

# Sustav nadzora kvalitete zraka u zatvorenim prostorima koristeći bežične senzorske mreže

---

Ramljak, Dario

Master's thesis / Diplomski rad

2015

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:015285>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-20**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

**Sveučilišni studij**

**SUSTAV NADZORA KVALITETE ZRAKA U  
ZATVORENIM PROSTORIMA KORISTEĆI KONCEPT  
BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE**

**Diplomski rad**

**Dario Ramljak**

**Osijek, 2015 godina.**

## SADRŽAJ:

1. UVOD .....	1
2. ČIMBENICI ČISTOG ZRAKA .....	3
2.1. Zrak i atmosfera .....	3
2.1.1. Atmosfera .....	3
2.2. Kvaliteta zraka .....	4
2.2.1. Onečišćivači zraka .....	5
2.2.1.1 Sumporni dioksid (SO <sub>2</sub> ) .....	6
2.2.1.2. Dušikovi oksidi (NO i NO <sub>2</sub> - NO <sub>x</sub> ) .....	7
2.2.1.3. Lebdeće čestice (PM – engl. Particle Matter, SPM – engl. Suspended PM) .....	9
2.2.1.4. Ugljični monoksid (CO) .....	10
2.2.1.5. Prizemni ozon (O <sub>3</sub> ) .....	11
2.2.1.6. Hlapljivi organski spojevi (VOCs - Volatile Organic Compounds) .....	12
2.2.3. Kvaliteta zraka na otvorenom prostoru .....	13
2.2.3.2. Opći indeks kvalitete zraka .....	13
2.2.3.3. Računanje indeksa kvalitete zraka - CAQI .....	14
2.2.3.4. Kvaliteta zraka u Republici Hrvatskoj .....	15
2.2.4. Kvaliteta zraka u zatvorenom prostoru .....	17
3. SUSTAV ZA MJERENJE KAKVOĆE ZRAKA .....	19
3.1. Bežične senzorske mreže .....	19
3.1.1. Platforme bežičnih senzorskih mreža .....	20
3.2. Definiranje sustava i izbor programske podrške .....	23
3.2.1. Komponente sustava za nadzor kvalitete zraka .....	26
3.2.1.1. Jedinice u bežičnoj senzorskoj mreži .....	28
3.2.1.2. Ograničenja bežične mreže .....	30
3.2.1.3. Senzorski čvor (SČ) .....	31
3.2.1.4. Repetitorski senzorski čvor (RSČ) .....	33
3.2.1.5. Koordinatorski čvor (KČ) .....	34
4. UPRAVLJAČKI UREĐAJI .....	35

4.1. Mikroprocesori i mikroupravljači.....	36
4.1.1. Mikroprocesor.....	36
4.1.2. Mikroupravljači.....	37
4.1.2.1. Atmel AVR.....	39
4.1.2.1.1. Arhitektura AVR mikroupravljača.....	39
4.1.2.2 Arduino platforma.....	41
4.1.2.2.1. Programiranje Arduino mikroupravljačkog uređaja.....	43
4.1.2.2.2. Korišteni Arduino moduli u radu.....	45
4.1.2.2.3. MySensors biblioteka.....	45
4.1.2.2.4. MySensors serijski protokol.....	47
5. MREŽNI UPRAVLJAČKI UREĐAJ.....	54
5.1. Specifikacija aplikacije mrežnog upravljačkog uređaja.....	54
5.2. TP-Link TL-WR703N usmjernik.....	56
5.2.1. Prilagodba usmjernika na OpenWrt GNU/Linux.....	57
5.2.1.1. Proširenje memorije uređaja za nadogradnju sustava.....	58
5.2.1.2. Proširenje radne memorije uređaja.....	59
5.2.1.3. Aplikacija mrežnog upravljačkog uređaja.....	60
6. IZVRŠNI UREĐAJI.....	62
6.1. Senzor za detekciju lebdećih čestica - Sharp GP2Y1010.....	63
6.1.1. Područje namjene.....	64
6.1.2. Osnovne elektroničke komponente senzora.....	64
6.1.2.1. Fotodioda.....	64
6.1.2.2. Fototranzistor.....	65
6.1.2.2. Infracrvena dioda.....	66
6.1.3. Spajanje uređaja.....	67
6.2. Senzor za mjerenje temperature - Maxim DS18B20.....	71
6.2.1. Karakteristike senzora.....	71
6.2.2. Opis rada senzora.....	72
6.2.3. Napajanje senzora.....	73
6.2.4. 1-Wire® sučelje.....	74

6.2.4. Memorija senzora.....	76
6.3. Senzor za mjerenje vlage i temperature - DHT .....	79
6.3.1. Dostupni modeli DHT senzora .....	79
6.3.2. Karakteristike DHT11.....	79
6.3.3. Karakteristike DHT21.....	79
6.3.4. Opis DHT11 senzora.....	80
6.3.4.1. Napajanje .....	81
6.3.4.2. Komunikacija.....	82
6.3.4.2.1. Komunikacijski proces .....	82
6.4. Senzori za mjerenje kakvoće zraka - MQ (detektori plinova u zraku).....	85
6.4.1. Konstrukcija senzora.....	85
6.4.2. Područje detekcije MQ senzora .....	87
6.4.2.1. Preduvjeti za pravilno iščitavanje mjerene vrijednosti.....	87
6.4.2.2. MQ2.....	88
6.4.2.3. MQ3.....	88
6.4.2.4. MQ4.....	89
6.4.2.5. MQ5.....	89
6.4.2.6. MQ6.....	89
6.4.2.7. MQ7.....	89
6.4.2.8. MQ8.....	90
6.4.2.9. MQ9.....	90
6.4.3. Umjeravanje senzora.....	90
6.4.3.1. Primjer umjeravanja senzora .....	92
7. BEŽIČNI KOMUNIKACIJSKI MODULI – NRF2401 .....	94
7.1. Karakteristike uređaja.....	94
7.2. Funkcionalna stanja uređaja .....	96
7.3. Protokol na sloju linka podataka - Enhanced ShockBurst™.....	98
7.3.1. Paketi.....	99
7.3.2. Validacija paketa.....	100
7.4. Upravljanje modulom SPI sučeljem .....	100

7.5. FIFO spremnik.....	102
7.6. Registri radio modula (mapa registara) .....	103
7.7. Enhanced ShockBurst™ primjer slanja paketa .....	106
7.8. Enhanced ShockBurst™ primjer primanja paketa .....	107
8. KORISNIČKA APLIKACIJA .....	107
8.1. Internet aplikacija .....	107
8.1.1. Prezentacijski blok .....	108
8.1.1.1. Bootstrap.....	110
8.1.1.1.1. Implementacija Bootstrap okoline .....	111
8.1.1.2. D3 podrška za izradu komponenata.....	112
8.1.2. Aplikacijski blok .....	113
8.1.2.1. Node.js® .....	113
8.1.2.1.1. Express Node.js modul.....	113
8.1.3. Spremnički blok .....	115
8.1.3.1. MongoDB .....	115
8.2. Aktivno osvježavanje distribuirane korisničke aplikacije .....	118
8.2.1. Message Query Telemetry Transport (MQTT).....	119
8.3. Izgled korisničke aplikacije .....	122
9. EKSPERIMENTALNO VREDNOVANJE SUSTAVA .....	127
9.1. Mjerenje u uvjetima direktne optičke vidljivosti.....	130
9.1.1. Mjerenje prijema paketa na otvorenom prostoru .....	130
9.2. Mjerenje u zatvorenom prostoru.....	132
9.2.1. Mjerenje prijema paketa u hodnika dužine 80 m.....	133
9.2.2. Mjerenje prijema paketa na stubištu .....	133
9.2.3. Mjerenje prijema paketa na relaciji hodnik-soba.....	135
9.2.4. Mjerenje prijema paketa na relaciji soba-soba.....	137
10. ZAKLJUČAK .....	139
LITERATURA.....	141
POPIS KRATICA .....	144
SAŽETAK.....	147

ABSTRACT .....	147
ŽIVOTOPIS .....	149
PRILOZI.....	150
Prilog 4.1. Primjer <i>Arduino</i> izvornog kôda za senzorski čvor.....	150
Prilog 4.2. Primjer izvornog <i>Arduino</i> kôda za koordinatorski čvor .....	151
Prilog 4.3. <i>Arduino</i> aplikacije – KČ, SČ, RSČ.....	151
Prilog 6.1. Primjer izvornog <i>Arduino</i> kôda za <i>Sharp GPY1010</i> detektor lebdećih čestica u zraku .....	152
Prilog 6.2. Primjer izvornog <i>Arduino</i> kôda za <i>Maxim DS18B20</i> senzor temperature.....	153
Prilog 6.3. Primjer izvornog <i>Arduino</i> kôda za <i>DHT11</i> senzor temperature i vlage .....	154
Prilog 6.4. Primjer izvornog <i>Arduino</i> kôda za <i>MQ2</i> detektor plinova .....	154
Prilog 8.1. Primjer jednostavnog HTML dokumenta .....	155
Prilog 8.2. Primjer CSS stila za HTML dokument.....	155
Prilog 8.3. Primjer Javascript skripte stila za HTML dokument. ....	156
Prilog 8.4. Primjer HTML oznaka za listu s tri člana.....	156
Prilog 8.5. Primjer HTML oznaka s dodanom Bootstrap funkcionalnosti padajućeg izbornika na listi od tri člana .....	156
Prilog 8.6. Primjer izrade jednostavnog HTTP servera pomoću nodejs platforme.....	156
Prilog 8.7. Usporedba Jade i HTML kôda.....	157
Prilog 8.8. Usporedba SQL i noSQL notacije .....	157
Prilog 8.9. Korisnička aplikacija - KA .....	158
Prilog 9.1. Skener paketa.....	158

## SAŽETAK

U okviru diplomskog rada razvijen je sustav nadzora kvalitete zraka u zatvorenim prostorima. Sustav je razvijen koristeći koncept bežične senzorske mreže. Sustav prikuplja podatke s terena čiji su izvori senzorski čvorovi, a ponori distribuirane instance korisničke aplikacije.

Senzorska mreže u konačnici prikuplja podatke o:

- zadimljenosti prostorije,
- količini lebdećih čestica u zraku,
- grubu detekciju količine štetnog plina u prostoriji,
- mjerenje temperature i
- iznos relativne vlažnosti zraka.

Senzorski čvorovi raspoređeni su u promatranom objektu, a prikupljeni podaci su proslijeđeni centralnom poslužitelju. Centralni poslužitelj je realiziran Internet aplikacijom.

U okviru rada obrađene su osnove kakvoće zraka, zatim je opisan osnovni princip definiranja sustava (bežične senzorske mreže) s predloškom za izvedbu zadanog sustava. Obrađene su potrebne jedinice, među kojima su senzori za mjerenje potrebnih fizikalnih veličina, bežični komunikacijski moduli i mikroupravljački uređaji. Opisana je priprema okoline i konfiguracije, primjerice na usmjerniku za definiranu funkcionalnost prenošenja podataka iz senzorske mreže do korisničke aplikacije. Opisana je izrada korisničke aplikacije čime je dovršena izrada funkcionalnosti sustava. U konačnici izvedena su mjerenja prijema paketa kako bi se doznala ograničenja sustava, vezana uz domet i strategiju postavljanja komunikacijskih čvorova. U zaključku su predložena moguća unapređenja postojećeg rješenja ili mogućnosti prenamjene sustava.

## ABSTRACT

This thesis goes through a study and a practical development of a system of indoor air quality management. Indoor air quality management system is been developed with the wireless sensor network concept in its focus. This system is capable of collecting data from a distributed network of sensor nodes. Visualization of data is made by a service of user applications which are distributed to network clients.

Sensor network collects data about:

- amount of smoke in an object,
- amount of particle matter in the air of an object,
- approximation on the amount of harmful gas or gases in the object,
- current temperature,
- and amount of relative humidity.

Sensor nodes are deployed to a selected complex, collected data is been forwarded to a central server. Server is implemented as a web application. Thesis elaborates the basic principle of defining



the system (of wireless sensor networks) with its model for the performance measurement. Study on all necessary components is been presented, including sensors, wireless modules and microcontrollers. Basic settings and preparation of the environment is been defined, e.g. for the functionality of relaying data from sensor network to the user application. Afterwards, one can find notations on a development of the user application which completes the functionality of the proposed system. Finally, measurement are been presented on the packet reception rate, which can indicate on the limitations of the system doe to the propagation of packets in indoor environment. Measurement can be used as a indication for strategies on setting up network configuration and node distribution. In the conclusion there are proposed improvements for the selected solution or possibilities of functionality conversion.