluprovodničkog senzora umanjujući tako ukupnu autonomiju baterijski napajanoj sistema kao što je bežični senzorski čvor, pa u ovoj izvedbi nije korišćen.

Na slici 2 dato je interfejsno elektronsko kolo predmetnog senzora realizovano pomoću LMC6484IN (CMOS *Quad Rail-to-Rail OP*).

Napon virtualne mase (V_{ref}) realizovan je takođe preko jednog od slobodnih operacionih pojačavača unutar LMC6484IN kako bi se omogućila promena izlaznog napona u pozitivnu i negativnu stranu (*output voltage swing*) jednostruko

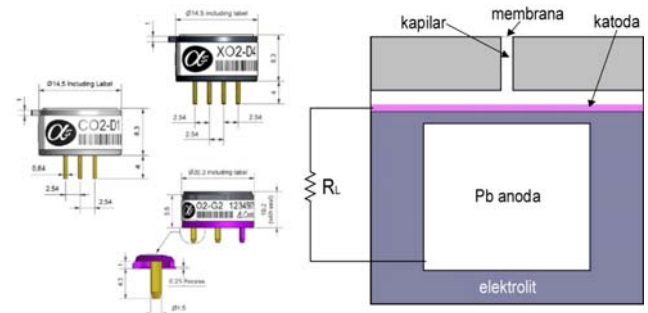
napajanoj operacionog pojačavača u kolu elektronskog interfejsa senzora.



Slika 2. Elektronsko interfejsno kolo CO₂-D1 senzora

B. Senzor kiseonika – *Alphasense O₂-G2*

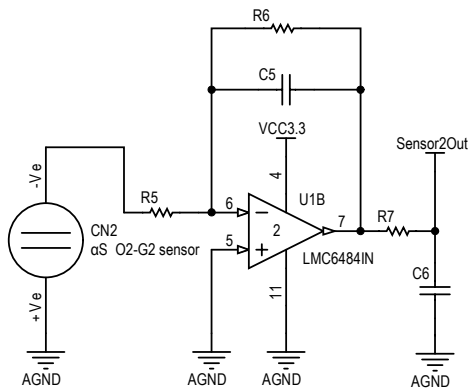
Alphasense O₂-G2 senzor kiseonika radi na principu metal-vazduh baterije. Kao i kod baterije, neophodne su katoda, anoda i elektrolit, ali za razliku od nje, potrebno je kontrolisati dovod kiseonika prema katodi putem kapilara. Ovaj princip prikazan je na shemi poprečnog preseka senzora zajedno sa opterećenim otpornikom – slika 3 desno. Kiseonik u kontaktu sa katodom redukuje se u hidrosil jon, dok se na anodi odvija oksidacija olova čime se sistem dovodi u ravnotežno stanje [6], [7].



Slika 3. Tehničke skice Alphasense senzora i shema poprečnog preseka senzora kiseonika O₂-G2

Alphasense senzori kiseonika generišu struju koja je proporcionalna potrošnji kiseonika u skladu sa prvim Faradejevim zakonom elektrolize, tj. masa supstance koja se izdvoji na elektrodi u toku procesa elektrolize, direktno je proporcionalna količini elektriciteta koja protekne kroz elektrolit. Postavljanjem otpornika (R_L) između katode i anode lako je izmeriti struju koju senzor generiše merenjem rezultantnog pada napona na otporniku. Tipične vrednosti otpornosti otpornika su po specifikaciji proizvođača između 10 i 100 Ω – mala otpornost rezultuje malim padom napona koji je teže meriti, dok velika otpornost uzrokuje veći napon između anode i katode koji može izazvati neželjene dodatne reakcije. Tipična vrednost struje koju generiše senzor na temperaturi 22°C iznosi 30 do 42 μA pri koncentraciji kiseonika od 20,9%.

Na slici 4 prikazano je elektronsko interfejsno kolo senzora kiseonika. Kolo je realizovano kao transimpedansni pojačavač sa odgovarajućim opterećenim otpornikom R₅ otpornosti 33 Ω.



Slika 4. Elektronsko interfejsno kolo O₂-G2 senzora

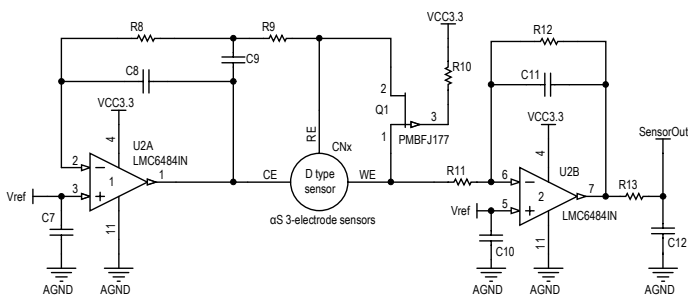
C. Senzori sumpor dioksida i azot dioksida – Alphasense SO₂-D4 i NO₂-D4

Alphasense SO₂-D4 i NO₂-D4 spadaju u klasu troelektrodnih elektrohemijskih senzora koji rade na principu interakcije gasa, koji difunduje kroz membranu senzora, sa njegovom radnom elektrodom (*working electrode* – WE) [8], [9].

Preko referentne elektrode (*reference electrode* – RE) omogućena je povratna sprega kako bi se zadržao konstantan potencijal u odnosu na radnu elektrodu, menjajući napon na brojačkoj elektrodi (*counter electrode* – CE).

Smer struje na WE priključku senzora zavisi od toga da li je reakcija koja se odvija u senzoru reakcija oksidacije ili redukcije ciljnog gasa. U slučaju sumpor dioksida dolazi do oksidacije, pa struja uvire u radnu elektrodu, dok kod senzora azot dioksida struja ima obrnuti smer (izvire iz WE), s obzirom da u tom slučaju nastupa redukcija ciljnog gasa.

Na slici 5 dato je elektronsko interfejsno kolo koje je korišćeno pri akviziciji vrednosti struje senzora i njenom skaliranju i pretvaranju u odgovarajući napon koji je naknadno uveden u A/D konvertor mikrokontrolera. Prvi operacioni pojačavač ima ulogu održanja konstantnog potencijala radne elektrode i predstavlja tzv. potencijostatsko kolo. Drugi operacioni pojačavač igra ulogu transimpedansnog pojačavača koji izlaznu struju senzora skalira i pretvara u odgovarajuću naponsku vrednost.



Slika 5. Elektronsko interfejsno kolo troelektrodnih senzora

Osetljivost senzora SO₂-D4 je 180 do 360 nA/ppm koncentracije SO₂ dok je osetljivost senzora NO₂-D4 -200 do -450 nA/ppm koncentracije NO₂ (može se primetiti negativan predznak izlaza senzora). Normalna koncentracija SO₂ u

vazduhu u gradovima iznosi oko 10 ppb, miris se počinje osećati već pri koncentracijama od 0,5 ppm, a trajna oštećenja pluća mogu izazvati koncentracije od 20 ppm. Slično, i kod koncentracija NO₂, čak pri koncentraciji 0,5 ppm vazduh ima izuzetno oštar miris, tamniju boju i jak uticaj na zdravlje respiratornog sistema. Mala potrošnja struje ovih elektrohemijskih senzora svakako predstavlja njihovu prednost i zbog toga su pogodni za upotrebu u prenosnim, baterijski napajanim uređajima, ali sa druge strane, za izradu elektronskog interfejsnog kola zahtevaju izbor komponenti koje moraju zadovoljiti neke specifične uslove. Senzorski interfejs sa slike 5 koristi LMC6484IN operacioni pojačavač u kolu transimpedansnog pojačavača iz razloga male ulazne struje napajanja (*input bias current*). Kako se u praksi mere veoma male vrednosti koncentracije ovih gasova (posebno u slučaju sistema za nadzor parametara kvaliteta vazduha), maksimalna ulazna struja napajanja je veoma važan parametar jer može unositi grešku pri merenju i tako znatno uticati na validnost mernog sistema. Korišćeni operacioni pojačavač ima maksimalnu ulaznu struju napajanja od 4 pA što u potpunosti ispunjava postavljene zahteve.

Na slici 6 prikazan je realizovani bežični senzorski čvor zajedno sa Atmel ATZB-24-A2 ZigBee modulom.



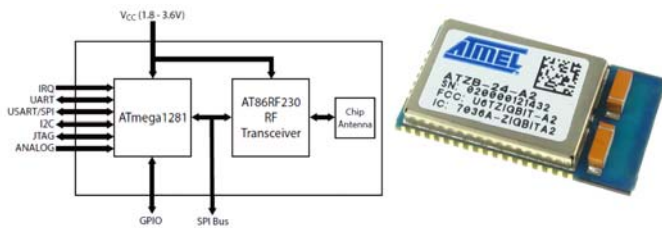
Slika 6. Izgled realizovanog bežičnog senzorskog čvora

IV. ATMEL ATZB-24-A2 ZIGBEE MODUL

Atmel ZigBit je IEEE 802.15.4/ZigBee-kompatibilni komunikacioni modul koji se sastoji od Atmel ATmega1281V mikrokontrolera i AT86RF230 RF transivera. Modul ima 128 KB flash memorije i 8 KB RAM. Može se naći u dve različite izvedbe – ATZB-24-A2 i ATZB-24-B0. Kao komunikacioni modul u implementiranom sistemu korišćena je verzija modula A2 koji na sebi poseduje integrisanu čip antenu i kao takav predstavlja kompletno okruženje [13], [14], [15].

ZigBit modul je kompatibilan sa IEEE 802.15.4/ZigBee stekom i sa strane razvoja firmvera za komunikaciju između čvorova u ZigBee mreži, Atmel nudi mogućnost korišćenja BitCloud stek konfiguracije. BitCloud je u potpunosti kompatibilan sa ZigBee PRO i ZigBee standardima za bežične senzorske i upravljačke primene [16].

Principijelna blok shema i izgled modula dati su na slici 7.



Slika 7. Atmel ATZB-24-A2 ZigBee modul

Za realizaciju firmvera modula za komunikaciju kao osnova je korišćena Atmel-ova SerialNet aplikacija. Izvorni kod SerialNet aplikacije koju smo dobili na zahtev direktno od Atmel Inc., izmenjen je i prilagođen potrebama predmetnog sistema. Implementirano je više dodatnih opcija. Naime, originalna verzija SerialNet aplikacije omogućavala je samo 8-bitnu A/D konverziju na Atmega1281V mikrokontroleru. Sa stanovišta razvoja akvizicionog sistema, ova rezolucija nije bila dovoljna. Inače, Atmega1281V poseduje 10-bitni A/D konvertor [11], pa je zadovoljavajuća funkcionalnost postignuta potpunim iskorišćenjem njegovih mogućnosti.

SerialNet aplikacija koristi tzv. *Hayes-like* AT set instrukcija za podešavanje parametara komunikacije i izvršenje operacija u ZigBee mreži. Kako bi se olakšala i ubrzala komunikacija, implementirane su dodatne AT instrukcije koje u jednom ciklusu izvršavaju pribavljanje adrese senzorskog čvora i merenje i akviziciju koncentracija gasova sva četiri senzora.

V. PREZENTACIJA PODATAKA MERENJA

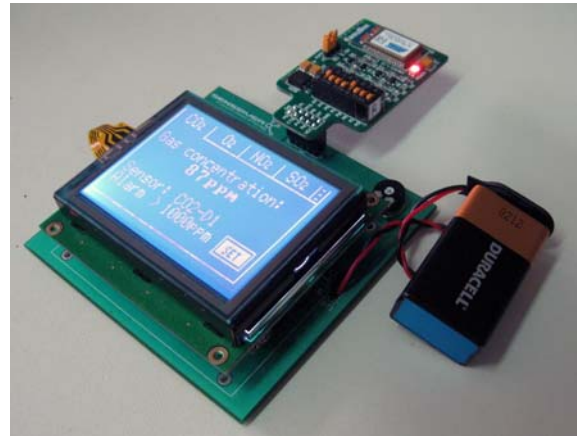
A. Prenosni modul

Grafičko korisničko okruženje prenosnog (*hand-held*) modula realizovano je na *Microchip* PIC18F45K22 8-bitnom mikrokontroleru [18] i koristi 128x64px monohromatski grafički LCD sa ekranom osetljivim na dodir (*touch screen*) za interakciju sa korisnikom. U ovoj verziji, GUI može prikazivati koncentracije četiri komercijalna senzora gasa koji su opisani u prethodnim poglavljima. Presentacija koncentracija gasova organizovana je u vidu kartica. Na svakoj kartici GUI sistema prikazuje se trenutna koncentracija izmerena izabranim senzorom, tip senzora i deo za podešavanje vrednosti pri kojoj će doći do upozoravanja operatera (kritična vrednost koncentracije gasa). Podešavanja kritičnih vrednosti mogu se izvršiti individualno za svaki senzor, a sve relevantne postavke sistema čuvaju se u EEPROM memoriji mikrokontrolera. Pored ovih podataka u EEPROM-u se čuvaju kalibracione konstante za *touch screen* generisane nakon fabričkog reseta ili prvog pokretanja uređaja i adresa poslednjeg aktivnog senzorskog čvora.

Podešavanja vezana za trenutno adresirani bežični senzorski čvor, kao i podešavanja samog prenosnog modula nalaze se na dodatnoj petoj kartici. Prilikom adresiranja aktivnog senzorskog čvora, A/D konvertor mikrokontrolera adresiranog ZigBee modula (ATmega1281V) neophodno je pripremiti za merni proces s obzirom da je kompletan softverski merni deo sistema realizovan na tom

mikrokontroleru. Takođe, na kartici podešavanja GUI moguće je podesiti i vremenski period neaktivnosti nakon kog sistem prelazi u režim smanjene potrošnje električne energije (*sleep mod*) omogućavajući tako veću autonomiju baterijski napajanog sistema.

Na slici 8 prikazan je realizovani prenosni modul na kom se može videti i organizacija grafičkog korisničkog okruženja sa aktivnom karticom CO₂.



Slika 8. Izgled realizovanog prenosnog modula

B. Environmental monitoring system terminal – PC GUI

PC GUI realizovan je kao Microsoft .NET aplikacija koja omogućava praćenje koncentracija gasova adresiranog senzorskog čvora i njihove promene u realnom vremenu putem četiri grafika. Omogućen je izbor aktivnog senzorskog čvora, prikaz minimalnih, maksimalnih i trenutnih koncentracija sa senzora u vidu brojnih vrednosti, prikaz poslatih AT komandi i odziva ZigBee modula senzorskog čvora, kao i promena vremenskog opsega u kom se na graficima posmatraju promene koncentracije. Na slici 9 dat je izgled glavne forme PC GUI aplikacije.



Slika 9. Glavna forma PC GUI aplikacije

VI. ZAKLJUČAK I PLAN DALJEG RAZVOJA SISTEMA

U bližoj budućnosti, razvijeni laboratorijski prototip bežičnog senzorskog sistema koji je opisan u ovom radu može

poslužiti kao smernica za razvoj konačnog akvizicionog sistema u okviru SENSEIVER projekta. Ovaj sistem usmeren je na detekciju polutanata u vazduhu kao što su sumpor dioksid, azot dioksid, ugljen dioksid i koncentracije kiseonika, ali se može proširiti dodatnim sensorima raznih isparljivih organskih jedinjenja koja potiču iz različitih izvora kao što su izduvni gasovi vozila, elektrane, rafinerije i industrijski i laboratorijski procesi.

Da bi se sistem mogao koristiti, svakako je neophodno izvršiti kalibraciju korišćenih senzora. Za potrebe kalibracije sistema potrebna je i neka vrsta aparature – komore sa kontrolisanom atmosferom u kojoj će se za svaki senzor, pre ugradnje u sistem, uraditi karakterizacija u više tačaka određene koncentracije, temperature i vlažnosti gasa. Odgovarajući sistem za kalibraciju svih tipova korišćenih senzora koji će u potpunosti zadovoljiti sve zahtevane uslove veoma je teško pronaći i veoma su skupi. Za potrebe kalibracije senzora koji mere male koncentracije gasova neophodni su precizni sistemi kojima se koncentracije mogu menjati na nivou milijarditog dela (*parts per billion* – ppb). Jedan od ovakvih sistema je Owlstone Nanotech, Inc. generator gasa OVG-4 koji koristi tzv. *permeation* cevčice (*tubes*). Na osnovu kalibracionih podataka potrebno je za svaki senzor formirati *look-up* tabele pomoću kojih će se kasnije vrednosti izmerene na A/D konvertoru bežičnog senzorskog čvora prevoditi u stvarne vrednosti koncentracije merenog gasa.

Kao dodatak realizovanom sistemu već je razvijen i deo koji će služiti za kompenzaciju temperature i vlažnosti izmerenih koncentracija gasova. Sastoji se od senzora Sensirion SHT11 koji na svom izlazu daje podatke izmerene temperature i vlažnosti rezolucije 14, odnosno 12 bita (respektivno). Podaci se prenose putem dvožične magistrale slične I²C magistrali prema ATmega1281V kontroleru ATZB-24-A2 ZigBee modula. Ovo merenje pridruženo je realizovanoj AT komandi – upitu (AT+SENS?) za pribavljanje izmerenih koncentracija gasova svih senzora adresiranog senzorskog čvora što se može videti na slici 9 u polju COM Event, a takođe i na gornjem delu glavne forme PC GUI aplikacije gde su prikazane izmerene vrednosti temperatura i vlažnost.

Dalji razvoj serverske aplikacije za personalni računar išao bi u smeru realizacije MySQL baze podataka u kojoj bi se čuvali podaci svih merenih koncentracija sa senzora bežične senzorske mreže i putem koje bi bilo moguće praviti mesečne i godišnje profile promena koncentracija. Takođe, budući sistem će posedovati i mapu područja na kom su postavljeni senzori, pa će ukupna slika biti upotpunjena i prostornim rasporedom koncentracija merenih gasova, tj. stanjem kvaliteta vazduha u određenom geografskom području.

ZAHVALNICA

Ovaj rad nastao je kao deo FP7-PEOPLE-2011-ITN projekta pod brojem 289481 sa nazivom *Low-cost and energy-efficient LTCC sensor/IR-UWB transceiver solutions for sustainable healthy environment* i akronimom SENSEIVER. Projekat je finansiran od strane EU, a institucija koordinator je Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu.

LITERATURA

- [1] Air quality in Europe – 2012 report, Sep 24, 2012, EEA – European Environment Agency.
- [2] Shu-Chiung Hu, You-Chiun Wang, Chiuan-Yu Huang, Yu-Chee Tseng, Measuring air quality in city areas by vehicular wireless sensor networks, *Journal of Systems and Software*, Volume 84, Issue 11, November 2011, Pages 2005-2012, ISSN 0164-1212.
- [3] A. Somov, et al., Development of wireless sensor network for combustible gas monitoring, *Sensors and Actuators A: Physical*, Volume 171, Issue 2, November 2011, Pages 398-405, ISSN 0924-4247.
- [4] J. Chou, *Hazardous Gas Monitors: A Practical Guide to Selection, Operation, and Applications*, McGraw-Hill, New York (1999).
- [5] CO₂-D1 Carbon Dioxide Sensor Data Sheet, December 2010, Alphasense Ltd.
- [6] O₂-G2 Oxygen Sensor Data Sheet, Doc. Ref. Jun 2011, Alphasense Ltd.
- [7] How oxygen sensors work, Alphasense Application Note No. 8, Alphasense Ltd.
- [8] SO₂-D4 Sulfur Dioxide Sensor Data Sheet, Januar 2012, Alphasense Ltd.
- [9] NO₂-D4 Nitrogen Dioxide Sensor Sheet, Januar 2012, Alphasense Ltd.
- [10] Designing a potentiostatic circuit, Alphasense Application Note No. 105-3, March 2009, Alphasense Ltd.
- [11] Atmel 8-bit AVR Microcontroller with 64K/128K/256K Bytes In-System Programmable Flash Data Sheet, 2549F AVR 04/06, Atmel Inc.
- [12] Atmel Low-Power Transceiver for ZigBee Applications. AT86RF230 Data Sheet, Atmel Inc.
- [13] IEEE Std 802.15.4-2003 IEEE Standard for Information technology - Part 15.4 Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs).
- [14] ZigBee Specification. ZigBee Document 053474r17, October 19, 2007.
- [15] ZigBit™ 2.4 GHz Wireless Modules, ATZB-24-A2/B0 Datasheet, Atmel Inc.
- [16] BitCloud™ IEEE 802.15.4/ZigBee Software. AVR2050: BitCloud User Guide, Atmel, Inc.
- [17] AVR2051: Atmel BitCloud SerialNet, Rev.8021A – 08/11, Atmel Inc.
- [18] Microchip PIC18(L)F2X/4XK22 Data Sheet, Microchip Technology Inc.
- [19] Datasheet SHT1x – Humidity and Temperature Sensor IC Data Sheet, December 2011, Sensirion AG.

ABSTRACT

Positive trend of technological development has contributed to improvement of overall quality of life. Numerous scientific and technological achievements in the recent period simplified everyday life activities, communication and production. On the other hand, we witness a large negative impact of technological development on the environment. Air quality is one key parameter of the overall quality of human life, and it can have a decisive impact on human health and activities. This paper describes a laboratory prototype system for monitoring of various parameters of air quality. ZigBee wireless sensor network is realized, which provides monitoring and early warning to system operators if some of monitored air quality parameters is outside the defined permitted value range.

**LABORATORY PROTOTYPE OF
WIRELESS SENSOR SYSTEM
FOR AIR QUALITY PARAMETERS MONITORING**
Srđan Ajkalo, Goran Stojanović