



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U
NOVOM SADU



Vladimir Rajs

**METODE PRAĆENJA PARAMETARA
ŽIVOTNE SREDINE BAZIRANE NA
PAMETNIM MERNIM SISTEMIMA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, 2015.godina



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	монографска публикација
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР:	докторска дисертација
Аутор, АУ:	Владимир Рајс
Ментор, МН:	Др Милош Живанов, редовни професор
Наслов рада, НР:	Методe праћења параметара животне средине базиране на паметним мерним системима
Језик публикације, ЈП:	српски
Језик извода, ЈИ:	српски
Земља публикавања, ЗП:	Република Србија
Уже географско подручје, УГП:	Аутономна Покрајина Војводина
Година, ГО:	2015
Издавач, ИЗ:	ауторски репринт
Место и адреса, МА:	Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад
Физички опис рада, ФО: <small>(поглавља/страница/цифрата/табела/слика/табелка/опшпога)</small>	7/142/92/8/73/42/2
Научна област, НО:	Електротехника и рачунарство
Научна дисциплина, НД:	Електроника
Предметна одредница/ Кључне речи речи, ПО:	Мерење параметара животне средине, паметни мерни системи
УДК	
Чувасе, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука
Важна напомена, ВН:	

Извод, ИЗ:	<p>Како се ефекат глобалног загревања одиграва широм планете, тако се светска популација суочава са вероватно једним од најважнијих социјалних и научних феномена-променом параметара животне средине услед загађења. Предузимање било какве акције захтева прецизна и тачна мерења параметара животне средине у више десетина хиљада тачака, постављених широм света. Пошто је финансијски скупо, а и практично немогуће направити тако велики број мерних станица које би премрежиле целу планету, очигледно је да се морају пронаћи нека алтернативна решења. Направљен је мерни систем и реализоване су мерне методе за удаљено мерење параметара животне средине. Овај систем може бити реализован као стационарна или као покретна мерна станица. Радна хипотеза се заснива на коришћењу статистичке анализе измерних података, где се долази до претпоставке и доказа о могућности смањења броја сензора на мерној станици, јер се праћењем једне величине (концентрација угљен-моноксида) може доћи до претпостављене вредности друге величине (концентрација азот-диоксида) у случају да потичу из истог извора. А коришћењем предикције, помоћу регресионог модела – интерполације и екстраполације показала се могућност смањења броја мерних станица. Наиме, коришћењем интерполационих кривих могуће је на територији једног града приказати естимације концентрација гасова на основу података са покретне мерне станице. Такође, на основу математичког АРМА модела показана је естимација концентрације гасова на основу претходних мерења</p>																			
Датум прихватања теме, ДП:	6. март 2014. године																			
Датум одбране, ДО:																				
Чланови комисије, КО:	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="730 1189 1209 1279">Председник:</td> <td colspan="2" data-bbox="1209 1189 1532 1279">др Мирјана Дамњановић, ванредни професор</td> </tr> <tr> <td data-bbox="730 1279 1209 1368">Члан:</td> <td colspan="2" data-bbox="1209 1279 1532 1368">др Ласло Нађ редовни професор</td> </tr> <tr> <td data-bbox="730 1368 1209 1458">Члан:</td> <td colspan="2" data-bbox="1209 1368 1532 1458">др Дејан Драјић, доцент</td> </tr> <tr> <td data-bbox="730 1458 1209 1547">Члан:</td> <td colspan="2" data-bbox="1209 1458 1532 1547">др Јосиф Томић, ванредни професор</td> </tr> <tr> <td data-bbox="730 1547 1209 1637">Члан:</td> <td data-bbox="1209 1547 1532 1637">др Дејан Убавин, доцент</td> <td data-bbox="1209 1547 1532 1637">Потпис ментора</td> </tr> <tr> <td data-bbox="730 1637 1209 1736">Члан-ментор:</td> <td data-bbox="1209 1637 1532 1736">др Милош Живанов, редовни професор</td> <td data-bbox="1209 1637 1532 1736"></td> </tr> </table>		Председник:	др Мирјана Дамњановић, ванредни професор		Члан:	др Ласло Нађ редовни професор		Члан:	др Дејан Драјић, доцент		Члан:	др Јосиф Томић, ванредни професор		Члан:	др Дејан Убавин, доцент	Потпис ментора	Члан-ментор:	др Милош Живанов, редовни професор	
Председник:	др Мирјана Дамњановић, ванредни професор																			
Члан:	др Ласло Нађ редовни професор																			
Члан:	др Дејан Драјић, доцент																			
Члан:	др Јосиф Томић, ванредни професор																			
Члан:	др Дејан Убавин, доцент	Потпис ментора																		
Члан-ментор:	др Милош Живанов, редовни професор																			



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	monographic publication
Type of record, TR :	textual printed material
Contents code, CC :	doctoral thesis
Author, AU :	Vladimir Rajs
Mentor, MN :	Dr Miloš Živanov, full professor
Title, TI :	METHODS OF ENVIRONMENTAL MONITORING PARAMETERS BASED ON SMART MEASUREMENT SYSTEMS
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian / English
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	Autonomous Province of Vojvodina
Publication year, PY :	2015
Publisher, PB :	author's reprint
Publication place, PP :	Faculty of Technical Sciences, Sq. of Dositeja Obradovića 6, Novi Sad
Physical description, PD : <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small>	7/142/92/8/73/42/2
Scientific field, SF :	Electrical Engineering and Computer Science
Scientific discipline, SD :	Electronics
Subject/Key words, S/KW :	environmental monitoring, smart measurement systems
UC	
Holding data, HD :	Library of the Faculty of Technical Sciences
Note, N :	

Abstract, AB :	<p>As the effects of global warming are spreading globally, the world population encounters one of the most important social and scientific phenomena- changing the parameters of the environment due to pollution. Any conducted action requires precise and accurate measuring of the environmental parameters at several dozens of thousands points deployed around the world. Since financially, as well as practically, it is impossible to create such a large number of measuring stations which would network all over the planet, it is obvious that some alternative solutions must be found. A new measuring system is developed and measuring methods for remote measurement of environmental parameters are implemented. This system can be implemented as a stationary or mobile measuring station. The working hypothesis is based on the use of statistical analysis of measurement data. It leads to the possibility of reducing the number of sensors at measure station, as based on the monitoring of one value-gas concentration (the concentration of carbon monoxide) can be estimated values of other gas (the concentration of nitrogen - dioxide) in the case that they originate from the same source. Using prediction and regression models - interpolation and extrapolation have shown the possibility to reduce the number of measuring stations. Specifically, in the territory of one observedcity, by using interpolation curves, the estimation of concentrations of gases based on data from the measuring system can be shown. Also, based on a mathematical model (ARMA) estimation of concentrations of gases based on previous measurements is shown.</p>															
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	mart 6, 2014.															
Defended on, DE :																
Defended Board, DB :	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="715 1240 1193 1375">President:</td> <td data-bbox="715 1240 1193 1375">Mirjana Damnjanović, Ph. D. Associate Professor</td> </tr> <tr> <td data-bbox="715 1375 1193 1464">Member</td> <td data-bbox="715 1375 1193 1464">Laslo Nadj, Ph. D. Full Profesor</td> </tr> <tr> <td data-bbox="715 1464 1193 1554">Member:</td> <td data-bbox="715 1464 1193 1554">Dejan Drajić, Ph. D. Assistant Professor</td> </tr> <tr> <td data-bbox="715 1554 1193 1644">Member:</td> <td data-bbox="715 1554 1193 1644">Josif Tomić, Ph. D. Associate Professor</td> </tr> <tr> <td data-bbox="715 1644 1193 1733">Member:</td> <td data-bbox="715 1644 1193 1733">Dejan Ubavin, Ph. D. Assistant Professor</td> </tr> <tr> <td data-bbox="715 1733 1193 1848">Member, Mentor:</td> <td data-bbox="715 1733 1193 1848">Miloš Živanov, Ph. D. Full Professor</td> </tr> </table>	President:	Mirjana Damnjanović, Ph. D. Associate Professor	Member	Laslo Nadj, Ph. D. Full Profesor	Member:	Dejan Drajić, Ph. D. Assistant Professor	Member:	Josif Tomić, Ph. D. Associate Professor	Member:	Dejan Ubavin, Ph. D. Assistant Professor	Member, Mentor:	Miloš Živanov, Ph. D. Full Professor	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1193 1240 1476 1733">Menthor's sign</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1193 1733 1476 1848"></td> </tr> </table>	Menthor's sign	
President:	Mirjana Damnjanović, Ph. D. Associate Professor															
Member	Laslo Nadj, Ph. D. Full Profesor															
Member:	Dejan Drajić, Ph. D. Assistant Professor															
Member:	Josif Tomić, Ph. D. Associate Professor															
Member:	Dejan Ubavin, Ph. D. Assistant Professor															
Member, Mentor:	Miloš Živanov, Ph. D. Full Professor															
Menthor's sign																

ZAHVALNICA

Veliku zahvalnost upućujem mentoru ove doktorske teze, dr Milošu Živanov, redovnom profesoru na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu na stručnim i životnim savetima tokom doktorskih studija i na svestranoj pomoći tokom izrade doktorske disertacije.

Zahvaljujem se dr Laslu Nađ, redovnom profesoru na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu na podršci, interesovanju za moj rad i stručnim savetima tokom pisanja doktorske disertacije.

Zahvaljujem se dr Mirjani Damnjanović, vanredovnom profesoru na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, rukovodiocu Katedre za elektroniku na podršci i stručnim savetima tokom pisanja doktorske disertacije.

Zahvaljujem se dr Josifu Tomić, vanredovnom profesoru na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu na podršci, stručnim savetima i idejama tokom eksperimentalnog rada.

Zahvaljujem se dr Dejanu Drajić, docentu na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu na svesrdno pruženoj stručnoj pomoći.

Zahvaljujem se dr Dejanu Ubavin, docentu na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu na saradnji i korisnim savetima.

Zahvaljujem se dr Mati Pižurica, redovnom profesoru Filozofskog fakulteta u Novom Sadu i sekretaru odeljenja za knjizevnost i jezik Matice srpske na pomoći prilikom pisanja disertacije.

Zahvaljujem se kolegama iz firme DunavNet, posebno rukovodiocima dr Srđanu Krčo i dr Borisu Pokrić na nesebičnoj pomoći tokom eksperimentalnog rada.

Zahvaljujem se kolegama sa katedre za elektroniku M.Sc. Vladimiru Milosavljević i M.Sc Živoradu Mihajlović na pomoći tokom eksperimentalnog rada.

Posvećeno mojoj porodici...

Spisak objavljenih naučnih radova

Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21)

1. J. Tomić, M. Kušljević, M. Vidaković, **V. Rajs**: “Smart SCADA system for urban air pollution monitoring“, Measurement, vol. 58, no. 5, str. 138–146, December 2014, ISSN: 0263-2241

Rad u međunarodnom časopisu (M23)

2. **V. Rajs**, Ž. Mihajlović, V. Milosavljević, S. Krčo, D. Drajić, B. Pokrić: “Realization of Instrument for Environmental Parameters Measuring“, Elektronika ir Elektrotehnika, vol. 20, str. 6, pp. 61–66, 2013, ISSN: 1392-1215

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini (M33)

3. Ž. Mihajlović, V. Milosavljević, N. Maoduš, **V. Rajs**, Đ. Obradović, M. Živanov: “Mobile System for Monitoring of Gas Emission on Landfill Sites“, 11. International Conference on Development and Application Systems (DAS), Suceava: University "Stefan Cel Mare", 17–19 maj, 2012, str. 111–114, ISBN: 1844-5039
4. Ž. Mihajlović, **V. Rajs**, V. Milosavljević, M. Živanov : „System For Remote Reading And Control Of Sensors For Air Contaminant Detection“, 3. Research People and Actual Tasks on Multidisciplinary Sciences, Lozenec: Bulgarian National Multidisciplinary Scientific Network of the Professional Society for Research Work, 8–10 jun, 2011, str. 169–173, ISBN 1313-7735
5. Ž. Mihajlović, Z. Radmilović, V. Milosavljević, **V. Rajs**, M. Živanov: “Implementation of Remote Environmental Monitoring System using RF Modules with Secure Communication between Devices“, Mediterranean Conference on Embedded Computing - MECO, Bar: University of Montenegro, str. 54–57, 2012, ISBN 978-9940-9436-0-8
6. Ž. Mihajlović, V. Milosavljević, N. Maoduš, **V. Rajs**, M. Slankamenac, M. Živanov: ”System for Monitoring Concentration of NO₂ and CO Gasses on Landfill Sites” , 35. Microelectronics, Electronics and Electronic Technology – MIPRO, Opatija: MIPRO Croatian Society, 21–25 maj, 2012, str. 189–192, ISBN 978-953-233-069-4
7. Ž. Mihajlović, V. Milosavljević, **V. Rajs**, M. Živanov : „Application of GPRS Modules in Data Acquisition and Control of Devices for Air Quality Monitoring“, 20. Telekomunikacioni forum TELFOR, Beograd: Telecommunication society, 20–22 novembar, 2012, ISBN 978-1-4673-2984-2
8. V. Milosavljević, Ž. Mihajlović, **V. Rajs**, M. Živanov: “Realisation of Soil Humidity Sensor Using Specialized Embedded System“, 16. International Symposium on Power Electronics – Ee, Novi Sad: Power Electronics Society, Electrotechnical Institute "Nikola Tesla", Faculty of Technical Sciences, 2011, str. 1–4, ISBN 987-86-7892-356-2

9. Ž. Mihajlović, V. Rajs, V. Milosavljević, M. Živanov: “Solution for Monitoring of Carbon Monoxide with Early Warning System”, 16. International Symposium on Power Electronics – Ee, Novi Sad: Power Electronics Society, Electrotechnical Institute "Nikola Tesla", Faculty of Technical Sciences, 2011, str. 1–5, ISBN 987-86-7892-356-2
10. V. Rajs, V. Milosavljević, Ž. Mihajlović, M. Živanov: “Wireless System for Monitoring of Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide in the Air”, PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology - ICET, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, 2013, str. 1–3, ISBN 978-86-7892-510-8
11. Ž. Mihajlović, V. Milosavljević, **V. Rajs**, M. Živanov: “Remote Environmental Monitoring System for Application in Industry and Landfill Sites”, Mediterranean Conference on Embedded Computing – MECO, Budva: University of Montenegro, str. 64–67, 2013, ISBN 978-8840-9436-1-5
12. Ž. Mihajlović, Z. Radmilović, V. Milosavljević, **V. Rajs**, M. Živanov: „Implementation of Remote Environmental Monitoring System using RF Modules with Secure Communication between Devices“, Mediterranean Conference on Embedded Computing - MECO, Bar: University of Montenegro, 19–21 jun, 2012, str. 54-57, ISBN 978-9940-9436-0-8
13. **V. Rajs**, M. Slankamenac, V. Milosavljević, M. Živanov: „An embedded hardware system for real-time monitoring and control of level height in a water system“, International Conference – Research People and Actual Tasks on Multidisciplinary Sciences, Lozenec, Bulgaria 2007, str. 27–30, ISBN 978-954-91147-3-7

Rad u vodećem časopisu nacionalnog značaja (M51)

14. **V. Rajs**, M. Slankamenac, V. Milosavljević, M. Živanov: „Upravljanje i kontrola rada DC motora male snage putem radio komunikacije“, Energetika (List Saveza energetičara „Energija, ekonomija, ekologija“), Zlatibor, Srbija 2009, str 115–117, vol. 11, no. 1-2 UDK 621.314.1.004:62-5, ISSN: 0354-8651

Rad u časopisu nacionalnog značaja (M52)

15. **V. Rajs**, V. Milosavljević, Ž. Mihajlović, M. Živanov M:“ Merenje koncentracije prašine i automatska dezinfekcija vazduha u prostoriji“, Energetika (List Saveza energetičara „Energija, ekonomija, ekologija“), Zlatibor, Srbija 2014, ISBN 0354-8651

Rad u naučnom časopisu (M53)

16. **V. Rajs**, Ž. Mihajlović, V. Milosavljević, L. Nađ, M. Živanov: “Podešljivi stabilizator napona na autobusima gradskog prevoza”, Energija, ekonomija, ekologija, no. 3, str. 311–314, 2012, ISSN 0354-8651, UDK: 629.114.53.02/.07
17. **V. Rajs**, M. Slankamenac, V. Milosavljević, M. Živanov: “Idejno rešenje sistema za kontrolu rada DC motora putem SMS-a korišćenjem Simens ES 75 modema”, Energetika

(List Saveza energetičara „Energija, ekonomija, ekologija“), vol. 10, no. 3, str. 49–51, Zlatibor, Srbija 2008, UDK 621.313.2 : 621.317.7, ISSN: 0354-8651

Saopštenja sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini (M63)

18. **V. Rajs**, V. Milosavljević, M. Slankamenac: A microcontroller system with GSM, 6. Međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA, Jahorina, 28–30 mart, 2007, str. 630–634, ISBN 99938-624-2-8
19. D. Stupar, J. Bajić, M. Slankamenac, M. Jelić, M. Živanov, J. Tomić, **V. Rajs**, L. Manojlović, V. Milosavljević, R. Aleksić: „Nove tehnologije u zaštiti životne sredine korišćenjem fiber optičkih senzora“, 2. ZAŠTITA ŽIVOTNE SREDINE U ENERGETICI, RUDARSTVU I INDUSTRIJI, Zlatibor: Asocijacija geofizičara Srbije, Beograd, 2–4 mart, 2011, str 72–77, ISBN 978-86-913953-2-2
20. J. Bajić, R. Milovanović, **V. Rajs**, M. Živanov: „Termostat sa histerezisom za hlađenje sa mogućnošću podešavanja temperature uključenja“, Međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA, Jahorina, 21–23 mart 2009, vol. 8, no. F-8, str. 865–867, ISBN 99938-624-2-8
21. **V. Rajs**, Ž. Mihajlović, V. Milosavljević, M. Živanov : „Određivanje sumpor dioksida SO₂ u vazduhu na principu elektrohemijske detekcije“, 11. Međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA, Jahorina, 21–23 mart, 2012, str. 21–24, ISBN 978-99938-624-8-2
22. **V. Rajs**, V. Milosavljević, Ž. Mihajlović, M. Živanov: “Merenje temeprature, relativne vlažnosti vazduha i atmosferskog pritiska”, Međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA, Jahorina, no. 12, str. 54–59, mart, 2013, ISBN 978-99955-763-1-8
23. J. Tomić , **V. Rajs**, V. Milosavljević , Ž. Mihajlović, M. Živanov: „Realizacija instrumenta za merenje parametara životne sredine“, Zbornik 57. konferencije ETRAN, Zlatibor, 3–6. juna 2013, str. ML3.2.1-6, ETRAN (57; Zlatibor, 2013)
24. **V. Rajs** , V. Milosavljević, Ž. Mihajlović, G. Tanasić, M. Živanov: „Univerzalan algoritam za rad sa EEPROM memorijom velikog memorijskog kapaciteta“, Međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA, Jahorina, 28–30 mart, 2014, str. 34–38, ISBN 978-99955-763-3-2

Novi proizvod ili tehnologija, uvedeni u proizvodnju - međunarodni nivo (M81)

25. M. Slankamenac M., **V. Rajs**, V. Milosavljević, M. Živanov: „MD-150 – detektor aktivnosti mobilnih telefona i drugih izvora visokofrekventnog elektromagnetnog polja“
26. **V. Rajs**, V. Milosavljević, Ž. Mihajlović, M. Živanov, S. Krčo, M. Slavković: „EKOBUS600-sistem za GPS praćenje autobusa i monitoring atmosferskih uslova i štetnih gasova“, 2013

Bitno poboljšani postojeći proizvod ili tehnologija (M84)

27. M. Slankamenac, **V.Rajs**, V.Milosavljević, J. Bajić, M. Živanov: „UD-100 – univerzalni detektor bežične komunikacije“, str. 1–8, Izdavač: Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.

Prototip, nova metoda, softver standardizovan ili atestiran instrument (M85)

28. **V.Rajs**, V. Milosavljević, Ž. Mihajlović : „Realizacija udaljene merne stanice za praćenje parametara životne sredine“, str. 1–8, Izdavač: Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Spisak skraćenica

- ADC (*eng. Analog-To-Digital Converter*) – analogno-digitalni konvertor
- APN (*eng. Access Point Name*) – tačka konekcije GPRS mreže sa internet mrežom.
- ARMA (*eng. Autoregressive–Moving-Average*) – autoregresioni model pomičnih sredina sa spoljašnjom pobudom
- ASCII (*eng. American Standard Code for Information Interchange*) – američki standardni kod za razmenu podataka
- CPU (*eng. Central Processing Unit*) – centralna procesorska jedinica
- CISC (*eng. Complex instruction set computer*) – procesor sa kompleksnim skupom instrukcija
- EMF (*eng. electromotive force*) – elektromotorna sila
- EU-OSHA (*eng. Occupational Safety and Health Administration*) – europska agencija za zdravlje i zaštitu na radu
- FIFO (*eng. first in first out*) – postupak pri kome prvi element niza koji prvi koji uđe u registar, prvi i izađe iz registra
- GSM (*eng. Global System for Mobile*) – globalni sistem mobilne telefonije
- GPS (*eng. Global Positioning System*) – globalni sistem za pozicioniranje
- GPRS (*eng. General Packet Radio Switching*) – europski institut za standarde u telekomunikacijama je GPRS standardizovao kao implementaciju paketnog prenosa podataka kroz stalnu vezu ali i kroz optimizaciju grupisanja u pakete
- HMI (*eng. Human Machine Interface*) – interakcija čovek-mašina
- IEEE (*eng. Institute of Electrical and Electronics Engineers*) – institut inženjera elektrotehnike i elektronike
- IP (*eng. internet protocol*) – internet protokol
- Kbps – kilobit po sekundi
- LED (*eng. Light-emiting diode*) – svetleća dioda
- LEL (*eng. Lower Explosive Limit*) – donja granica eksplozivnosti
- LFL (*eng. Lower Flammable Limit*) – donja granica zapaljivosti
- MIPS – milion instrukcija po sekundi
- MISO (*eng. master input, slave output*) – ulaz glavnog uređaja izlaz periferije
- MOSI (*eng. master output, slave input*) – izlaz glavnog uređaja ulaz periferije
- NMEA (*eng. National Marine Electronics Association*) – američki standard za elektronske komunikacije
- PEL (*eng. Probable Effect Level*) – granica iznad koje postoji uticaj nekog gasa
- PLL (*eng. Phase Locked Loop*) – fazno zatvorena petlja
- PPM (*eng. Parts Per Million*) – označava milioniti deo jedne celine
- RAM (*eng. Random Access Memory*) – memorija nasumičnog pristupa
- RISC (*eng. Reduced instruction set computing*) – procesor sa ograničenim skupom instrukcija
- SCK (*eng. serial clock*) – takt serijske veze
- SS (*eng. slave select*) – odabiranje perifernog uređaja
- SMS (*eng. Short Messaging Service*) – servis kratkih poruka
- SPI (*eng. Serial Peripheral Interface*) – sinhronizovana serijska komunikacija mikorkontrolera sa perifernim uređajima

UART (*eng. Universal asynchronous receiver/transmitter*) – univerzalna serijska asinhrona komunikacija
WiFi – bežična internet konekcija

SADRŽAJ

1. UVOD	9
1.1. ZNAČAJ I POTREBA ZA UDALJENIM MERENJIMA PARAMETARA ŽIVOTNE SREDINE	11
2. ANALIZA PROBLEMA	13
2.1. POSTAVKA PROBLEMA	13
2.2. PREDMET ISTRAŽIVANJA	14
2.2.1. REALIZACIJA MOBILNE I STACIONARNE MERNE STANICE.....	14
2.2.2. PRIKUPLJANJE PODATAKA	15
2.2.3. OBRADA I ANALIZA PODATAKA ODGOVARAJUĆIM METODAMA, POSTAVKA HIPOTEZA.....	15
2.3. PREGLED OSTVARENIH REZULTATA I RELEVANTNIH ISTRAŽIVANJA.....	16
3. PREDLOŽENA ARHITEKTURA I REALIZACIJA STANICE ZA MERENJE PARAMETARA ŽIVOTNE SREDINE ..21	
3.1. NAPAJANJE UREĐAJA.....	25
3.1.1. STRUKTURA NAPAJANJA UREĐAJA	25
3.1.1.1. Filtriranje ulaznog napona	25
3.1.1.2. Zaštita od prenapona	26
3.1.1.3. Naponski regulator sa signalizacijom rada	27
3.1.1.4. Uključivanje uređaja.....	28
3.2. GLAVNA PLOČA.....	28
3.2.1. CENTAR SISTEMA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA	29
3.2.2. CENTAR SISTEMA ZA SKLADIŠTENJE PODATAKA.....	33
3.2.2.1. Algoritam za efikasan rad i uslovi korišćenja spoljašnje memorije	35
3.2.3. CENTAR SISTEMA ZA SLANJE PODATAKA. GSM/GPRS PRENOS PODATAKA	39
3.2.3.1. Telit GM862 GSM Modem	41
3.2.3.2. Rad sa Telit GM862 modemom.....	43
3.3. SENZORSKI BLOK.....	46
3.3.1. KATALITIČKI SENZORI	46
3.3.2. ELEKTROHEMIJSKI SENZORI	49
3.3.3. SENZORI GASOVA BAZIRANI NA APSORPCIJI INFRACRVENIH ZRAKA	53
3.3.4. SENZORI BAZIRANI NA PRINCIPU POLUPROVODNIČKE DETEKCIJE	56
3.3.5. PREGLED IZBORA GASNIH SENZORA NA OSNOVU PRINCIPA I USLOVA RADA	58
3.3.6. SENZOR TEMPERATURE I RELATIVNE VLAŽNOSTI VAZDUHA.....	60
3.3.6.1. Karakteristike senzora:.....	60
3.3.6.2. Komunikacija sa senzorom.....	61
3.3.6.3. Zadavanje komandi senzoru	62
3.3.6.4. Merenje temperature i relativne vlažnosti	63
3.3.6.5. Računanje temperature i relativne vlažnosti na osnovu rezultata merenja	65
3.3.7. SENZOR ZA ATMOSFERSKI PRITISAK	66
3.3.7.1. Karakteristike senzora	67
3.3.8. SENZOR ZA DETEKCIJU UGLJEN-MONOKSIDA.....	71
3.3.9. SENZOR ZA DETEKCIJU UGLJEN-DIOKSIDA.....	74
3.3.10. SENZOR ZA DETEKCIJU AZOT-DIOKSIDA.....	77
3.3.11. SENZOR ZA DETEKCIJU SUMPOR-DIOKSIDA.....	79
3.3.12. SENZOR ZA DETEKCIJU OZONA	82
3.3.13. SENZOR ZA DETEKCIJU AZOT-MONOKSIDA	83
3.4. ALGORITAM RADA UREĐAJA I PRIKAZ PODATAKA	84

3.4.1. ALGORITAM RADA UREĐAJA	84
3.4.2. PRIKAZ PODATAKA	87
4. METODE OBRADJE PODATAKA	90
4.1. REGRESIONA I KORELACIONA ANALIZA	90
4.1.1. CILJEVI REGRESIONE I KORELACIONE ANALIZE	91
4.1.2. REGRESIONA ANALIZA	91
4.1.3. IZBOR OBLIKA REGRESIONOG MODELA	94
4.1.4. OCENJIVANJE REGRESIONIH KOEFICIJENATA. FITOVANJE PODATAKA METODOM NAJMANJIH KVADRATA	96
4.1.5. TESTIRANJE ZNAČAJNOSTI REGRESIONE VEZE	101
4.1.6. PROSTA LINEARNA KORELACIJA	101
4.2. ISPITIVANJE MEĐUSOBNE ZAVISNOSTI IZMERENIH KONCENTRACIJA CO I NO ₂ PRIMENOM METODA MATEMATIČKE STATISTIKE	106
4.3. PRETPOSTAVLJANJE KONCENTRACIJE GASOVA NA ODREĐENOJ TERITORIJI KORIŠĆENJEM METODA MATEMATIČKE STATISTIKE	121
4.4. PREDIKCIJA PARAMETARA ŽIVOTNE SREDINE KORIŠĆENJEM ARMA MODELA	125
4.5. DISKUSIJA DOBIJENIH REZULTATA	127
5. ZAKLJUČAK	131
6. PRILOZI	133
6.1. PRILOG 1: KALIBRACIJA SENZORA	133
6.2. PRILOG 2: HTML KOD PRIKAZA KONCENTRACIJA GASOVA NA GEOGRAFSKOJ MAPI	135
7. LITERATURA	137

1. UVOD

Kako se efekat globalnog zagrevanja odigrava širom planete, tako se svetska populacija suočava sa verovatno jednim od najvažnijih socijalnih i naučnih fenomena. Ovaj efekat zahteva masovnu koordinaciju inženjera i naučnika na globalnom nivou, kako bi se narastajući problem uspešno razrešio. Osnovni korak ka rešenju ovog problema je praćenje parametara životne sredine. Životna sredina predstavlja skup prirodnih i stvorenih vrednosti čiji kompleksni međusobni odnosi čine okruženje, odnosno prostor i uslove za život, dok kvalitet životne sredine predstavlja stanje životne sredine koje se iskazuje fizičkim, hemijskim, biološkim, estetskim i drugim indikatorima.

Procesi koji se odnose na praćenje i vrednovanje kvaliteta životne sredine su:

- planiranje mera zaštite životne sredine,
- praćenje stanja životne sredine,
- podrška institucijama i organizacijama za zaštitu životne sredine,
- obuka društva iz oblasti životne sredine,
- regulisanje zaštite životne sredine,
- snažna kontrola aktivnosti koje su štetne po životnu sredinu
- uspostavljanje infrastrukture i sprečavanje negativnih uticaja na zaštitu životne sredine.

Praćenje kvaliteta životne sredine predstavlja sistematsko merenje i ispitivanje parametara kao i ocenjivanje indikatora stanja i zagađenja životne sredine. Na osnovu dostupnih podataka sa mernih mesta o stanju životne sredine dobija se jasan uvid u promene kvaliteta i kvantiteta životne sredine, emisije zagađujućih materija i korišćenje prirodnih resursa [1]. Realizacija programa praćenja životne sredine jedan je od osnovnih zadataka iz oblasti zaštite životne sredine, jer rezultati praćenja čine osnovu za ocenu ukupnog stanja životne sredine.

Svaka aktivnost koja utiče na životnu sredinu predstavlja zahvat (stalni ili privremeni) kojim se menjaju i/ili mogu promeniti stanja i uslovi u životnoj sredini, a odnosi se na: korišćenje resursa i prirodnih dobara; procese proizvodnje i prometa; distribuciju i upotrebu materijala;

ispuštanje (emisiju) zagađujućih materija u vodu, vazduh ili zemljište; upravljanje otpadom i otpadnim vodama, hemikalijama i štetnim materijama; buku i vibracije; jonizujuće i nejonizujuće zračenje.

Kontinuirana kontrola i praćenje stanja životne sredine (monitoring životne sredine) obaveza je definisana osnovnim odredbama Zakona o zaštiti životne sredine. Ovim zakonom uređuje se integralni sistem zaštite životne sredine kojim se obezbeđuje ostvarivanje prava čoveka na život i razvoj u zdravoj životnoj sredini i uravnotežen odnos privrednog razvoja i životne sredine u Republici Srbiji. Član 9. načela zaštite životne sredine, u vezi sa informisanjem i učešćem javnosti, kaže da su podaci o stanju životne sredine javni. Isti član kaže da svako ima pravo da bude obavešten o stanju životne sredine i da učestvuje u postupku donošenja odluka čije bi sprovođenje moglo da utiče na životnu sredinu [2].

Integralno upravljanje životnom sredinom u našoj zemlji nije zadovoljavajuće. Važeći zakoni i drugi propisi često se zanemaruju ili uopšte ne primenjuju, a ekonomski instrumenti zaštite životne sredine nedovoljno su razvijeni. Postojeći tehnološki procesi ne odgovaraju zahtevima zaštite životne sredine, a obrazovanje u oblasti životne sredine tek poslednjih godina počinje da bude pravilno organizovano i programski usmereno. Usled nepostojanja integralnog informacionog sistema za životnu sredinu, informisanje o stanju životne sredine je nedovoljno, sporo i neefikasno. Vrlo često se dolazi do degradacije životne sredine tj. narušavanja kvaliteta životne sredine kao posledica ljudske aktivnosti ili kao posledica nepreduzivanja mera radi otklanjanja uzroka koji utiče negativno na kvalitet životne sredine. Ako želimo postići bolje rezultate u očuvanju životne sredine potrebno je podići svest i unaprediti tehniku na ovom polju [3].

Evropska strategija održivog razvoja i standardi zaštite životne sredine zahtevaju da se razvoj u XXI veku mora zasnivati na racionalnoj upotrebi prirodnih resursa, uz minimalne i reverzibilne štetne efekte na životnu sredinu. Problemi životne sredine moraju se rešavati globalno, jer se radi o globalnom fenomenu. Ekonomski razvoj mora ići ruku pod ruku sa uvećavanjem kvaliteta života, a uz minimalnu štetu po životnu sredinu. Ovakav integralni pristup razvoju predstavlja osnovnu platformu Ujedinjenih nacija sadržanu u Agendi 219 i u Milenijumskim ciljevima [4].

Znajući da je jedan od osnovnih aspekata kvaliteta života obostrana veza sa kvalitetom životne sredine, dolazi se do zaključka da je merenje kvaliteta životne sredine samo polazna tačka ka unapređenju kvaliteta života.

Izveštaji poslednjih godina sa mernih stanica širom planete nedvosmisleno govore o tome da postoji trend globalnog zagrevanja vazduha i vode. Ovaj efekat dovodi do topljenja ledenog pokrivača na polovima i do porasta nivoa mora, a utiče i na sav biljni i životinjski svet. Za sav živi svet neophodno je da se održi balans između energije koju primi Zemlja od Sunca i energije koju Zemlja vraća nazad. Međutim, zbog prisustva različitih molekula i čestica gasova u atmosferi, kao i zbog same dugotalasne prirode toplotnog zračenja, toplota nastala na račun Sunčevog zračenja nikada ne napušta atmosferu u potpunosti. Na svom putu ka vasioni, značajan deo izračene toplote se odbija od različitih molekula u atmosferi i vraća natrag prema površini Zemlje. Na taj način atmosfera neprekidno zadržava određenu količinu toplotne energije koja je neophodna za odvijanje života na našoj planeti. Ovaj prirodan fenomen u kome atmosfera propušta kratkotalasno sunčevo zračenje, a zadržava dugotalasno toplotno izračivanje, pri čemu dolazi do njenog zagrevanja, naziva se efekat staklene bašte (*eng. greenhouse effect*) [5].

Ljudske aktivnosti kao što su sagorevanje fosilnih ostataka, masovna seča šuma, industrijska i poljoprivredna proizvodnja poslednjih decenija imaju ogroman doprinos, koji

prevazilaze prirodne izvore u proizvodnji štetnih gasova. Najveći uticaj na pojavu efekta staklene bašte i na zagađavanje životne okoline imaju gasovi poput ugljen-dioksida (CO₂), metana (CH₄) azot-monoksida (NO), azot-dioksida (NO₂), sumpor-dioksida (SO₂), ugljen-monoksida (CO) i sl.

Jedan od ključnih faktora u održavanju koncentracije štetnih gasova u granicama propisanih od strane Ministarstva životne sredine je njihovo merenje i nadgledanje.

1.1. ZNAČAJ I POTREBA ZA UDALJENIM MERENJIMA PARAMETARA ŽIVOTNE SREDINE

Do zagađenja vazduha dolazi kada se gasovi i mikroskopske čestice čađi i prašine oslobađaju u Zemljinu atmosferu, što izaziva promenu prirodnog odnosa i koncentracije osnovnih komponenti vazduha. Ponekad ove čestice dospevaju u atmosferu prirodnim putem, na primer, oslobađanjem usled vulkanskih erupcija i prirodnih požara. Ipak, mnogo češće je slučaj da one dospeju u atmosferu kao posledica čovekovih aktivnosti. Saobraćaj i industrija su osnovni izvori zagađenja vazduha. Tokom sagorevanja različitih oblika goriva u motorima ili fabrikama, osim oslobađanja energije, ispušta se i velika količina štetnih materija, kao što su ugljen-monoksid, ugljen-dioksid, oksidi azota, pepeo, čađ, sumpor-dioksid... Paljenje šuma radi oslobađanja poljoprivrednog zemljišta, drumski i avio saobraćaj, rad u fabrikama i termoelektranama, sagorevanje ogreva u domaćinstvima samo su neki od načina kako ljudski faktor utiče na zagađenje atmosfere. U osnovi gotovo svih oblika aerozagađenja je potreba čoveka za energijom, koja se dobija na račun sagorevanja drveta, uglja, nafte ili prirodnog gasa. Termoelektrane u kojima se sagorevaju ogromne količine uglja za proizvodnju električne energije oslobađaju mnoge zagađujuće materije koje dospevaju u vazduh. Iako veliki deo otrovnih gasova iz termoelektrana odlazi u više slojeve atmosfere, značajan deo ostaje u okolini elektrane, gde su uslovi za život čoveka veoma nepovoljni, pa su česta oboljenja pluća i respiratornih organa [6].

Poslednjih godina izveštaji o stanju životne sredine ovlašćenih institucija zasnivaju se na podacima koji su dobijeni sa stacionarnih mernih stanica. Broj mernih stanica na teritoriji jednog grada od oko 50.000 stanovnika u Srbiji ne prelazi više od pet [7]. S obzirom na veliku aktivnost zagađivača u urbanim sredinama, broj mernih stanica nije dovoljan.

Pošto je finansijski skupo, a i praktično nemoguće napraviti veliki broj mernih stanica koje bi premrežile ceo grad ili državu, moraju se pronaći alternativna rešenja. Jedno od najefikasnijih rešenja je konstantno merenje koncentracije gasova i atmosferskih uslova u realnom vremenu sa mobilne merne stanice. Prednost udaljenih merenja je u tome što čovek ne mora biti fizički prisutan na samom mestu merenja. Pored toga, merenja mogu da se vrše kontinualno, a slanje na udaljeni terminal se obavlja po zahtevu korisnika. Takođe, moguće je čuvati podatke na disku računara duži vremenski period i kasnije izvršiti njihovu obradu.

Potreba za ovakvim sistemom je od esencijalnog značaja za lokalne institucije. Rezultati merenja u realnom vremenu veoma korisno se mogu iskoristiti u svim granama privrede. Naime, ujedno, u skladu sa izveštajnim periodima, mogu se dobijati konkretne vrednosti parametara životne sredine koje su od suštinskog značaja za život ljudi. S druge strane, sistem daje mogućnost vrednovanja kvaliteta života u manjim ili većim gradovima, a uz određene adaptacije i korekcije, može se primeniti i na veća područja i regione. Dobijeni rezultati se mogu uporediti između gradova i opština u regionu, kako u državi, tako i sa bilo kojim gradom ili regionom u

svetu. Na osnovu dobijenih rezultata mogu se utvrditi prioriteti i konkretne aktivnosti za unapređenje kvaliteta životne sredine.

U ovoj disertaciji je kroz sedam poglavlja dat opis konkretnih aktivnosti za unapređenje praćenja stanja životne sredine. U poglavlju pod nazivom *ANALIZA PROBLEMA* prezentovana je postavka problema urbanog društva sa kvalitetom životne sredine, opisan je konkretan predmet istraživanja, postavljene su konkretne hipoteze i dat je pregled dosada ostvarenih naučnih i tehničkih rezultata i relevantnih istraživanja.

Pošto predmet istraživanja doktorske disertacije čini više stavki podeljenih u celine, u trećem po redu poglavlju, pod nazivom *PREDLOŽENA ARHITEKTURA I REALIZACIJA STANICE ZA MERENJE PARAMETARA ŽIVOTNE SREDINE*, opisan je način realizacije merne stanice koja predstavlja osnovu za naučna istraživanja. U ovom poglavlju, opisani su senzori za praćenje parametara životne sredine i prezentovana je njihova konkretna uloga u celom sistemu. Posebna pažnja je posvećena sensorima za merenje koncentracije ugljen-monoksida i azot-dioksida. U poglavlju je opisan algoritam rada uređaja i način prikazivanja izmerenih podataka.

U četvrtom poglavlju, *METODE OBRADJE PODATAKA*, detaljno je opisan matematički aparat, *Regresiona i korelaciona analiza*, koji se koristi za dokazivanje hipoteza. Zatim, na konkretnim primerima dokazane su sve pretpostavke i hipoteze zadate u samoj osnovi disertacije. Na osnovu prikupljenih podataka i statističkoj analizi, dokazana je hipoteza o postojanju funkcionalne zavisnosti između veličina koncentracija CO i NO₂, hipoteza o prikazu koncentracija gasova na osnovu podataka sa pokretne merne stanice i predikcija parametara životne sredine korišćenjem ARMA modela.

U poglavlju *ZAKLJUČAK* istaknut je naučni doprinos ove disertacije i dat pregled mogućnosti za unapređenje sistema. U poglavlju *PRILOG* detaljnije su objašnjene pojedine analize i data pojašnjenja za delove koji nisu konkretno predmet istraživanja, a u vezi su sa samom disertacijom.

U poslednjem poglavlju pod nazivom *LITERATURA* dat je pregled korišćene literature.

2. ANALIZA PROBLEMA

2.1. POSTAVKA PROBLEMA

Poznato je da urbanizacija doprinosi klimatskim promenama. Danas urbano stanovništvo čini skoro polovinu svetske populacije. Procenjuje se da grad od milion stanovnika stvara oko 25.000 tona CO₂ i oko 300.000 tona otpadnih voda svakog dana [8]. Koncentracija raznovrsnih aktivnosti i emisije koje potiču iz urbanih sredina dovoljne su da modifikuju lokalnu atmosfersku cirkulaciju oko gradova. Ova modifikacija je toliko značajna da može uticati na promenu regionalne klime, koja sa svoje strane utiče na globalnu klimu. Ako se ovakav uticaj nastavi, dugoročni uticaj na globalnu klimu postaće sve izraženiji. Smatra se da je koncentracija ugljen dioksida iz perioda pre industralizacije u atmosferi iznosi oko 300ppm, a da će do kraja ovog veka, ako se nešto ne promeni, iznositi oko 900 ppm [8].

Zbog guste naseljenosti, intenzivnog saobraćaja, sagorevanja fosilnih goriva i industrijskih aktivnosti, urbane sredine su specifične kako sa aspekta procene kvaliteta vazduha i zaštite životne sredine, tako i sa aspekta procene rizika od različitih polutanata. Postavljanje mernih mesta u urbanim sredinama, izbor zagađujućih materija, metode uzorkovanja i metode određivanja moraju biti u skladu sa domaćom regulativom, kao i sa međunarodnim dokumentima, kao što je, *Air Quality guidelines*, koji je izdala Međunarodna zdravstvena organizacija, (WHO)[9].

Broj i raspored mernih mesta zavisi od površine područja, vrste izvora koji zagađuju vazduh, geografskih karakteristika (konfiguracija terena) i gustine naseljenosti. Svrha i cilj monitoringa, takođe opredeljuju mrežu mernih mesta. Na velikoj, ravnoj, gusto naseljenoj površini merna mesta se mogu rasporediti u jednakim razmacima. Gustina mreže ne treba da bude veća od jednog mernog mesta na 4x4 km² ako je raspored geometrijski ili jedno mesto na 25.000 stanovnika ako se gustina naseljenosti uzima kao kriterijum. Naravno, ovako retko postavljena mreža senzora ne omogućava da se lokalizuju i izmere velike i nedozvoljene koncentracije gasova koje mogu da predstavljaju opasnost po ljudsko zdravlje, a koje potiču od manjih fabrika i postrojenja.

Merna mesta treba da budu gušća u centru (očekivane više koncentracije), a sve ređa prema periferiji grada. Bliže karakteristike lokacija kao i broj mernih mesta uslovljeni su svrhom merenja. Pravila za formiranje lokalne urbane mreže nisu univerzalna i pored makroplana, samu lokaciju merenja određuju sledeći elementi: namena površine, pretežan način izgradnje na području i način grejanja. Za prostornu pokrivenost grada i određivanje mernih mesta, relevantnih za izloženost stanovništva, treba uzeti u obzir sledeće lokacije: grad-urbani centar, šire urbano područje, suburbano stanovanje, mesta uz ivicu trotoara, mesta pokraj puta i industrijskih postrojenja, ruralne, zelene i rekreativne površine, prostor orijentisan ka izvoru zagađenja ili veći zatvoreni prostor.

Praćenje parametara životne sredine sastoji se od vremenski i prostorno raspoređenih merenja koja pored informacija o numeričkoj vrednosti neke veličine na datoj lokaciji i u datom trenutku sadrže i informacije o prostornim i vremenskim varijacijama. Analizom dobijenih podataka mogu se predvideti i prepoznati problemi koji bi mogli da nastanu po zdravlje živih organizama i životnu sredinu.

2.2. PREDMET ISTRAŽIVANJA

Na osnovu prethodnih iskustava u oblasti elektronike i bežičnog prenosa, predmet istraživanja doktorske disertacije čini više stavki podeljenih u sledeće celine:

- realizacija mobilne i stacionarne merne stanice,
- prikupljanje podataka,
- obrada i analiza podataka odgovarajućim metodama, postavka hipoteze,
- dokaz hipoteze.

2.2.1. REALIZACIJA MOBILNE I STACIONARNE MERNE STANICE

Cilj ovog dela istraživanja je napraviti univerzalnu stanicu za praćenje parametara životne sredine u gradskoj sredini koja može biti infiltrirana u već postojeće gradske infrastrukture. Ako je u pitanju stacionarna merna stanica, onda se ona postavi na tačno određenu lokaciju, pa samim tim i napajanje dobija iz gradske mreže. Mobilne merne stanice se postavljaju na vozilo gradskog saobraćaja, uglavnom autobuse i napajaju se iz akumulatora.

Operacije koje vrši merna stanica u okviru praćenja parametara životne sredine su sledeće:

- merenje ambijentalne temperature
- merenje vazdušnog pritiska
- merenje vlažnosti vazduha
- merenje koncentracije sumpor-dioksida SO₂
- merenje koncentracije ugljen-dioksida CO₂
- merenje koncentracije ugljen-monoksida CO
- merenje koncentracije azot-monoksida NO
- merenje koncentracije azot-dioksida NO₂
- merenje koncentracije ozona O₃
- određivanje pozicije putem GPS-a.

Nakon prikupljanja podataka, merne stanice putem GPRS komunikacije podatke šalju u nadzorni centar. Nadzorni centar čini server sa bazom podataka. Server prikuplja, obrađuje podatke i daje adekvatan grafički prikaz.

2.2.2. PRIKUPLJANJE PODATAKA

Prikupljanje podataka se vrši u gradskoj sredini, gde primarno zagađenje potiče najčešće od gradskog saobraćaja, odnosno motora sa unutrašnjim sagorevanjem. Podaci se dobijaju na dva načina: sa stacionarne merne stanice i sa mobilne merne stanice. Stacionarne merne stanice su uglavnom postavljene pokraj nekih raskrsnica u gradovima: Novi Sad, Beograd i Pančevo. Na ovaj način dobijaju se podaci sa tačno određene lokacije.

U drugom slučaju u saradnji sa GSP Pančevo, merne stanice su postavljene na gradske autobuse. Na ovaj način praktično se dobijaju mobilne merne stanice. Kako svaka merna stanica poseduje uređaj za praćenje lokacije GPS, tako pored svakog seta podataka sa senzora dobija se i trenutna lokacija sa koje su izmereni podaci. Frekvencija dobijanja podataka je promenljiva, pa se u zavisnosti od eksperimenta podešava po potrebi. Prikupljajući podatke sa svih autobusa tokom jednog dana može se dobiti celokupna slika merenja određenog parametra na teritoriji celog grada. Mobilna merna stanica u ovom slučaju može da zameni više stacionarnih pa su istraživanja uglavnom vršena na bazi mobilnih mernih stanica.

Svaka od stanica poseduje set senzora za merenje parametara. Senzori koji se koriste za merenje koncentracije gasova rade na sledećim principima detekcije:

- Katalitički princip detekcije – senzori su napravljeni od tankog vlakna platine koje je savijeno u spiralu. Katalitičko sagorevanje gasa i kiseonika u atmosferi izaziva porast temperature na platinijumskom vlaknu. Ovim porastom temperature menja se i otpornost vlakna pa se na taj način vrši detekcija gasa.
- Elektrohemijski princip detekcije – elektrohemijski senzori rade na principu reakcije sa gasom čiju koncentraciju merimo, produkujući električni signal koji je ekvivalentan koncentraciji gasa. Zbog svoje niske potrošnje energije, najniže od svih dostupnih senzora za gasni monitoring, ovi senzori se široko koriste kod mobilnih detektora sa više senzora.
- Poluprovodnički princip detekcije – ovi senzori imaju mogućnost promene električne otpornosti u zavisnosti od koncentracije gasa u okruženju
- Detekcija na osnovu principa apsorpcije infracrvenih zraka – infracrveni princip detekcije koristi se za merenje karakterističnih gasova koji apsorbuju svetlost u definisanim talasnim dužinama.

2.2.3. OBRADA I ANALIZA PODATAKA ODGOVARAJUĆIM METODAMA, POSTAVKA HIPOTEZA

Statistička analiza podataka obično se odnosi na dve ili više slučajnih promenljivih. Promena jednog obeležja statističkog skupa često utiče na promenu drugog obeležja, zbog međusobne povezanosti. Konkretno u ovom slučaju, pri velikom broju merenja na više različitih mesta, uočena je veza između dveju promenljivih koje predstavljaju vrednosti zagađujućih materija u vazduhu. Pretpostavka je da postoji funkcionalna zavisnost između veličina koncentracija CO i NO₂. Ovo se posebno odnosi na gradska područja gde zagađenje vazduha dominantno potiče od izduvnih gasova motora sa unutrašnjim sagorevanjem.

Da bi se dokazale ove pretpostavke, potrebno je korišćenje matematičkih metoda – korelacije i regresije. Ove metode daju precizne podatke samo u ustaljenim i sporopromenljivim uslovima kada se ne pojavljuju nagle atmosferske promene, jer se radi o slabijim vezama koje su podložne manjim ili većim odstupanjima, tzv. korelativnim ili stohastičkim. Osnovni pokazatelji korelacionih veza su jednačine regresije i koeficijent korelacije. Korišćenjem ove statističke analize mernih podataka dolazi se do pretpostavke o mogućnosti smanjenja broja senzora na mernoj stanici, jer se praćenjem jedne veličine može doći do pretpostavljene vrednosti druge veličine.

Korišćenjem regresionog modela – interpolacije i ekstrapolacije, pokazala se mogućnost smanjenja broja mernih stanica. Naime, korišćenjem interpolacionih krivih moguće je na teritoriji grada prikazati estimacije koncentracija gasova na osnovu podataka sa pokretne merne stanice.

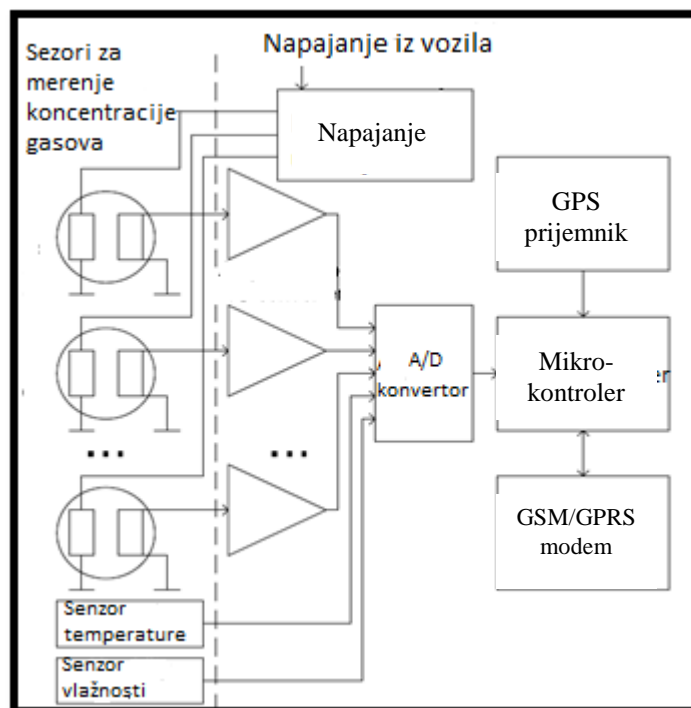
Pored regresionih modela koji razmatraju vezu između dve ili više različitih pojava, u ovom radu korišćeni su i ARMA modeli vremenskih serija koji ispituju uticaj prethodnih vrednosti jedne pojave na njenu sadašnju i buduću vrednost. Ovakvim pristupom proučavano je ponašanje koncentracija gasova i data je predikcija vrednosti pod određenim uslovima.

Sva osnovna istraživanja u ovom radu su bazirana na realizovanom sistemu za udaljeno merenje parametara životne sredine.

2.3. PREGLED OSTVARENIH REZULTATA I RELEVANTNIH ISTRAŽIVANJA

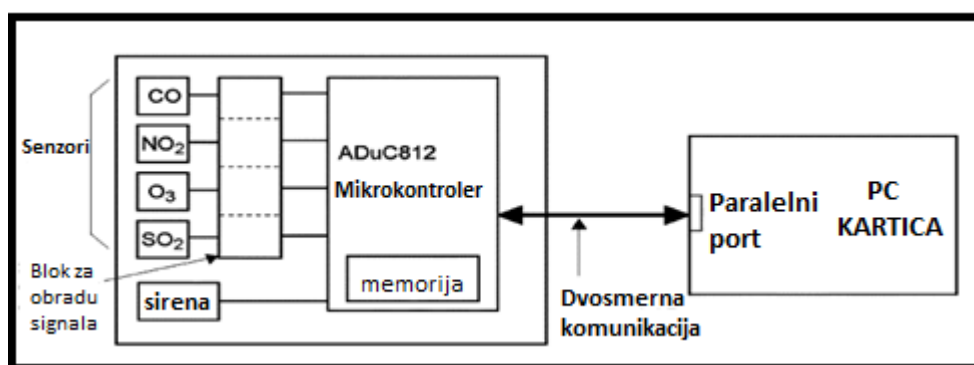
Pregled relevantnih istraživanja oslanja se uglavnom na naučnim radovima iz baze IEEE. U ovom poglavlju pojedinačno su analizirani radovi koji imaju slična istraživanja. U svakoj analizi predstavljen je koncept naučnog rada, modifikacije i unapređenja koja su urađena u istraživanju na temu disertacije.

U radu [10] autori su predstavili koncept mobilnog sistema hemijske kontrole vazduha (slika 2.3.1) bazirajući se na merenju koncentracije gasova NO_x , SO_2 , CO . Sistem je baziran na GSM mreži. Sistem je zatvoren i nema mogućnost pregleda podataka od strane običnog internet korisnika. U predmetu istraživanja ove disertacije, kao jedan od primarnih zadataka navodi se sam prikaz podataka na nekoj od internet stranica koje su dostupne običnim internet korisnicima. Kako sistem opisan u radu ne pruža mogućnost pregleda podataka od strane klijenta, sam sistem ne daje kompletno rešenje. Arhitektura uređaja se bazira na mikokontroleru, senzorima za koncentraciju gasova, GPRS i GPS modemima i eksternim AD konvertorima. Ovo je klasičan koncept koji se koristi za ovu metodu merenja uz manje modifikacije. Modifikacije mogu biti u smislu korišćenja internih AD konvertora i jedinstvenim modemom koji sadrži GSM i GPRS prenos podataka. U samom radu nije data obrada dobijenih podataka, tako da je ovaj rad predstavljao samo osnovu za razvoj arhitekture uređaja.



Slika 2.3.1. Koncept mobilnog sistema hemijske kontrole vazduha opisan u [10]

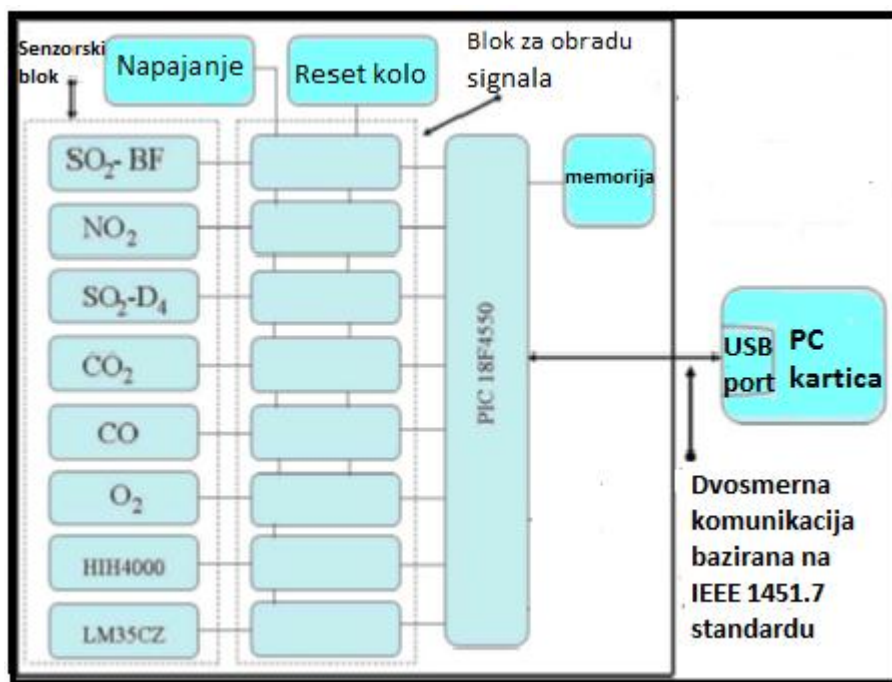
Rad [11] prikazuje sistem koji takođe nema mogućnosti pregleda podataka putem interneta. Sistem je statičan jer je priključen na paralelni port računara i tim putem se vrši prenos podataka. Arhitektura sistema je takva da poseduje mikrokontroler sa internim AD konvertorom i dosta različitih senzora međutim nema bežični prenos podataka. Ovaj sistem nije pogodan za rad van laboratorije (slika 2.3.2).



Slika 2.3.2. Koncept statičnog sistema hemijske kontrole vazduha opisan u [11]

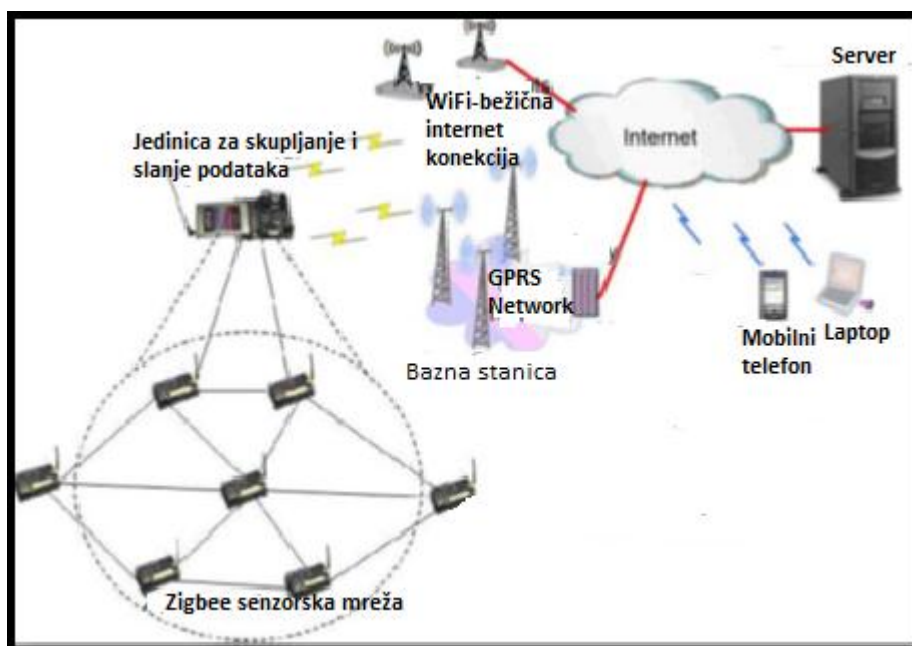
Slično prethodnom radu i sistem opisan u [12] nije pogodan za rad u spoljašnjim uslovima, ali ima obradu podataka velikog broja senzora sa malom potrošnjom: senzor temperature LM 35CZ [13], senzor vlažnosti vazduha HIH-4000 [14], senzor za ugljen- onoksid CO-CF [15], senzor za ugljen dioksid CO₂-DIN [16], senzor za sumpor-dioksid SO₂-D4 [17], senzor za kiseonik O₂-Al [18], senzor za ugljen dioksid NO₂-AE [19] (slika 2.3.3). Ovi senzori su po mernom opsegu i potrošnji odlični za rad u spoljašnjim uslovima, ali njihova visoka cena i

teška nabavljalnost predstavlja veoma veliki problem. Takođe, ovaj sistem nema prenos podataka putem GSM mreže niti obradu podataka.



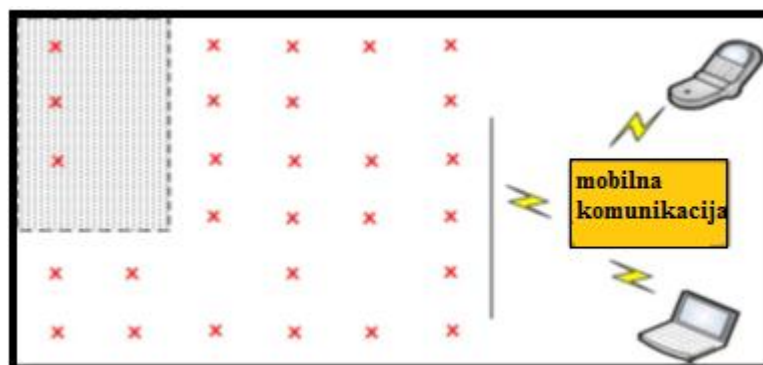
Slika 2.3.3. Koncept sistema merne stanice opisan u [12]

U radovima [20] i [21] predstavljen je sistem sa mrežom senzora i jednom stanicom koja sakuplja podatke sa svih senzora i šalje na udaljeni terminal. Sistem je realizovan kao *Zigbee* senzorska mreža, a prenos podataka ka udaljenom terminalu je realizovan preko GPRS-a (slika 2.3.4). U disertaciji, nije odlučeno da se koristi mreža senzora isključivo zbog lokacija mernih jedinica. Naime, senzorska mreža je odličan način komunikacije i prenosa podataka jer postoje mnoge dodatne mogućnosti, kao što su nezavisnost mreže i mogućnost detekcije kvara na više načina, ali najveća mana sistema je postojanje ograničenja u rastojanju između mernih jedinica. Ovaj sistem nije predviđen za postojanje mernih jedinica u različitim krajevima grada tj. na udaljenostima većim od 1km.



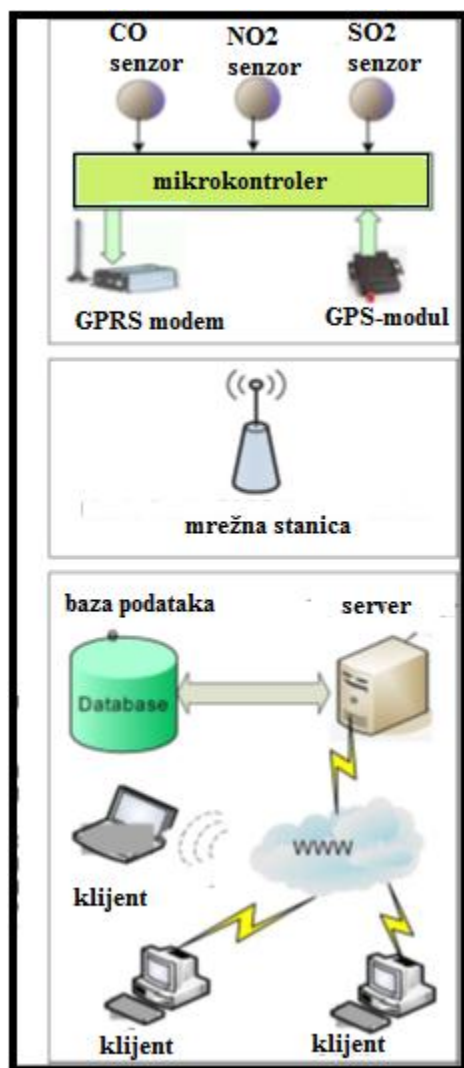
Slika 2.3.4. Koncept udaljeno merenja opisan u [20]

Rad [22] uvodi mobilni telefon kao dodatni deo u celom sistemu. Ova ideja je jako dobra jer postoji mogućnost pristupa i promene parametara sistema putem mobilnog telefona. U samom radu nije opisana arhitektura sistema, nego mogućnost pristupa celom sistemu preko SMS poruke kroz GSM mrežu.



Slika 2.3.5. Koncept sistema za udaljeno merenje sa dodatkom mobilnog telefona opisan u [22]

U radu [23] predstavljen je sistem koji je najadekvatniji za mobilnu mernu stanicu. Ovaj sistem ima sve što je neophodno za realizaciju udaljene pokretne merne stanice. Kao dodatak u odnosu na ovaj rad, realizovan je sistem sa više senzora za praćenje atmosferskih uslova i analiza podataka dobijenih sa mernih stanica. Autori koji su se bavili realizacijom mobilnih stanica za merenje koncentracije gasova i prikazom u realnom vremenu uglavnom su svoje istraživanje završavali na prenosu podataka. Analiza podataka i posmatranje koncentracija gasova nisu bili predmet istraživanja u ovoj oblasti.



Slika 2.3.6. Blok šema merne stanice prikazane u radu [23]

U radu [24] opisana je korelacija između koncentracija ugljen-dioksida i ugljen monoksida na određenoj lokaciji i u određenim uslovima. Autori u radu [25] opisuju korelaciju između koncentracija azot-dioksida i ozona. U ovim radovima data je analiza koncentracija gasova na mestima gde nastanak tih gasova potiče iz istih izvora. Na osnovu ovih radova potekla je ideja da se analiziraju izmerene koncentracije gasova u urbanoj sredini koji potiču od nepotpunog sagorevanja. Iz radova se vidi da je analizu podataka neophodno raditi tokom dužeg vremenskog perioda. Uzorci merenja su u radovima uzimani na dnevnom, nedeljnom i mesečnom nivou sa više stacionarnih mernih stanica. U svakom periodu je dokazano postojanje korelacije. Na sličan način vodeći se sličnim metodama, samo na drugim lokacijama, prikazano je u disertaciji postojanje korelacije CO_2 i NO . U disertaciji podaci su uzimani sa više mobilnih i stacionarnih stanica kako bi istraživanje bilo relevantnije.

3. PREDLOŽENA ARHITEKTURA I REALIZACIJA STANICE ZA MERENJE PARAMETARA ŽIVOTNE SREDINE

Trenutno u svetu postoji veliki broj različitih mernih stanica za praćenje parametara životne sredine. Merne stanice se isključivo oslanjaju na akviziciju podataka sa terena. Teren uglavnom predstavljaju urbane sredine.

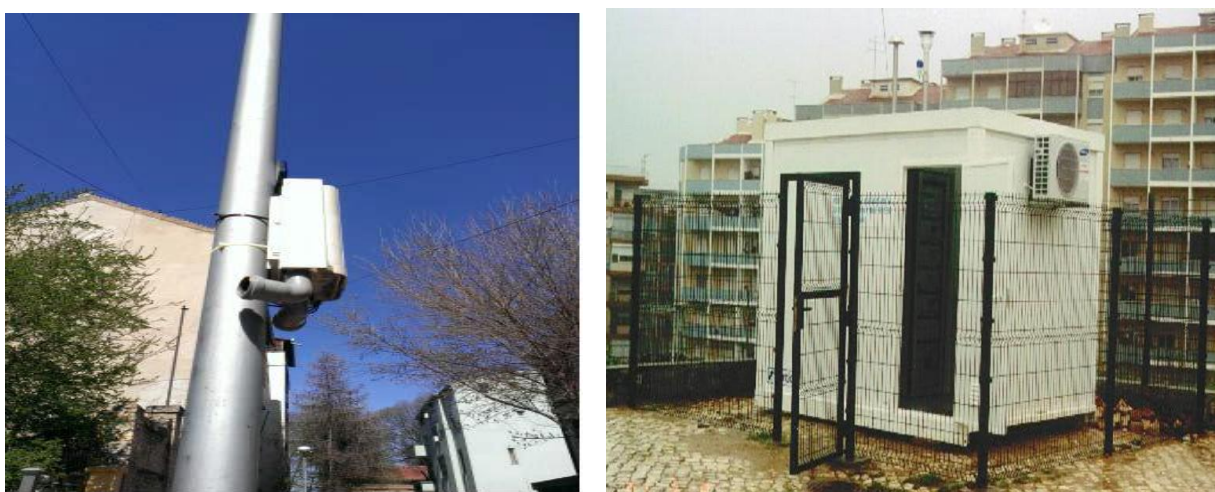
Razvoj mernih stanica počinje sa jednostavnim mernim sistemima [26] - [28] sa par senzora na mernoj kartici povezanih direktno na računar ili GSM modem. U ovakve sisteme spadaju i merni sistemi za kućnu upotrebu sa mogućnošću bežične kontrole [29] - [32]. Sledeći stupanj razvoja predstavljaju namenske merne stanice. To su merne stanice konstruisane za tačno određena merna mesta, kao što su naftne bušotine, rudarski kopovi, bunari za vodu, građevine, tuneli... Ove stanice predstavljaju uglavnom stacionarne stanice koje poseduju mogućnost žičnog i bežičnog prenosa podataka [33] - [41]. U ovakvim sistemima obično se ograniči broj parametara koji se posmatraju zbog specifičnog zahteva. Recimo, u rudarskim kopovima se prati koncentracija ugljen monoksida, ali uslovi su otežani zbog same lokacije i nedostupnosti GSM mreže, pa se sistem mora osloniti na bežične senzorske mreže.

Merne stanice koje šalju svoje podatke samo bežičnim putem i čija lokacija nije stacionarna, nazivaju se mobilne merne stanice. Osnova i predak mobilnih mernih stanica su sistemi za kontinualno praćenje vozila [42]. Često su se u sistemima za praćenje vozila uz GPS koordinate slali i neki dodatni podaci kao što su ime vozača, trenutno stanje goriva i sl. Kako su ti dodatni podaci vremenom postajali značajniji i svestraniji, tako su se sistemi za praćenje vozila pretvorili u mobilne merne stanice.

Imajući u vidu prethodno iznešeno i analizu priloženih naučnih radova, može se konstatovati da je osnovna podela mernih stanica za praćenje parametara životne sredine na:

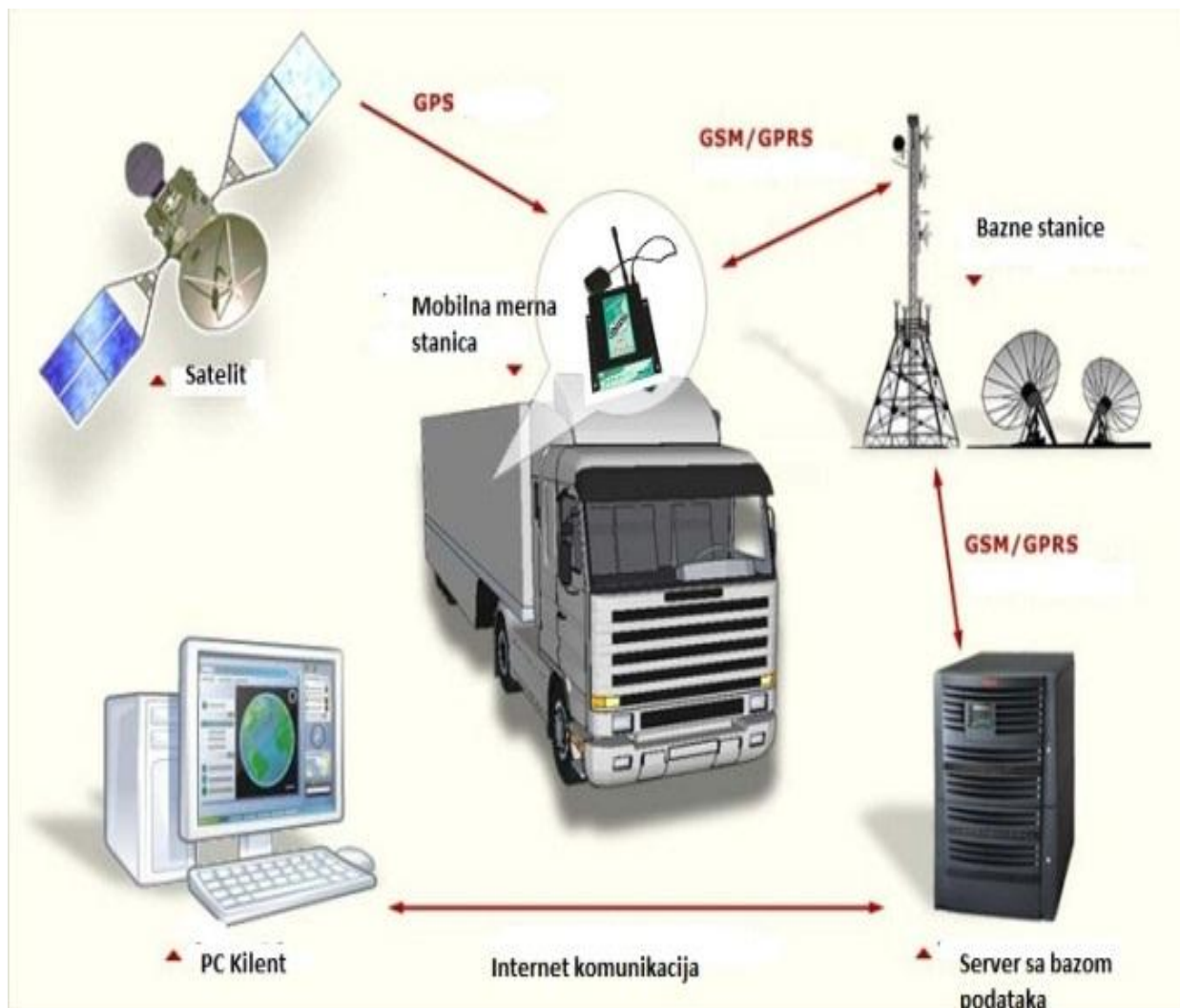
- mobilne merne stanice
- stacionarne merne stanice.

Glavna razlika između ovih dveju vrsta stanica je u načinu njihove primene. Stacionarna merna stanica služi da se na određenoj lokaciji izmereni podaci pošalju na server. Uobičajeno je da se u jednom gradu nalazi više stacionarnih stanica postavljenih na odgovarajućim mestima. To su po pravilu trgovi, parkovi, raskrsnice ili slične lokacije sa kojih se mere parametri životne sredine. Stacionarne stanice mogu biti malih dimenzija tako da stanu u kutiju, a mogu biti i veličine omanje kućice. Na slici 2.3.1. može se videti izgled jedne manje merne stanice postavljene na banderu i jedne veće merne stanice u obliku kamp-prikolice. Veličina uglavnom zavisi od načina sakupljanja, vrste parametara koji se mere, uređaja koji vrše merenje i načina na koji se obrađuju podaci. Ovim stanicama nije potrebno direktno prisustvo ljudi za njihov rad. Međutim, one obično zahtevaju održavanje koje može da izvodi samo kvalifikovan kadar. Napajanje stacionarne merne stanice je iz gradske mreže. Prednost ovih stanica su veoma precizna i selektivna merenja za veliki broj parametara životne sredine. Glavna mana velikih stacionarnih stanica predstavlja veliki trošak prilikom izrade.



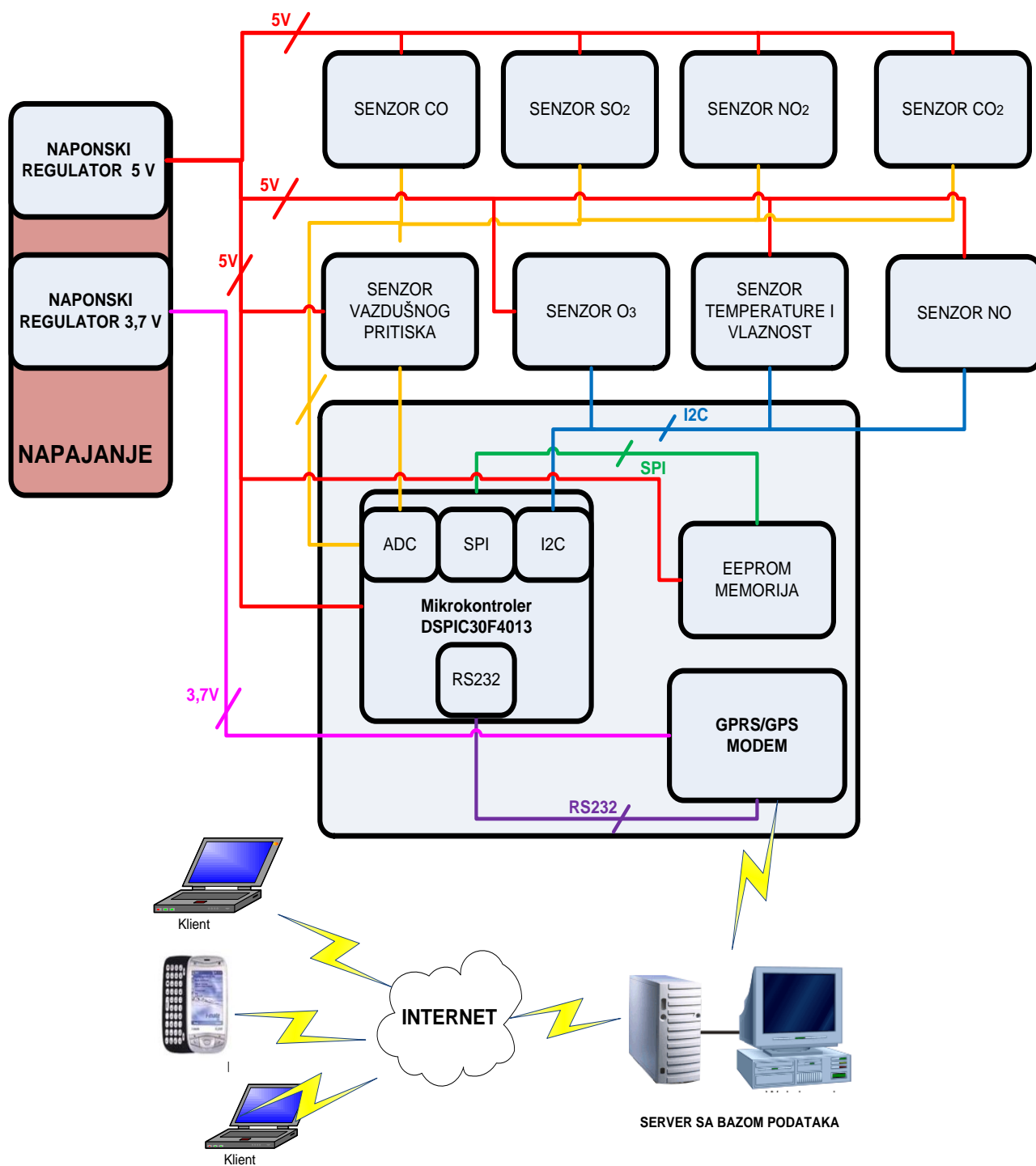
Slika 2.3.1. Izgled stacionarnih mernih stanica

Mobilna merna stanica šalje podatke sa više različitih lokacija. Obavezan deo sistema predstavlja GPS modem, jer mora da se zna sa koje lokacije su poslani podaci. Mobilna merna stanica mora biti montirana na neko vozilo. To su po pravilu vozila gradskog saobraćaja koja su stalno u pokretu; eventualno se mogu uzeti taksi ili namenska vozila. Uređaj koristi akumulator vozila kao izvor napajanja. Podaci se šalju putem GPRS komunikacije centralnoj jedinici koju čine server sa bazom podataka. Na serveru se podaci obrađuju i prikazuju u pogodnom obliku. Klijenti mogu pristupiti serverskoj aplikaciji i videti željene podatke. Na slici 2.3.2. prikazan je način rada mobilne merne stanice.



Slika 2.3.2. Način rada mobilne merne stanice

Zbog slične arhitekture i principa rada mobilne i stacionarne merne stanice, došlo se na ideju da se napravi univerzalna merna stanica koja će po potrebi služiti i kao mobilna i kao stacionarna. Koristeći podatke dobijene sa takve merne stanice vršila bi se naučna istraživanja vezana za parametre životne sredine. Arhitektura predložene merne stanice je prikazana na slici 2.3.3.



Slika 2.3.3. Arhitektura merne stanice

Mobilna merna stanica se sastoji od tri glavna bloka:

1. senzorski blok
2. glavna ploča
3. blok za napajanje

Na glavnoj ploči se nalaze mikrokontroler, GPRS/GSM modem i EEPROM memorija. Glavna ploča služi za sakupljanje i slanje izmerenih parametara. Blok za napajanje sadrži dva osnovna regulatora za naponske nivoe od 3,7 V i 5 V kojim se napajaju sve ostale elektronske komponente. Sensorni blok se sastoji od niza senzora. Svaki senzor na poseban način komunicira sa mikrokontrolerom. U narednim poglavljima je objašnjen detaljno svaki blok.

Nakon što su podaci sakupljeni u mernoj stanici, oni se šalju na server sa bazom podataka gde se vrši obrada i formuliše način prikazivanja. Preko računara ili mobilnog telefona, putem interneta, klijenti mogu da pristupe stranici sa prikazanim podacima.

3.1. NAPAJANJE UREĐAJA

U ovom odeljku je detaljno objašnjeno napajanje merne stanice koja se koristi kao mobilna jer je to složeniji način rada i zahteva više blokova. Što se tiče napajanja stacionarne merne stanice, principi su isti, s tim da se mogu koristiti već gotovi stabilizatori jednosmernog napona priključeni na gradsku mrežu.

Napajanje uređaja je projektovano tako da se za ulazni napon koristi napon akumulatora u autobusima gradskog prevoza koji nominalno iznosi 24 V. Kako napon akumulatora autobusa nije uvek isti, prilikom projektovanja data je mogućnost proširenja opsega ulaznog napona, tako da bi uređaj, što se tiče donje granice, mogao raditi i na 12 V, a gornja granica je postavljena na 33 V. Kao dodatni zahtev u ovom projektu nametalo se obezbeđivanje struje na izlazu do 3 A, kako bi uređaj nesmetano radio. Glavni i osnovni problemi prilikom projektovanja predstavljali su velika discipacija snage na stabilizatoru i nestabilizovani ulazni napon sa velikim pikovima.

3.1.1. STRUKTURA NAPAJANJA UREĐAJA

Napajanje uređaja je podeljeno u više namenskih blokova. Strukturu uređaja (slika 3.1.1) čine sledeći blokovi:

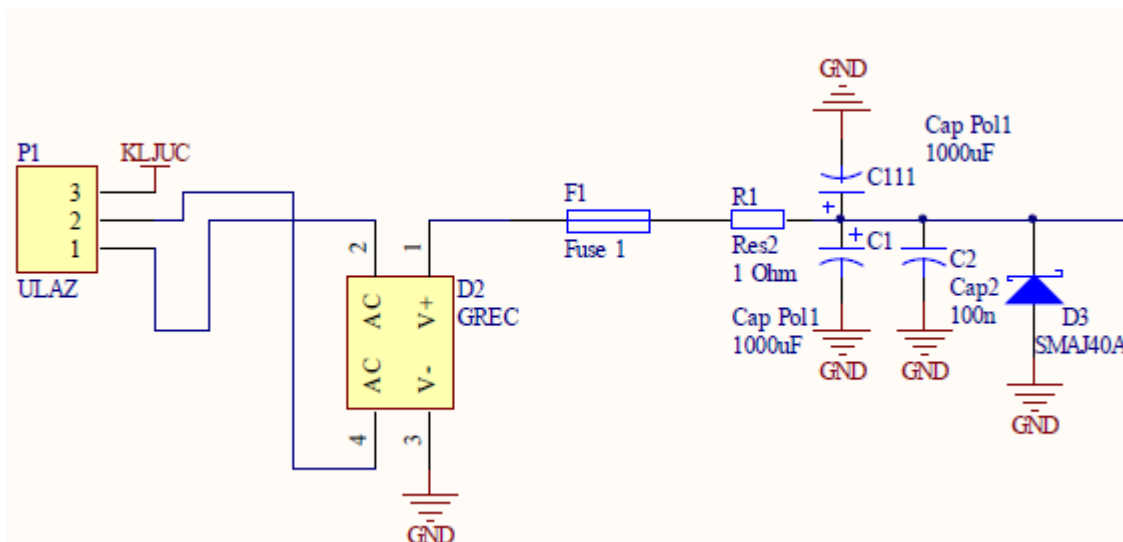
- a) filtriranje ulaznog napona
- b) zaštita od prenapona
- c) naponski regulator sa signalizacijom rada



Slika 3.1.1. Struktura napajanja uređaja

3.1.1.1. Filtriranje ulaznog napona

Na ulazu bloka za filtriranje stavljen je diodni ispravljač kako bi se otklonile mogućnosti pojave negativnog napona usled kvara na električnim instalacijama. Nakon diodnog ispravljača postavljen je tromi osigurač od 3A. Zbog pojave smetnji velikih amplituda na visokim frekvencijama neophodno je ukloniti visoke frekvencije. Smetnje su uklonjene niskopropusnim RC filtrom i naponskim limiterom.

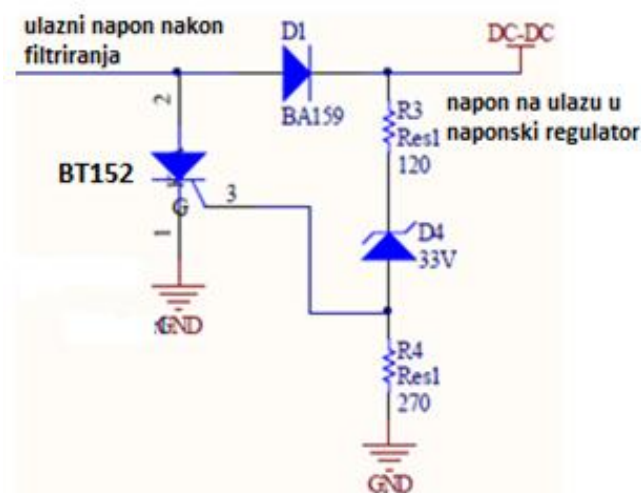


Slika 3.1.2. Električna šema bloka za filtriranje ulaznog signala

Naponski limiter je realizovan specijalnom Zener diodom SMAJ40A [43], koja usled postojanja kapacitivnosti, filtrira visoke frekvencije. Električna šema bloka za filtriranje data je na slici 3.1.2.

3.1.1.2. Zaštita od prenapona

Kolo za zaštitu od prevelikog napona je realizovano sa tiristorom BT152 [44] i Zener diodom BRX 33V. Električna šema zaštite od prenapona data je na slici 3.1.3. Ova električna šema se praktično nastavlja na električnu šemu bloka za filtriranje ulaznog signala.



Slika 3.1.3. Električna šema zaštite od prenapona

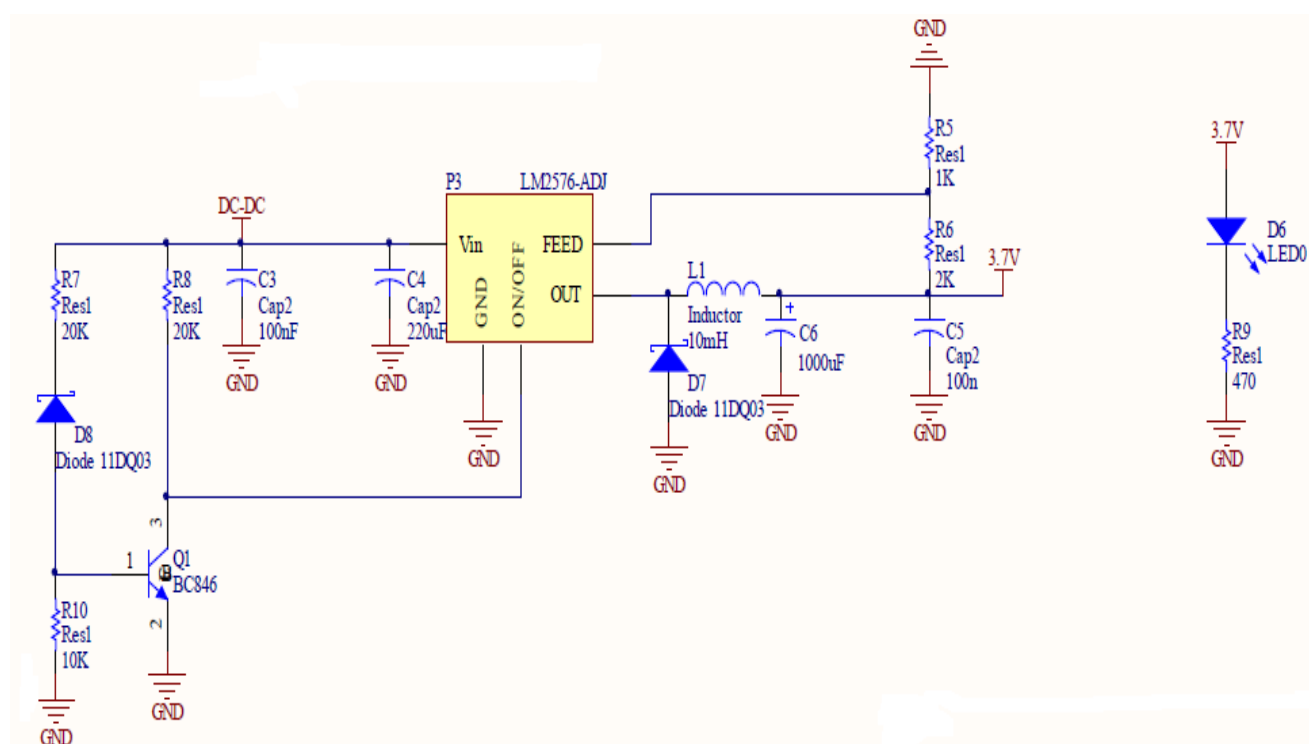
Sušтина rada kola sastoji se u sledećem: Zener dioda je polarisana sa otpornikom R_3 da radi u probuju. Ako ulazni napon pređe vrednost od 33 V, provešće Zener dioda, a dodatni rast napona usloviće napon na gejtju tiristora. Usled napona od 0,6 V na gejtju tiristor će provesti i kratko spojiti masu i napajanje. Spajanjem mase i napajanja proteći će jaka struja koja će spaliti

osigurač F1 sa slike 3.1.2. i uređaj će biti zaštićen od prenapona. Tiristor će prestati da provodi nakon što struja opadne na vrednost struje isključenja. Dioda BA159 je stavljena kako tiristor ne bi ostao uključen uzimajući struju iz kondenzatora koji se nalaze posle ovog bloka. Nakon zamene osigurača F1 uređaj će nastaviti sa radom.

Prilikom testiranja uređaja u praksi probano je više različitih zaštita od prenapona, ali se opisana zaštita pokazala kao najefikasnija.

3.1.1.3. Naponski regulator sa signalizacijom rada

Za stabilizaciju izlaznog napona korišćen je prekidački regulator. Linearni regulatori nisu dolazili u obzir zbog njihovog zagrevanja usled velike discipacije i ograničene izlazne struje na nekoliko stotina miliampera. Konkretno, linearni regulator LM317[45] ima maksimalno strujno ograničenje do 300 mA. Zbog pogodnih karakteristika izbor je pao na prekidački (*BUCK*) regulator LM2576-adj [46]. Celokupna električna šema prekidačkog regulatora data je na slici 3.1.4.



Slika 3.1.4. Električna šema naponskog regulatora sa signalizacijom rada

Ulazni napon regulatora LM2576-adj je u opsegu od 7 V–40 V. Pomoću tranzistora Q_1 i Zener diode D_8 obezbeđeno je da na ulazni pin regulatora ne dođe napon niži od 7 V. Naime, Zener dioda, polarisana pomoću otpornika R_7 , provešće ako napon na ulazu bude veći od 12 V. Kada Zener dioda D_8 provede, baza tranzistora Q_1 biće direktno polarisana i tranzistor će provesti. Samim provođenjem tranzistora, *ON/OFF* pin regulatora dobija nizak logički nivo što obezbeđuje uključenje kola LM2576-adj.

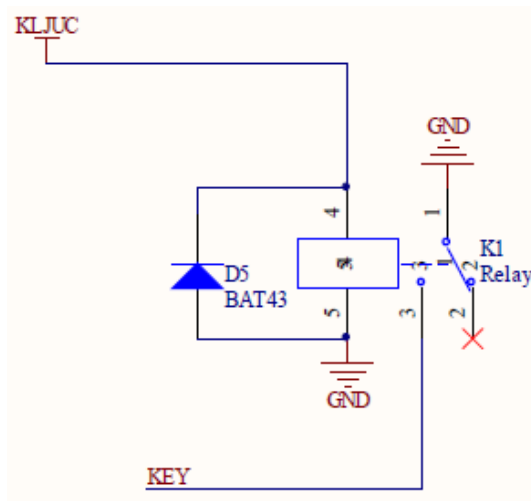
Posebna pažnja je posvećena izboru diode D_7 i induktoru L_1 . Preporukom proizvođača koristi se dioda 1N5822 [47] i induktivnost od 100 mH za struju od 3 A. Vrednost izlaznog napona se dobija po:

$$V_{out} = V_{ref} \times \left(1 + \frac{R_5}{R_6}\right); V_{ref} = 1,23 \text{ V.} \quad (3.1)$$

Promenom vrednosti otpornika R_5 i R_6 može se menjati vrednost izlaznog napona. Po preporuci proizvođača vrednost otpornika R_5 mora biti između 1 k Ω i 5 k Ω . Za konkretne vrednosti $R_5=1$ k Ω i $R_6=2$ k Ω na izlazu je dobijen napon od 3,7 V, što predstavlja napon napajanja GPRS modema u mernoj stanici. Signalizacija rada uređaja je realizovana pomoću svetleće diode D_6 i otpornika R_9 . Na sličnom principu realizovano je napajanje mikrokontrolera i drugih komponenata koje rade na 5V.

3.1.1.4. Uključivanje uređaja

Uređaj je dizajniran tako da se automatski uključuje samo ako autobus radi. Pomoću električnog kola na slici 3.1.5. omogućeno je da uređaj radi samo pod uslovom da je ključem dat kontakt i priključen akumulator autobusa sa koga se uređaj napaja. Releji K1 predstavlja prekidač koji pređe iz mirnog u aktivno stanje kada se ključem dâ kontakt i time praktično dovede masu (GND) uređaju i uključi ga. Celokupna arhitektura i način rada napajanja objašnjena je u [48].



Slika 3.1.5. Električna šema bloka za uključivanje uređaja

3.2. GLAVNA PLOČA

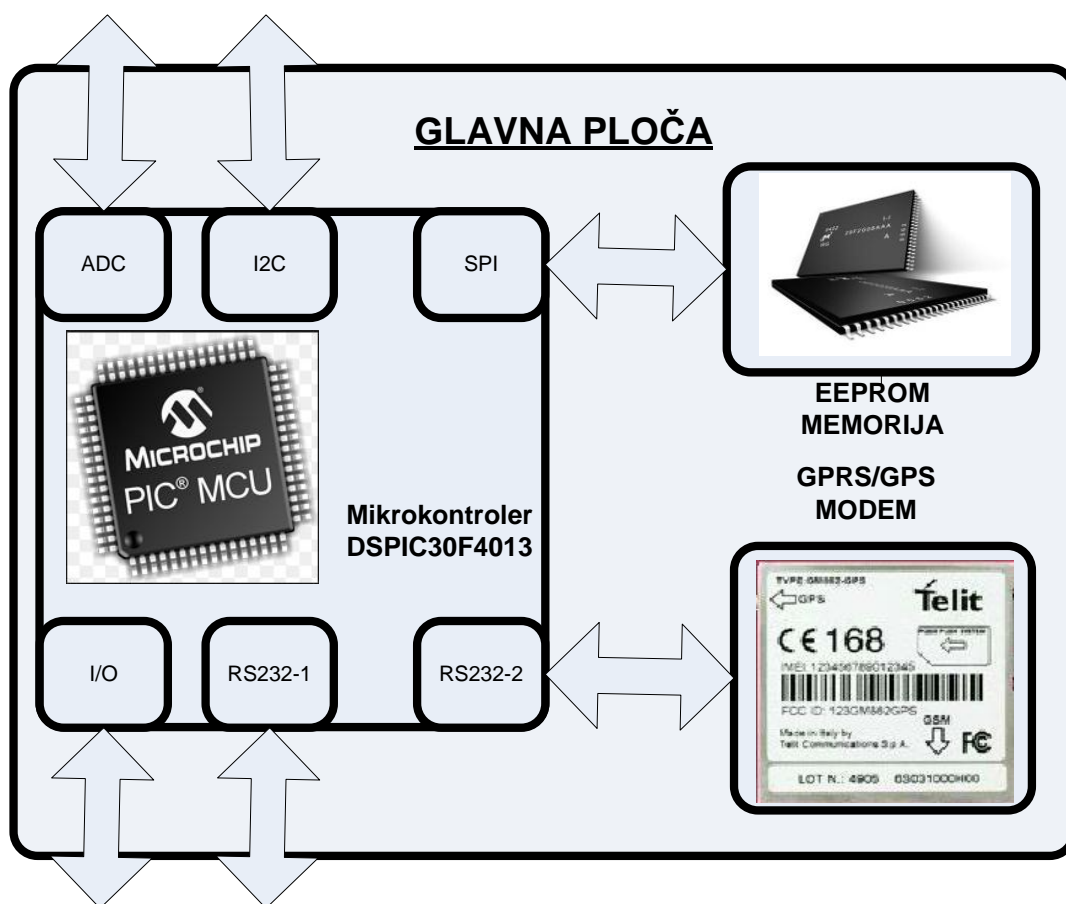
Glavna ploča (*eng. Main board*) predstavlja centralni deo uređaja koji izvršava glavni algoritam. Zadatak glavne ploče je da sakuplja podatke sa senzora i pošalje na udaljenu lokaciju putem GPRS protokola [49].

Main board se sastoji iz tri dela:

1. Centar sistema za prikupljanje podataka (mikrokontroler dsPIC30F4013 [50])
2. Memorija za skladištenje podatka (EEPROM - SST25VF016B [51])
3. Centar sistema za slanje podataka (Telit GM862 GSM Modem [52])

Na slici 3.2.1. prikazana je arhitektura glavne ploče. Slikovito je prikazan način komunikacije glavnih delova ploče sa ostalim delovima merne stanice. Osnovni zadatak glavne

ploče je da prikupi podatke sa senzora, zatim da ih, po potrebi, skladišti ili pošalje na server. Glavni algoritam rada izvršava mikrokontroler. Mikrokontroler komunicira sa perifernim uređajima preko AD konvertora, SPI komunikacije, I2C komunikacije, RS232 protola i ulazno-izlaznih pinova. Skladištenje podatka vrši se pomoću eksterne EEPROM memorije sa kojom mikrokontroler komunicira preko SPI komunikacije koristeći specijalni algoritam rada. Za slanje podataka na server služi GPRS/GPS modem koji putem serijske komunikacije dobija naredbe i podatke od mikrokontrolera. U narednim sekcijama je svaki od delova glavne ploče detaljno opisan.

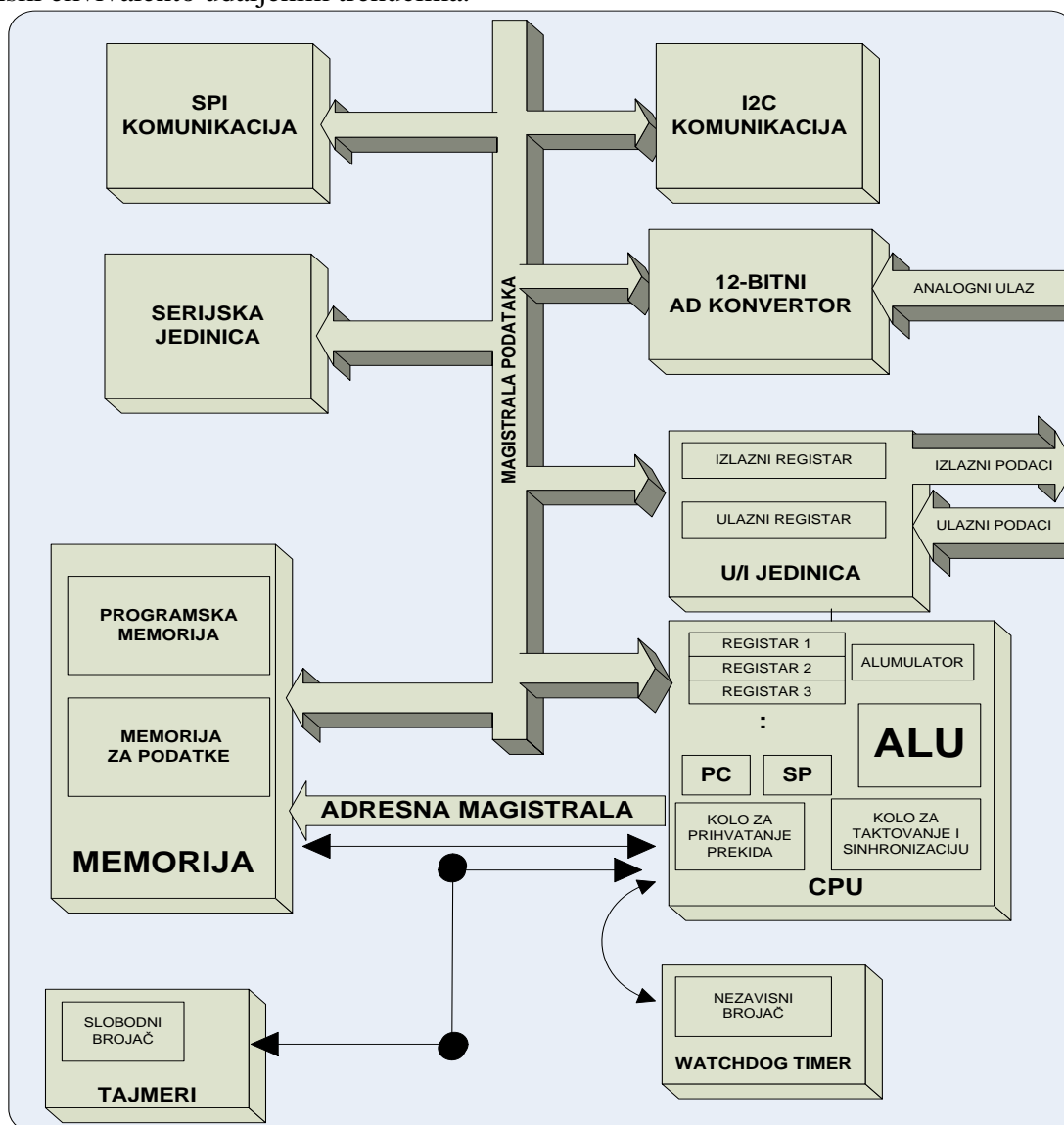


Slika 3.2.1. Blok šema glavne ploče

3.2.1. CENTAR SISTEMA ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA

Centar sistema za prikupljanje podataka predstavlja mikrokontroler dsPIC30f4013 sa svojim integrisanim blokovima za komunikaciju sa perifernim uređajima. Mikrokontroler dsPIC30f4013 firme *Microchip* predstavlja 16-bitni mikrokontroler novije generacije. Mikrokontroler je izrađen u CMOS tehnologiji sa ugrađenom programskom memorijom i memorijom za podatke. DsPIC30f4013 ima tipičnu RISC arhitekturu. Ova arhitektura karakteriše se manjim skupom instrukcija i velikom brzinom izvršavanja. Centralna procesorska jedinica (CPU) poseduje brzinu izvršavanja instrukcija 30 MIPS-a (miliona instrukcija u sekundi). Zbog svoje velike brzine rada poseduje sposobnost za rad u realnom vremenu. Rad u realnom vremenu

podrazumeva izvršenje određenih računskih operacija i podešavanje izlaza u tačno određenim, vremenski ekvivalentno udaljenim trenucima.



Slika 3.2.2. Arhitektura hardvera mikrokontrolera dsPIC30F4013

Pored velike brzine rada, ovaj mikrokontroler je izabran i zbog njegovih ostalih performansi. To su:

- programska memorija kapaciteta 48 kB realizovane u FLASH tehnologiji
- memorija za podatke tipa RAM kapaciteta 2 kB
- memorija za podatke EEPROM tipa kapaciteta 1 kB
- izbor tipa oscilatora:
 - spoljašnji oscilator od 4 MHz do 10 MHz
 - interni oscilator 7,3278 MHz
- postojanje internog množača frekvencije 4, 8 i 16 puta
- postojanje 35 mogućih izvora prekida
- ulazno-izlazni portovi: B,C,D,E,F

- pet tajmera:
 - Timer 1: 16-bitni tajmer/brojač događaja
 - Timer 2/3/4/5: 32-bit tajmer/brojač događaja
- 12-bitni analogno-digitalni (AD) konvertor
- integrisani blokovi za komunikacije sa periferijama: SPI, USART, I²C, CAN
- slip (*eng. sleep*) režim rada za štednju energije
- tajmer za specijalne prilike resetovanja uređaja (*eng. Watchdog timer*) sa sopstvenim integrisanim RC oscilatorom za nezavisni rad
- opseg radnog napona od 2,5 V do 5,5 V.

Na slici 3.2.2. prikazana je arhitektura hardvera mikrokontrolera dsPIC30F4013 - centra sistema za prikupljanje podataka u mernoj stanici.

U samoj realizaciji uređaja, kao izvor takta, korišćen je interni oscilator od 7,3278 MHz sa internim množačem frekvencije - PLL 4. Zbog toga što je za jednu instrukciju neophodno 4 takta oscilatora, korišćen je interni množač, podešen tako da učestanost instrukcionog takta bude jednaka sa učestanošću internog oscilatora. Ova frekvencija rada mikrokontrolera pokazala se kao optimalna između potrošnje i brzine rada merne stanice u realnom vremenu. Na ploči je ostavljena mogućnost korišćenja i eksternog oscilatora u slučaju da dođe do promene zahteva rada u vidu povećanja brzine. Programska memorija koja je kapaciteta 48 KB i memorija za podatke tipa RAM kapaciteta 2 KB, iskorišćene su sa manje od 50% svojih mogućnosti. Iskorišćeni su svi U/I portovi: A,B,C,D,E i F. Pojedini pinovi porta B iskorišćeni su kao analogni ulazi za merenje vrednosti senzora sa analognim izlazom.

Od mogućih izvora prekida, iskorišćeni su sledeći prekidi:

- Prekid za čitanje AD konvertora. Iskorišćeno je 5 od 13 postojećih analognih ulaza mikrokontrolera. Mikrokontroler koristi jedan 12-bitni AD konvertor koji je preko analognog multipleksera povezan sa 13 ulaznih pinova mikrokontrolera. Brzina konvertovanja je do 200 ksp/s (*eng. Sample Per Second*). Skeniranje kanala je automatsko i neprekidno tokom rada. Za referentni napon je uzet napon napajanja kontrolera od 5 V.
- Prekid tajmera 1. Prekid (*eng. interrupt*) je veoma bitan mehanizam koji omogućava mikrokontroleru da poveća brzinu izvršavanja algoritma i sinhronizaciju rada sa događajima u njegovoj okolini. Ovaj podsistem omogućava mikrokontroleru da, pod dejstvom nekog spoljašnjeg događaja, prekine izvršavanje tekućeg programa i pređe na izvršavanje programa sa većim prioritetom. Kada se izvrši obrada prekida, mikrokontroler nastavlja sa glavnim programom sa mesta na kom je prekid nastao. Uloga tajmera u radu mikrokontrolera je da broji jednake vremenske impulse generisane od strane, internog ili eksternog, sinhronizacionog signala i na taj način dobija tačne vremenske instance između događaja. U samom projektu prekid od strane tajmera 1 je iskorišćen za slanje vrednosti senzora modemu u tačno određenim vremenskim intervalima.
- Prekid UART (*eng. Universal Asynchronous Receiver Transmitter*) serijske RS232 komunikacije [53]. RS232 standard je standard koji definiše digitalnu, serijsku komunikaciju za povezivanje računara/DTE (*eng. Data Terminal Equipment*) i DCE (*eng. Data Communication Equipment*) uređaja. RS232 je asinhrona serijska komunikacija namenjena za kraća rastojanja i manje brzine

prenosa. Minimalni broj veza koji se koristi je tri: veza za masu i po jedna linija za svaki smer komunikacije. Komunikacija je dupleksna, što znači da komunikacioni uređaj može istovremeno da prima i šalje podatke. Putem UART serijske RS232 komunikacije mikrokontroler dsPIC30F4013 povezan je sa modemom Telit GM862.

Integrirani blokovi koji se koriste za komunikacije sa sensorima i EEPROM memorijom su:

- Blok za SPI komunikaciju. SPI (*eng. Serial Peripheral Interface*) je sinhronizovana serijska komunikacija koja radi u duplesnom režimu i postavljena je kao standard od strane Motorole [54]. Koristi se za komunikaciju između mikrokontrolera i periferija ili između dva mikrokontrolera. Periferije mogu biti senzori, eksterne memorije, displeji, SD kartice... Uređaj komunicira na bazi *master/slave* odnosa gde master uređaj inicira početak razmene podataka, generiše takt signal, određuje trenutak slanja i čitanja. SPI komunikacija se najčešće odvija u četvorožičnom obliku (*four-wire SPI*). Za prenos podataka se koriste sledeći signali:
 - SCK (*eng. serial clock*) – takt serijske veze
 - MISO (*eng. master input, slave output*) – ulaz glavnog uređaja izlaz periferije
 - MOSI (*eng. master output, slave input*) – izlaz glavnog uređaja ulaz periferije
 - SS (*eng. slave select*) – odabiranje perifernog uređaja

Putem SPI komunikacije mikrokontroler upravlja EEPROM memorijom na glavnoj pločici. Detaljniji opis i algoritam rada dat je u poglavlju 3.2.2.

- Blok za I²C komunikaciju. I²C (*eng. Inter-Integrated Circuit*), omogućava dobru podršku za komunikaciju sa različitim sporim perifernim jedinicama. Razvila ga je firma *Philips* a zatim su ga i drugi proizvođači integriranih kola podržali. Danas se vrlo često sreće, naročito kod mikrokontrolerskih sistema kao jedan od standarda [55]. Fizički, I²C magistrala sadrži samo dve linije signala, i to: SCK (*eng. serial clock*) koja se koristi za prenos taktnog signala i liniju SDA (*eng. Serial data*) za prenos podataka. Za upravljanje ovim linijama najčešće se koriste kola sa otvorenim kolektorom pa se ove linije napajaju sa naponom od +5V preko otpornika reda od 1–10 kΩ, zavisno od dužine linije i brzine prenosa. U standardnom režimu rada dužina ovih linija je do 2 m, uz brzine prenosa do 100 kbita.

Preko I²C komunikacije sa mikrokontrolerom su povezani senzori za merenje ambijentalne temperature i vlažnosti vazduha, koncentracije ozona i koncentracije azot-monoksida.

Centar sistema za prikupljanje podataka predstavlja mozak celog uređaja. Mikrokontroler kao glavna komponenta u celom sistemu ima sledeće uloge:

- Kontrola, upravljanje i uzimanje podataka sa senzora. Izračunavanje tačne vrednosti parametara na osnovu dobijenih podataka.
- Upravljanje eksternom memorijom, skladištenje podatka po potrebi tj. upis u memoriju i čitanje podataka iz memorije.

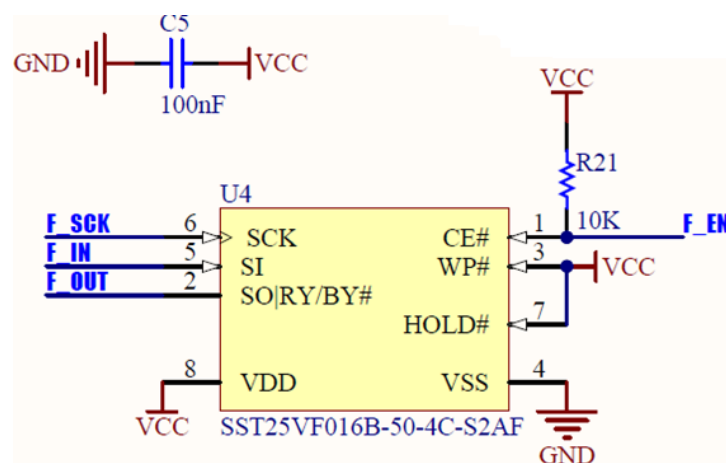
- Upravljanje modemom, provera stanja modema, slanje podataka preuzetih sa senzora na modem.

3.2.2. CENTAR SISTEMA ZA SKLADIŠTENJE PODATAKA

Nakon što mikrokontroler prikupi podatke sa senzora, trebalo bi iste proslediti do servera putem GSM mreže. Međutim, postoji mogućnost da trenutno GSM mreža nije dostupna ili da odgovarajući mobilni operater nema signala na određenoj lokaciji. Zbog ovakvih slučajeva neophodno je skladištenje podataka u eksternu memoriju, jer RAM memorija mikrokontrolera nije dovoljna da sačuva podatke. Jedan od standardnih načina rešavanja ovog problema je privremeno smeštanje podataka u EEPROM memoriju.

Jedan od osnovnih problema koji se javljaju prilikom upotrebe EEPROM memorije jeste njen životni vek. Svaka memorija ima minimalnu jedinicu u koju može biti upisan neki podatak. Veličina te jedinice se uglavnom kreće od jednog do nekoliko bajtova. Proizvođač memorije definiše koliko minimalna jedinica određene memorije može da ima pouzdanih ciklusa, odnosno koliko puta se može upisati i pročitati neki podatak na jednoj memorijskoj lokaciji. Prilikom upisivanja nekog podatka na jednu lokaciju u vremenskom intervalu od jedne sekunde memorijska lokacija bi postala neupotrebljiva posle 27 h kontinualog rada. Ovo važi za memoriju koja podržava 100000 pouzdanih ciklusa upis-čitanje po jednoj lokaciji. Ovakvom upotrebom memorije uređaj bi bio potpuno nepouzdan i jako kratkog životnog veka. Zato je bilo neophodno naći najbolji način organizacije upisa i čitanja podataka kako bi se produžio životni vek uređaja na period od bar 10 godina.

Tip EEPROM memorije koji je korišćen za čuvanje podataka nosi oznaku SST25VF016B. Komunikacija između mikrokontrolera i EEPROM memorije je realizovana pomoću SPI protokola. Za komunikaciju putem SPI protokola mikrokontroler koristi 4 digitalna pina: SCK (serijski takt), SI (serijski ulaz), SO (serijski izlaz) i CE (selektovanje čipa). Na slici 3.2.3. dat je prikaz memorije sa kontrolnim signalima.

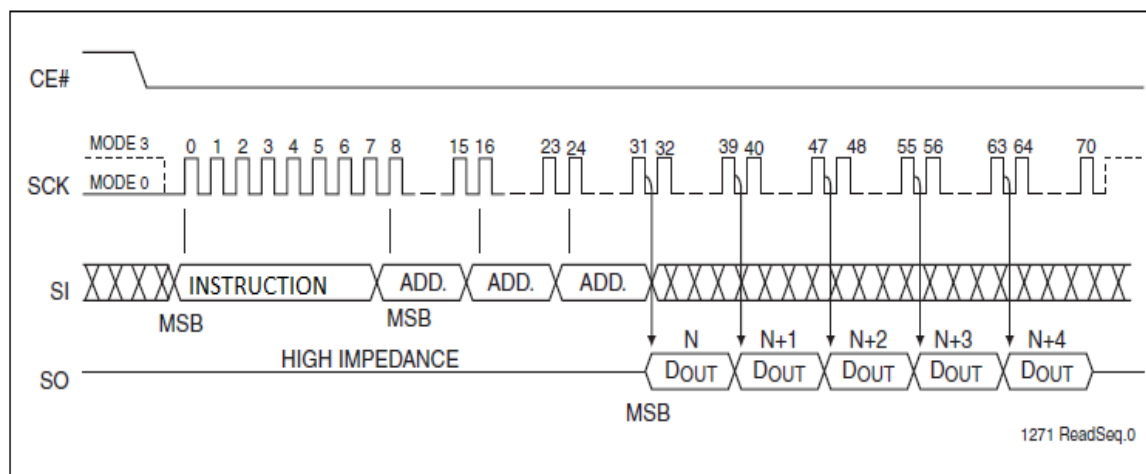


Slika 3.2.3. Električna šema EEPROM memorije sa kontrolnim signalima

Kapacitet ove memorije je 16 Mbita. Proizvođač garantuje 100000 uspešnih ciklusa po jednoj memorijskoj lokaciji. Ova memorija se odlikuje jako dobrom organizacijom, brzinom upisa i iščitavanja, malom potrošnjom i malim dimenzijama kućišta. Adrese memorijskih lokacija se kreću od 000000 do 1FFFFFF heksadecimalno, a veličina jedne memorijske lokacije je 1B (jedan bajt). Prilikom slanja jedne instrukcije od strane mikrokontrolera neophodno je prvo

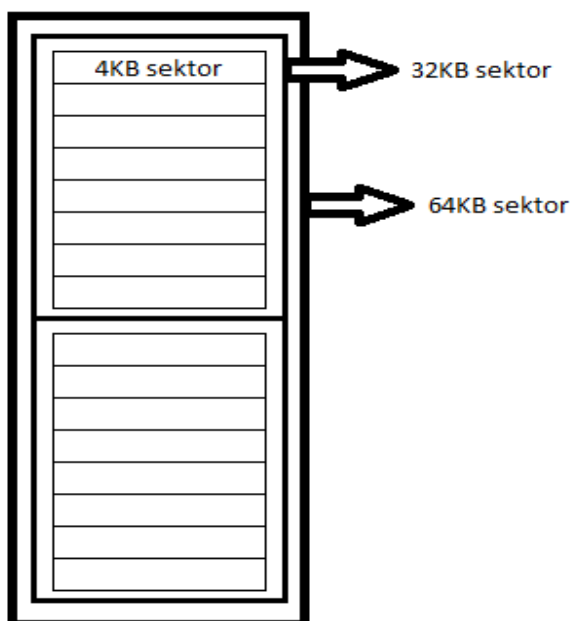
selektovati čip spuštanjem signala CE na logičku 0. Zatim, putem signala SI neophodno je poslati naredbu za datu instrukciju i na kraju poslati adresu lokacije koja se sastoji od tri bajta (*high address, middle address, low address*).

Na slici 3.2.4. dat je dijagram na kome su prikazani tokovi signala prilikom izvršavanja jedne instrukcije. Memorija je organizovana po sektorima veličine 4 KB, 32 KB i 64 KB. Sektori su hijerarhijski organizovani, odnosno manji sektori su sadržani u većim. Organizacija sektora memorije je prikazana na slici. 3.2.5. Ovakva podela je jako korisna kada se koristi za brzo brisanje memorije, ali predstavlja problem prilikom rada zbog osobine da je sektor najmanja jedinica koja se može obrisati. To znači da se prilikom brisanja ne može obrisati memorijsku lokaciju veličine 1 bajt, nego ceo sektor od 4 KB. Nakon brisanja neke memorijske lokacije njoj se dodeljuje vrednost FF heksadecimalno.



Slika 3.2.4. Dijagram kontrolnih signala prilikom izvršavanja naredbe (preuzeto iz [51])

Kako se u memoriju periodično upisuju nizovi podataka, potrebno je u svakom trenutku imati informaciju o tome na koju je memorijsku lokaciju upisan poslednji podatak. Informacija o poslednjem upisanom podatku je neophodna kako bi se prilikom sledećeg startovanja moglo nastaviti upisivanje na mesto gde je u prethodnoj iteraciji upisivanje stalo. Ako se jedna memorijska lokacija odvoji samo za čuvanje informacije o adresi poslednjeg upisanog podatka, onda bi u tom slučaju ta memorijska lokacija bila izložena daleko većem broju ciklusa upisa u odnosu na ostale, što bi rezultovalo uništenjem te lokacije. Samim tim ovo rešenje ne bi bilo pouzdano.



Slika 3.2.5. Organizacija memorije po sektorima

Na slici 3.2.6. prikazan je ovakav pristup rešavanju problema. Vidi se da je prva memorijska lokacija koja je rezervisana samo za čuvanje informacije o adresi poslednjeg upisanog podatka pretrpela n puta više ciklusa upisa u odnosu na druge lokacije. To bi značilo da je životni vek te lokacije n puta manji u odnosu na ostale, što implicira i smanjenje životnog veka uređajaja koji koristi ovu memoriju.

lok. 1	lok. upisanog podatka	n ciklusa
lok. 2	podatak	1 ciklus
lok. 3	podatak	1 ciklus
lok. 4	podatak	1 ciklus

lok. n	podatak	1 ciklus

Slika 3.2.6. Neadekvatan algoritam za upotrebu memorije prilikom rada sa velikim brojem ciklusa upisa

Da bi se produžio životni vek memorije, potrebno je pronaći odgovarajući način da čuvanje lokacije o poslednjem upisu podatka ne utiče na povećan broj ciklusa upisa na nekoj memorijskoj lokaciji. Ovo se može postići ako se razvije odgovarajući algoritam pomoću kojeg bi mikrokontroler mogao da ustanovi gde je poslednji podatak sačuvan.

3.2.2.1. Algoritam za efikasan rad i uslovi korišćenja spoljašnje memorije

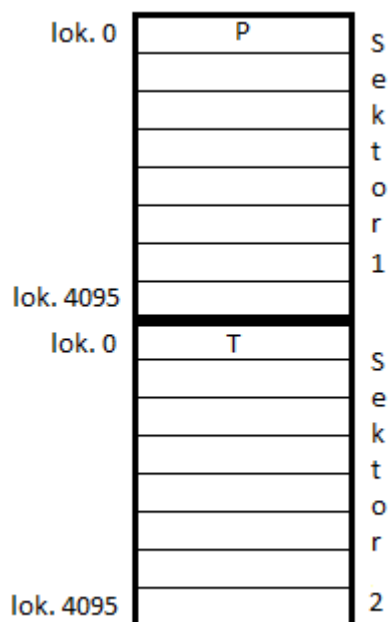
Princip ovog algoritma je zasnovan na činjenici da je memorija podeljena po sektorima različitih veličina od kojih je najmanji sektor ima veličinu od 4KB. Kako data memorija ima

ukupni kapacitet od 16 Mbit, to znači da postoji 512 sektora od po 4 KB. Proračun je prikazan u jednačini (3.2).

$$\frac{\text{Kapacitet memorije}}{\text{Kapacitet najmanjeg bloka}} = \frac{16\text{Mbit}}{4\text{KB}} = 512 \text{ blokova} \quad (3.2)$$

Pošto najmanja količina podataka koja može da se izbriše iznosi 4 KB, ideja je da se sektori koji su značajni obeleže na neki način. Na taj način bi se mogao imati uvid u informacije koje bi označavale prazne sektore, popunjene sektore i sektore koji su otvoreni za upisivanje. Da bi se označio neki sektor, dovoljno je da se upiše jedan bajt određene vrednosti na prvu adresu sektora. Ako se koristi jedan bajt za označavanje sektora i postoje 512 sektora, to znači da će se smanjiti kapacitet memorije za 512 B. Ovaj kompromis je prihvatljiv jer je gubitak memorijskog prostora svega 0,024% .

Ako je memorija potpuno prazna, označi se prvi sektor sa "P", a sledeći sa "T", tako što se upiše ASCII vrednosti navedenih slova na prve memorijske lokacije u svakom sektoru. Sektor koji je označen sa slovom "P" nazvan je sa "prethodni", a sektor označen sa slovom "T" nazvan je "tekući". Prethodnih sektora ne može biti više od jedan. Ovaj sektor će se naviše koristiti prilikom čitanja podataka iz memorije. Ako posmatramo memoriju koja sadrži od 0–511 sektora, prethodni sektor će se uvek nalaziti ispred prvog tekućeg sektora.



Slika 3.2.7. Memorijske lokacije sa označenim sektorima

Tekućih sektora može biti maksimalno 510, a za algoritam od posebnog značaja će biti prvi tekući i poslednji tekući sektor. Sektori koji su potpuno prazni će prilikom brisanja biti označeni sa FF heksadecimalno. Označeni sektori su prikazani na slici. 3.2.7.

Osnovne funkcije algoritma su: upisivanje podataka i čitanje podataka. Takođe, postoji i funkcija za pretraživanje sektora koja obezbeđuje ključne informacije vezane za prethodne i tekuće sektore. Primenom ovog algoritma EEPROM memorija se može posmatrati kao kružni bafer. Na taj način postiže se ravnomerno upisivanje podataka kroz celu memoriju, odnosno svaka lokacija će imati ravnomerni broj ciklusa i pri tome ćemo uvek imati informaciju o tome koji je podatak upisan prvi, a koji poslednji.

Odmah, nakon startovanja programa mikrokontroler pretražuje prethodne i tekuće sektore. Prilikom ove pretrage broje se tekući sektori. Ako se ne pronađe nijedan prethodni i tekući sektor, to znači da je memorija prazna i tada se prvi sektor inicijalizuje kao prethodni, a drugi kao tekući sektor. Ako postoji tekući sektor, a nema prethodnog, tada se prvi prazan sektor, koji se nalazi pre prvog tekućeg koji je pronađen, označava kao prethodni.

Ako se upisuje niz od 32 bajta, to znači da se u jedan sektor može upisati 127 nizova. Umesto niza koristi se termin "blok", a broj elemenata niza naziva se "dužina bloka". Podrazumeva se da je svaki element niza dužine 1B. Određivanje broja blokova u jednom sektoru prikazano je u jednačini (3.3). Algoritam važi za bilo koju dužinu bloka, koji je manji od 4095

$$\frac{\text{Kapacitet jednog sektora}}{\text{Dužina bloka}} = \frac{4095B}{32B} = 127\text{blokova} \quad (3.3)$$

Podrazumevano je da nijedan blok za svoj prvi element ne sme imati vrednost "0", kao i da se u bloku ne sme naći niz od pet uzastopnih elemenata koji imaju vrednost "0".

Pošto se odredi koji je sektor prethodni i broj tekućih sektora može se pronaći redni broj poslednjeg i tekućeg sektora. Određivanje broja poslednjeg tekućeg sektora prikazano je u jednačini (3.4).

$$RP + UT = RTn \quad (3.4)$$

gde su:

RP – redni broj prethodnog sektora

UT – ukupan broj tekućih sektora

RT – redni broj poslednjeg tekućeg sektora

Poslednji tekući sektor predstavlja sektor koji je spreman za upisivanje podataka. Nakon određivanja rednog broja poslednjeg tekućeg sektora, potrebno je da proveriti koliko je blokova upisano u njega. Pošto se zna koliko blokova se može naći u jednom sektoru, pretražuje se poslednji tekući sektor, tako što se proveraju samo memorijske lokacije na kojima može da se nađe prvi element nekog bloka. Ako se na pretraženoj lokaciji nalazi element različit od "0", to znači da je upisan blok u tom sektoru. Kada se nađe prva lokacija čija je vrednost "0", to znači da se na toj lokaciji može početi sa upisivanjem novog bloka. Na ovaj način umesto 4095 lokacija pretražuje se samo 117 lokacija, što znatno ubrzava ceo proces.

Pre upisa novog bloka treba proveriti da li je to poslednja lokacija u sektoru na koju neki blok može biti upisan. Ako to zaista jeste poslednja lokacija, to znači da je taj sektor napunjen i da treba preći na sledeći sektor. To se radi tako što se sledeći sektor proglašuje tekućim i poveća se broj tekućih sektora. Prilikom sledećeg upisa mikrokontroler će za poslednji tekući sektor uzeti baš taj sektor koji je upravo proglašen za tekući.

Kada se redni broj poslednjeg tekućeg sektora izjednači sa rednim brojem predhodnog sektora, to znači da je memorija puna i tada se blokira svaki dalji upis sve dok se ne oslobodi barem jedan sektor u memoriji.

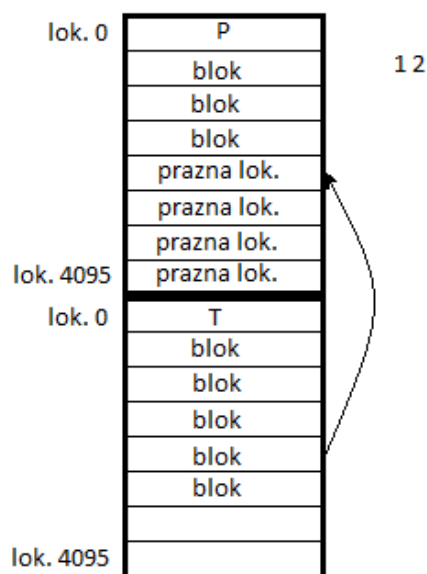
Prilikom čitanja podataka od značaja su redni broj prethodnog sektora i redni broj prvog tekućeg sektora. Da se dođe do ovih informacija, potrebno je samo da skenirati prve lokacije u sektorima i na taj način naći redni broj predhodnog sektora. Kada se nađe redni broj prethodnog sektora onda se sa lakoćom može izračunati redni broj prvog tekućeg sektora. Način pomoću kojeg se određuje taj broj prikazan je u jednačini (3.5).

$$RP+1 = RT_1 \quad (3.5)$$

gde su:

RP – redni broj prethodnog sektora

RT₁ – redni broj prvog tekućeg sektora

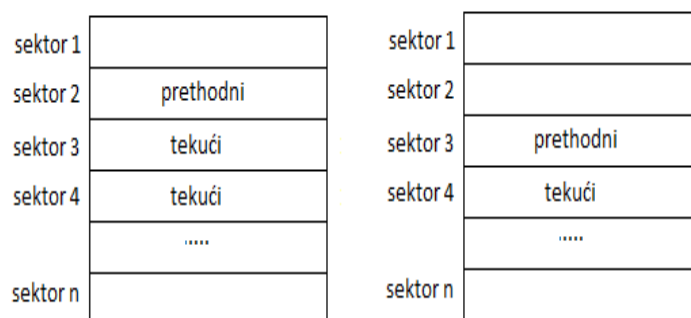


Slika 3.2.8. Kopiranje bloka iz prvog tekućeg sektora na istu lokaciji u prethodni sektor

U prvom tekućem sektoru se nalaze blokovi koji su prvi upisani u memoriju i oni će prvi biti pročitani. To znači da će memorija raditi po principu FIFO (*eng. first in first out*) registra. Prvo je potrebno odrediti koliko upisanih blokova se nalazi u prethodnom sektoru i zatim naći prvu praznu lokaciju na koju se može upisati neki novi blok. Treba napomenuti da će svaki pročitani blok iz prvog tekućeg sektora biti upisan u prethodni sektor na identičnu lokaciju. Ovo se radi kako bi se uvek moglo odrediti koji blok treba da se pročita, a ujedno predstavlja mehanizam za oporavljanje od greške prilikom iznenadnog otkaza.

Pošto je određen broj upisanih blokova u prethodnom sektoru, tada se zna da je prva sledeća prazna lokacija identična lokaciji bloka koji treba da se pročita iz prvog tekućeg sektora. Tada se kopira blok iz prvog tekućeg sektora koji se nalazi na toj lokaciji u prethodni sektor na tu istu lokaciju. Taj proces je prikazan na slici 3.2.8. Prilikom kopiranja mikrokontroler smešta blok u privremeni niz i tada može da raspolaže traženim blokom.

Kada se prethodni sektor napuni do kraja, to znači da je ceo prvi tekući sektor pročitao. Takođe, postoji mogućnost da prvi tekući sektor nije u potpunosti popunjen, pa se može desiti da se prepíše prazan blok u prethodni sektor. Zato se prilikom svakog čitanja bloka proverava da li u njemu postoji niz od pet uzastopnih "0". Ako postoji takav niz, to znači su svi podaci pročitani iz memorije. Na taj način se dobija informaciju o kraju čitanja i sprečava se kopiranje praznih nizova u prethodni sektor. Kada je ceo prvi tekući sektor pročitao, pod uslovom da je bio skroz napunjen, onda se može osloboditi memorijski prostor, jer ti podaci više nisu potrebni. To se radi tako što se obriše prvi tekući i prethodni sektor, a zatim se kao prethodni označi sektor koji je bio prvi tekući.



Slika 3.2.9. Stanje memorije pre i posle oslobađanja prostora

Na taj način se dobija jedan potpuno prazan sektor i smanjuje se broj tekućih sektora za jedan. Na slici 3.2.9. prikazano je stanje memorije pre i posle oslobađanja prostora.

Ovim algoritmom se očigledno ravnomerno raspoređuju upis i brisanje podataka na sve sektore, čime se produžuju sigurni radni ciklusi svakog memorijskog bloka. Opis ovog algoritma predstavljen je i u radu [56].

Korišćenjem eksterne memorije uspešno je rešen problem skladištenja podataka u određenim trenucima kada dolazi do gubitka GSM signala, a implementacijom opisanog algoritma u radu sa memorijom uspešno je produžen vek trajanja memorije, pa i same mobilne stanice.

3.2.3. CENTAR SISTEMA ZA SLANJE PODATAKA. GSM/GPRS PRENOS PODATAKA

GSM (*eng. Global System for Mobile communications*) je nastao zahvaljujući razvoju analogne mobilne telefonije i krajem 2005. godine broj korisnika GSM tehnologije obuhvatao je skoro 80% svetskog tržišta mobilnih komunikacija. Dalji razvoj omogućavao je sve veće brzine prenosa, a pojedine etape razvoja označavane su posebnim imenima: GPRS, EDGE, 3GSM. Osnovne karakteristike su globalna rasprostranjenost i dostupnost, ali i značajne mogućnosti kada je u pitanju prenos mernih podataka.

GPRS (*eng. General Pocket Radio Service*) je trenutno dostupan u skoro svim GSM mrežama. GPRS predstavlja prenos podataka zasnovan na Internet protokolu. Internet omogućava dostupnost komercijalnim i industrijskim sadržajima. Pojavom GPRS tehnologije omogućen je prenos raznih tipova informacija brzinama i do 114 kbps, sa prosečnim brzinama od oko 56 kbps. GPRS tehnologija omogućava brzo Internet povezivanje i kontinuiranu konekciju, a provajder kao uslugu tarifira isključivo prenesene podatke, nasuprot zastarelom „dial-up“ sistemu kod koga se tarifira po jedinici vremena, bez obzira na to da li je linija aktivna ili neaktivna.

Zahvaljujući porastu brzine prenosa, operater naplaćuje samo količinu prenetih podataka, a ne vreme provedeno na mreži. Merni uređaji opremljeni sa GPRS predajnikom na taj način mogu da budu stalno povezani na mrežu, a podatke da šalju po potrebi. GSM mreža može da se podeli na tri osnovne celine: mobilni uređaj, podsistem bazne stanice koji upravlja radio vezom sa mobilnim uređajem i podsistem mreže. Glavni deo mrežnog podsistema je komutacioni centar koji obavlja komutaciju poziva između korisnika u mobilnoj ili fiksnoj mreži. Komutacioni centar za mobilne uređaje upravlja svim uslugama koje nudi GSM sistem. Uporedo sa razvojem GSM standarda razvijale su se i kompanije koje su nudile svoja rešenja u vidu GSM modema. U ovom projektu iskorišćen je GSM modem GM862 [52], kompanije Telit, koji sa računarnom

komunicira preko RS232 protokola. Telit GM862 je EGSM modem koji radi na četiri učestanosti 850/900/1800 i 1900MHz.

Zahvaljujući GPRS tehnologiji omogućeno je povezivanje udaljenih fiksnih terminala sa centralnim serverom. Time se postiže nezavisan prenos podataka od javnih fiksnih mreža. Na taj način se uštede troškovi, koji bi inače postojali, ako bi se implementirala stalna konekcija pristupom preko GSM tehnologije, a stvarno je potreban samo povremen prenos manje količine podataka. Svaki uređaj koji se nalazi u sistemu dobija svoju SIM karticu, odnosno svoj GSM broj, a po ugovoru sa operaterima se iz specijalnog opsega privatnih IP adresa dodeljuje podopseg koji bi odgovarao samo tom APN-u (*eng. Access Point Name*). Centralnoj jedinici se dodeljuje jedna od IP adresa iz odvojenog podopsega, a svakoj od mobilnih jedinica se takođe dodeljuju jedinstvene IP adrese na osnovu kojih bi mogle da učestvuju u internet saobraćaju. Ove informacije nisu za publikovanje i ukoliko bi izašle van okvira kompanije koja ih koristi, moglo bi doći do zloupotrebe. Upravo zbog toga, pristup APN se ostvaruje unošenjem većeg broja zaštitnih podataka koji podrazumevaju jedinstven APN *name*, *Username* i *Password*, a zatim i definisanje parametara GPRS-a kroz niz opcija koje su nam eventualno na raspolaganju.

GPS (*eng. Global Positioning System*) je satelitski baziran radio-navigacioni sistem koji je razvilo i kojim upravlja Ministarstvo odbrane SAD. Ovaj sistem korisnicima omogućava da, uz pomoć GPS prijemnika, odrede svoju poziciju (geografsku dužinu, geografsku širinu i nadmorsku visinu) sa velikom preciznošću bilo gde na ili u blizini Zemljine površine. Jedini uslov koji mora biti ispunjen je postojanje optičke vidljivost između prijemnika i satelita. Drugim rečima, nije upotrebljiv u zatvorenim prostorijama ili pod zemljom, ali funkcioniše u svim vremenskim uslovima. GPS prijemnik određuje svoju poziciju u prostoru mereći udaljenost od navigacionih satelita. Za uspešno 2D pozicioniranje (geografska dužina i geografska širina, bez nadmorske visine) potrebno je da prijemnik odredi udaljenost od najmanje 3 satelita, dok je za 3D pozicioniranje (geografska dužina, geografska širina i nadmorska visina) potrebno odrediti udaljenost od najmanje četiri satelita. Svaki satelit emituje određenu frekvenciju radio-signala koju očekuje prijemnik. Dok prijemnik prima taj signal u stanju je da odredi vreme koje protekne od emitovanja radio-signala sa satelita do prijema na svojoj poziciji. Udaljenost prijemnika od satelita proračunava se na osnovu tog vremena, budući da se radio-signal emituje poznatom brzinom.

Signal nosi informaciju i o trenutnom položaju satelita sa kog se emituje. Ako se zna udaljenost prijemnika od satelita i pozicija satelita, onda je poznato da se prijemnik nalazi negde na sferi u čijem je centru satelit. Dužina poluprečnika sfere odgovara udaljenosti prijemnika od satelita. Pošto su poznate pozicije tri satelita i udaljenost prijemnika od svakog od njih, postupkom trilateracije može se odrediti pozicija prijemnika. Trilateracija se bazira na činjenici da se tri sfere seku u najviše dve tačke od kojih jedna obično eliminiše kad se izračunava tačna pozicija. Da bi se postigla potrebna preciznost prilikom trilateracije, od ključnog je značaja da svi časovnici budu što tačniji i potpuno sinhronizovani. Zato se na satelitima nalaze atomski časovnici – veoma precizni i skupi, dok prijemnici imaju daleko manje precizan časovnik – kristalni oscilator. Nedostatak preciznosti rešava se uvođenjem merenja udaljenosti od još jednog satelita. Sat na prijemniku uvodi istu vremensku i prostornu grešku kada proračunava udaljenost od sva četiri satelita. Može se izračunati za koliko treba korigovati sat da bi se četiri sfere sekle u jednoj tački. Na taj način se sat na prijemniku neprekidno koriguje.

Jedna od primena GPS-a je veoma precizno računanje vremena i sinhronizacija časovnika. Danas, koristeći civilne komercijalne prijemnike moguće je odrediti poziciju sa

greškom od 3 m do 15 m, dok se upotrebom specijalnih prijemnika može odrediti pozicija sa greškom do 30 cm.

Osnovne komponente GSP prijemnika su antena podešena na frekvenciju GPS satelita, kristalni oscilator koji služi kao časovnik i mikroprocesor koji obrađuje signale. Prijemnici se često opisuju prema tome koliko kanala imaju. Svaki kanal prati po jedan satelit. Stariji modeli su imali četiri do pet kanala, a današnji uglavnom 12 do 20 kanala. GPS prijemnici komuniciraju sa drugim uređajima preko serijskih interfejsa, kao što su *USB* ili *Bluetooth*, koristeći standardne protokole. NMEA 0183 i NMEA 2000 široko su rasprostranjeni protokoli. Iako su zaštićeni protokoli, objavljeno je dovoljno javnih dokumenata koji ih opisuju da se mogu koristiti bez kršenja autorskih prava [57].

3.2.3.1. Telit GM862 GSM Modem

Telit GM862 modem namenjen je korišćenju bežičnim (*wireless*) industrijskim aplikacijama za monitoring. Malih je dimenzija, lagan je i lak za integraciju, kvalitetnog je robusnog dizajna, male potrošnje, proširenog opsega radne temperature (od -20°C do $+70^{\circ}\text{C}$) sa integrisanim držačem GSM kartice. Modem ima *real-time* časovnik i alarm. Na slici 3.2.10. može se videti izgled Telitovog modema

Osnovne karakteristike Telit GM862 modema:

➤ **Dimenzije:**

- dužina : 43,9 mm
- širina : 43,9 mm
- debljina : 6,9 mm
- zapremina : $\approx 13 \text{ cm}^3$
- težina : 23 g

Dimenzije kućišta modema odgovaraju potrebama da mobilna stanica bude što manjih gabarita.

➤ **Temperaturni opseg sigurnog rada:**

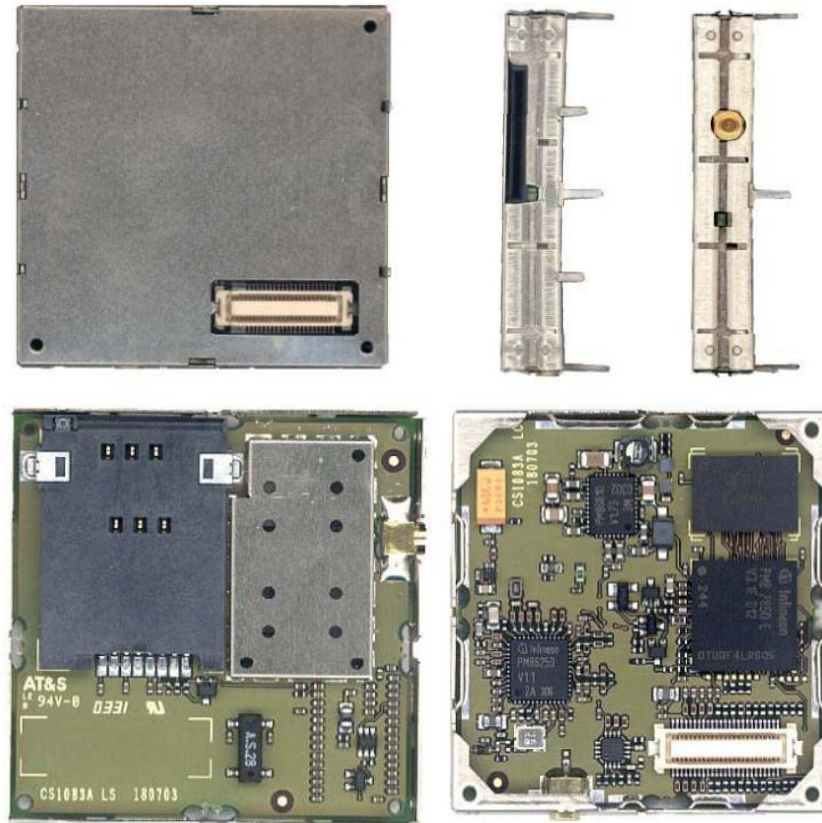
- garantovano funkcionalan rad u opsegu temperatura od -10°C do $+55^{\circ}\text{C}$
- temperatura u ekstremno funkcionalnom stanju od -20°C do $+70^{\circ}\text{C}$
- temperatura skladištenja od -30°C do $+85^{\circ}\text{C}$

Kako će merna stanica biti locirana na površini zemlje i u gradskim uslovima neće biti problem obezbediti temperaturni opseg koji će odgovarati temperaturnom opsegu sigurnog rada modema.

➤ **Prema GSM specifikaciji modem može da radi sledećim frekvencijama:**

- 900 MHz
- 1800 MHz.

Obe frekvencije spadaju u standardne GSM frekvencije u Evropi, tako da je pokriven standardni opseg za frekvencije na kojima radi GSM.



Slika 3.2.10. Izgled modema Telit GM862 (preuzeto iz [52])

- **Napon napajanja:**
 - nominalni radni napon 3,8 V
 - operativni opseg napona od 3,4 V do 4,2 V

Telit GM862 modul zahteva eksterno napajanje (slika 3.1.1). Eksterno napajanje se priključuje između pinova označenih sa VBATT i GND. Posebna pažnja se mora obratiti da se ne pređu granice operativnog opsega napona jer se u suprotnom modem automatski isključuje.

- **Tipična potrošnja struje Telit GSM862 modula**
 - *power off* režim (tipično) 26 μ A
 - *stand-by* režim 4 mA
 - maksimalna potrošnja struje (strujni impuls) 1,9 A
 - maksimalna srednja potrošnja struje tokom prenosa podataka 350 mA
 - srednja vrednost struje u *idle* režimu 17 mA

Što se tiče potrošnje modema, najkritičniji deo predstavlja strujni impuls od 1,9 A koji se javlja prilikom prenosa podataka, ali napajanje modema je projektovano tako da može dati struju od 3 A, pa samim tim modem može nesmetano da radi.

- **Konektori GM862 modula:**
 - konektor za antenu

- interfejs konektor
- čitač SIM kartice

Telit GM862 GPRS modul ima ugrađen čitač SIM kartica. On podržava samo SIM kartice napona napajanja od 3 V.

3.2.3.2. Rad sa Telit GM862 modemom

Na slici 3.2.11. prikazana je projektovana električna šema dela uređaja koji služi za slanje podataka. Na šemi je prikazan modem GM862 sa sprežnim kolima za pojedine priključke. U narednom tekstu su opisane funkcije pojedinih pinova modema i način na koji se dovode ključni signali za upravljanje modemom.

Indikacija dostupnosti mreže vrši se preko AT komandi ili preko *LED* indikacije na pinu 39 (*STAT_LED*). *STAT_LED* je izlaz sa otvorenim kolektorom, pa je potrebno redno priključiti otpornik i *LED* (svetleću diodu) kako bi dioda pokazivala informacije o stanju mreže i statusu poziva (*CALL STATUS*). Sledeća tabela daje opis i značenje *LED* indikacije.

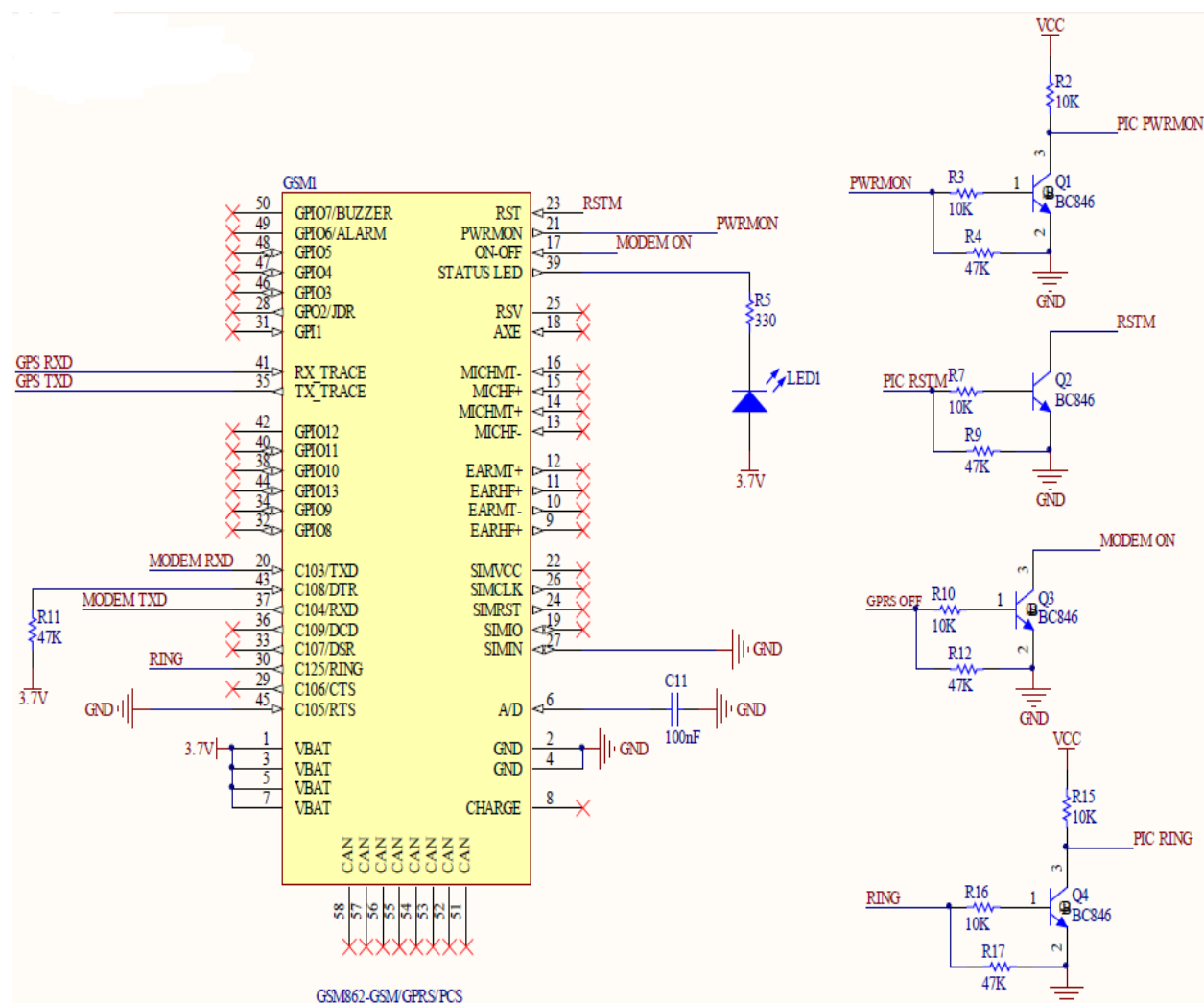
Tabela 3.1 Opis i značenje *LED* indikacije

LED status	Status uređaja
Stalno isključena	Uređaj isključen
Brzo blinkanje (period T_{on} 0,5s)	Traži se mreža/nije registrovana kartica
Sporo blinkanje (period 3s, T_{on} 0,3s)	Registrovana kartica na mrežu
Stalno uključena	Poziv je u toku

Reset signal se koristi za reset modema. Dokle god je signal na niskom nivou GM862 GPRS je resetovan. Kada se uređaj resetuje, on zaustavlja sve operacije i posle otpuštanja reseta modem se isključuje bez prethodnog odjavljivanja sa mreže na kojoj je registrovan. Ovo nije pravilno isključivanje modema jer nije urađeno odjavljivanje sa mreže. Zbog ovoga reset se ne sme koristiti za normalno isključivanje modema, već kao jedino rešenje u retkim slučajevima kada modem čeka nekakav odgovor od mreže, a ne dobija ga duže vreme. Kontrola reset-signal realizovana je sa pomoću digitalnog pina mikrokontrolera (PIC RSTM na slici 3.2.11) i prekidača realizovanog pomoću tranzistora BC846 (Q2 na slici 3.2.11.)

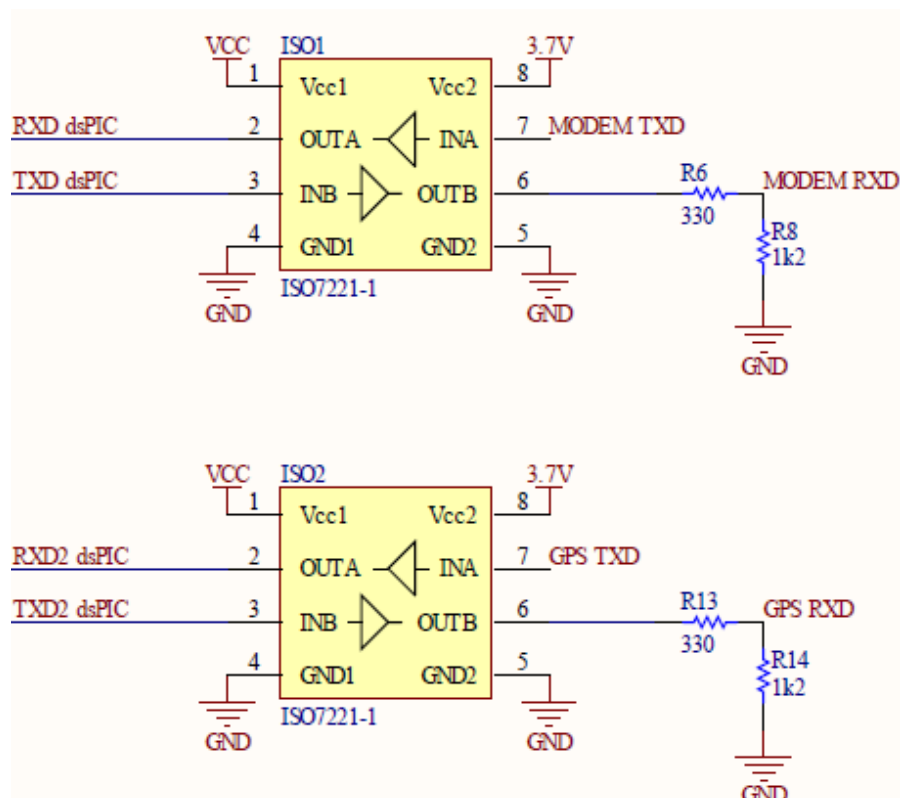
Uključivanje i isključivanje modema vrši se pomoću pina broj 17 sa oznakom ON-OFF. Kontrolno kolo za uključivanje/isključivanje modema čine digitalni pin mikrokontrolera i prekidač realizovan sa tranzistorom BC846 (oznake na slici 3.2.11 redom su GPRS_ON i Q3). Ukoliko se želi uključiti modem na pin ON-OFF se dovodi signal koji odgovara logičkoj nuli u periodu od 1 s do 3 s.

Praćenje rada modema vrši se pomoću pina sa oznakom *PWRMON*. Naime, ako je modem uključen na ovom pinu će biti logička jedinica. Čitanje nivoa se vrši pomoću kontrolnog kola realizovanog pomoću tranzistora Q1, otpornika R3 i R4 i ulaznog pina mikrokontrolera. Ulazni pin mikrokontrolera sa oznakom *PIC PWRMON* očitava trenutno stanje na pinu modema. Ako je modem uključen signal *PWRMON* je visok i tranzistor Q1 vodi u saturaciji pa mikrokontroler čita logičku nulu na pinu *PIC PWRMON*. U suprotnom, ako je modem isključen, tada je Q1 zakočen, pa je *PIC PWRMON* na logičkoj jedinici.



Slika 3.2.11. Električna šema modema GM862 sa dodatnim sprežnim kolima za pojedine pinove

Komunikacija modema sa mikrokontrolerom odvija se preko pinova 20 i 37 sa oznakama MODEM RXD i MODEM TXD. Tip komunikacije predstavlja standardnu serijsku RS232 komunikaciju. Mikrokontroler upravlja modemom preko odgovarajućih komandi tzv. AT-komandi [58]. Kako naponski nivo mikrokontrolera i modema nisu isti, signali se moraju uskladiti. To je realizovano pomeračem nivoa. Električna šema pomerača nivoa data je na slici 3.2.12. Napon napajanja mikrokontrolera označen je sa VCC, a napon napajanja modema je 3,7 V.



Slika 3.2.12 Električna šema translatora nivoa sa odgovarajućim signalima

Pomerač nivoa je korišćen i prilikom dobijanja informacije o trenutnoj GPS poziciji. Naime, na zahtev mikrokontrolera modem šalje odgovarajuću informaciju u vidu NMEA rečenica na osnovu kojih se mogu odrediti sledeći parametri: geografska dužina, geografska širina, vreme čitanja.



Slika 3.2.13. Primer na kojoj je prikazana struktura NMEA rečenice

NMEA protokol obezbeđuje i informaciju o validnosti podataka u vidu oznaka A za validne i V za podatke koji nisu validni. Na slici 3.2.13. prikazan je izgled jedne kompletne NMEA rečenice.

3.3. SENZORSKI BLOK

Senzorski blok se sastoji od više različitih vrsta senzora, za merenje parametara životne sredine, sa različitim metodama detekcije. Najveći udeo u senzorskom bloku čine senzori za merenje koncentracije gasova u atmosferi. U odnosu na princip kojim se detektuje gas, senzori se mogu podeliti na više vrsta:

- katalitički senzori,
- elektrohemijski senzori,
- senzori bazirani na principu poluprovodničke detekcije,
- senzori bazirani na principu apsorpcije infracrvenih zraka

U nastavku su opisani principi rada senzora, a potom je dat predlog za izbor senzora na osnovu principa i uslova rada. Na kraju je detaljno opisan svaki izabrani senzor pojedinačno, zajedno sa kontrolnim kolom i upravljačkim signalima.

3.3.1. KATALITIČKI SENZORI

Katalitički senzori [59] se koriste za merenje zapaljivih gasova. Oni se koriste više od 50 godina. Inicijalno, ovi senzori su se koristili za monitoring gasova u rudnicima uglja. Sam senzor je prilično jednostavane konstrukcije i jednostavan je za izradu. U najjednostavnijem obliku, kakvi su bili prvi primerci, sastojali su se od jedne žice od platine. Katalitički senzori sa perlom su se proizvodili širom sveta od strane velikog broja proizvođača. Na slici 3.3.1. prikazan je izgled katalitičkog senzora sa perlom.



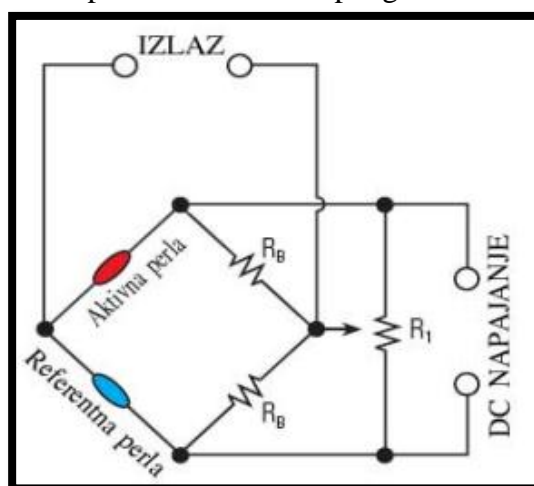
Slika 3.3.1. Katalitički senzor za merenje zapaljivih gasova sa perlom (preuzeto iz [59])

Princip rada katalitičkog senzora je zasnovan na činjenici da se zapaljive gasne smeše neće upaliti sve dok ne dostignu temperaturu paljenja. Međutim, u prisustvu određenih hemijskih medijuma, gas će početi da sagoreva pri nižim temperaturama. Ovaj fenomen je poznat pod imenom katalitičko sagorevanje. Većina metalnih oksida i njihova jedinjenja poseduju ove katalitičke osobine. Na primer, vulkansko stenje, koje se sastoji od različitih metalnih oksida, često se postavlja u ložišta za gasno sagorevanje. Ovo se koristi ne samo u dekorativne svrhe, već ovo takođe pomaže proces sagorevanja i rezultuje čistijim i efikasnijim sagorevanjem u ložištu.

Jedinjenja platine, paladijuma i tora su takođe izuzetni katalizatori sagorevanja. Zbog toga se u izduvnim sistemima automobila ugrađuju jedinjenja platine koja se nazivaju katalitički konvertori. Gasni molekuli oksidišu na katalitičkoj površini senzora na mnogo nižoj temperaturi od temperature paljenja. Sa druge strane, svi električno provodni materijali menjaju svoju provodnost pri promeni temperature. Ovo se naziva temperaturni koeficijent otpornosti (C_t). On se izražava kao procenat promene otpornosti po stepenu promene temperature. Platina poseduje veliki C_t u poređenju sa ostalim metalima. Dodatno, njen C_t je linearan između 500°C i 1000°C , što je temperaturni opseg u kome senzori moraju raditi. Zbog linernog opsega koji poseduje C_t platine izlazni signal sa senzora će biti proporcionalan koncentraciji merenog gasa.

Takođe, platina poseduje odlične mehaničke osobine. Ona je fizički jaka i može se izvući u tanko vlakno koje se ugrađuje u male senzorske perlice. Dalje, platina poseduje interesantne hemijske osobine za datu primenu. Ona je otporna na koroziju i može raditi na povišenim temperaturama tokom dugih vremenskih perioda bez promene fizičkih osobina. Ona je u stanju da daje konstantni pouzdani signal tokom dugog vremenskog perioda.

Električno kolo koje se koristi za merenje izlaza sa katalitičkog senzora naziva se Vitstonov most, u čast engleskog fizičara i pronalazača Čarlsa Vitstona¹. Vitstonovi mostovi se često koriste u mnogim električnim mernim kolima. Četiri grane kola su raspoređene u kvadrat kao što je prikazano na slici 3.3.2. Naponski izvor povezan je između drugog para kontakata, a na suprotnim uglovima se postavlja izlazno merno kolo. Otpornik R_1 je trimer-otpornik koji se podesi tako da održava most u ravnoteži. Uravnoteženi most kao izlazni signal daje vrednost napona od 0 V. Otpornost R_B i trimer potencijometar R_1 biraju se tako da poseduju relativno veliki otpor kako bi se obezbedio pravilan rad celokupnog kola.



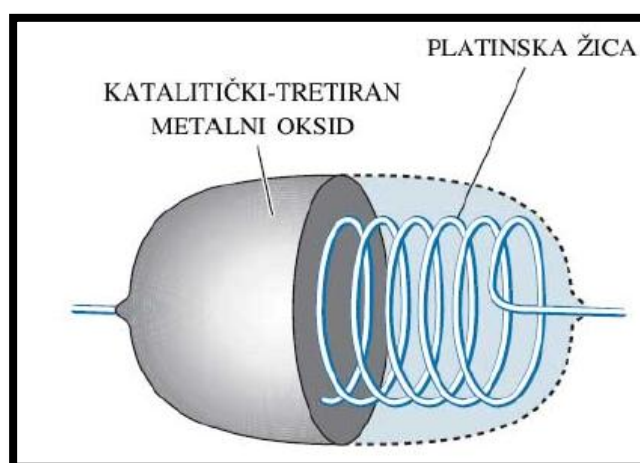
Slika 3.3.2. Katalitički senzor za merenje zapaljivih gasova sa perlom u kolu sa Vinstonovim mostom

Kada gas sagoreva na aktivnoj površini senzora, toplota sagorevanja izaziva porast temperature, koja dalje menja otpornost senzora. Kada most nije uravnotežen, razlika napona koja se javlja na izlazu predstavlja izlazni signal. Bitno je da referentni senzor ili perla održi konstantnu otpornost tokom izlaganja zapaljivim gasovima; u suprotnom, mereni signal će biti netačan.

¹ Sir Charles Wheatstone (1802-1875).

Uprkos izuzetnim fizičkim i hemijskim osobinama, platine je loš katalizator za sagorevanje ugljovodoničnih gasova. Za pravilno merenje koncentracije ugljovodoničnih gasova senzor zahteva visoku površinsku temperaturu između 900°C i 1000°C. Ova temperatura je neophodna da bi senzor mogao pravilno da reaguje sa gasovima i da bi izlazni signal bio stabilan. Pri ovoj temperaturi, međutim, platina počinje da isparava. Intenzitet isparavanja se povećava kako gasni molekuli počnu da reaguju sa senzorom i kako se temperatura povećava. Ovo izaziva smanjuje prosečnog preseka platinske žice i direktno utiče na izlazni signal.

Referentna žica u idealnom slučaju je identična sa aktivnom žicom, sa istom geometrijom i radnom temperaturom, ali ne sme reagovati sa gasom. Ovo nije praktično moguće. Kompromis je učinjen tako što je postavljena referentna žica koja reaguje na značajno nižoj temperaturi, ali tako da se oksidacija ne vrši u prisustvu ugljovodonika. Slika 3.3.3. prikazuje senzorsku perlu.



Slika 3.3.3. Katalitička senzorska perla

Postoji nekoliko faktora koji utiču na rad katalitičkog senzora.

1. Katalitičko trovanje: Postoje hemikalije koje će deaktivirati senzor i dovesti do toga da senzor izgubi osetljivost i eventualno postane potpuno neosetljiv na gasove. Najčešće hemikalije koje mogu zatrovati katalitičke senzore su one koje sadrže silikon, kao što su obična ulja i maziva sa silikonskim jedinjenjima koja se dodaju mehanizmima. Sumporna jedinjenja, koja se često oslobađaju sa gasovima, hloridi i teški metali takođe mogu dovesti do trovanja senzora. Tačan uzrok ovakvih trovanja je vrlo teško identifikovati. Neke hemikalije, već pri niskim koncentracijama, mogu totalno uništiti senzor. Postojali su slučajevi u kojima je silikon sadržan u običnim losionima dovedio do problema sa katalitičkim sensorima.

2. Inhibitori senzora: Hemikalije kao što su halogena jedinjenja, koja se koriste u protivpožarnim aparatima i freon koji se koristi u frižiderima, inhibiraće katalitičke senzore i izazvati privremeni gubitak osnovnih funkcija. Normalno, nakon 24 ili 48 časa izlaganja čistom vazduhu, senzor počinje da funkcioniše normalno. Ovo je samo nekoliko tipičnih hemikalija koje inhibiraju osobine senzora i nikako se ne trebaju smatrati jedinim mogućim inhibitorima.

3. Pucanje senzora: Senzor može da popuca ako je izložen prekomernim koncentracijama gasova, prevelikoj toploti i različitim oksidacionim procesima, koji se odigravaju na površini senzora. Ova pojava može izazvati razdešavanje osetljivosti senzora.

4. Korekcionni faktori: Katalitički senzori se najčešće kalibrišu za metan za 0-100% LEL u celom opsegu. Proizvođači generalno daju set korekcionnih faktora koji dozvoljavaju korisniku

da meri druge ugljovodonike jednostavnim množenjem očitavanja sa odgovarajućim korekcionim faktorom kako bi izvršili očitavanje drugog. Razlog za upotrebu metana kao primarnog kalibracionog gasa je taj što metan poseduje jednostruku zasićenu vezu koja zahteva da senzor radi na najvišoj temperaturi u poređenju sa drugim ugljovodonicima.

Kao krajnji zaključak može se reći da je katalitički senzor je relativno jednostavan za proizvodnju. Međutim, kvalitet senzora varira prilično drastično od jednog proizvođača do drugog. Životni vek senzora je oko tri godine, u zavisnosti od primene. Tačnost senzora se procenjuje na 5 % , dok je ponovljivost 2 %. Vreme odziva od 10 s do 15 s, a odstupanje 5 %–10 % godišnje.

3.3.2. ELEKTROHEMIJSKI SENZORI

Prvi elektrohemijski senzori [60] datiraju iz 1950-ih i koristili su se za monitoring kiseonika. Kasnije, kada je agencija za bezbednost i zdravlje na radu (OSHA) počela da zahteva monitoring toksičnih i zapaljivih gasova u zatvorenim prostorima, noviji i bolji elektrohemijski senzori su počeli da se razvijaju. Do sredine 1980-ih, minijaturizovani elektrohemijski senzori su postali dostupni za merenje koncentracije mnogo različitih toksičnih gasova u PEL opsegu, sa senzorima koji su posedovali dobru osetljivost i selektivnost. Trenutno, mnoštvo elektrohemijskih senzora se upotrebljava u velikom broju stacionarnih i prenosivih uređaja za ličnu zaštitu. Slika 3.3.4. prikazuje malu kolekciju elektrohemijskih senzora. Fizička veličina, geometrija i konstrukcija elektrohemijskog senzora obično zavisi od namene. Vrlo često, konačni dizajn rezultuje kompromisom između različitih parametara elektrohemijskog senzora. Izgled elektrohemijskih senzora koji se koriste za detekciju različitih gasova može biti sličan, ali njihove funkcije se izrazito razlikuju. Zbog toga se mogu očekivati različite performanse od svakog od ovih senzora, u pogledu osetljivosti, selektivnosti, vremena odziva i radnog veka.

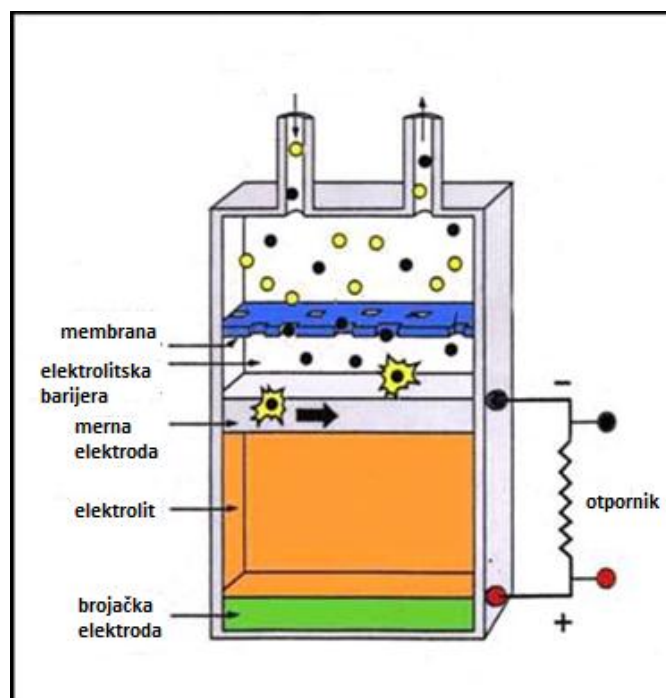


Slika 3.3.4. Izgled elektrohemijskih senzora (preuzeto iz [60])

Na primer, gasni senzori za niske koncentracije sa vrlo visokom osetljivošću koriste gruboporoznu hidrofobnu membranu i manje ograničavajuću kapilaru koja dopušta da više gasnih molekula prođu kroz nju kako bi povećali osetljivost. Međutim, ovaj dizajn takođe dovodi do toga da veća količina molekula vode iz elektrolita izađe van senzora u spoljašnjost. Drugim rečima, elektrohemijski senzor sa visokom osetljivošću poseduje relativno kraći radni vek zbog isparavanja vlage kroz poroznu membranu. Slično ovome, elektrolitska smeša i materijal za senzorsku elektrodu se biraju na osnovu hemijske reaktivnosti merenog gasa. Pažljivim izborom elektrolita i/ili senzorske elektrode može se ostvariti selektivnost na mereni gas, ali se pri tome osetljivost može redukovati. Dakle, elektrohemijski senzori su konstruisani od različitih

materijala uključujući i kritične elemente kao što su senzorske elektrode, elektrolitska smeša i poroznost hidrofobnih barijera. Dodatno, neki elektrohemijski senzori koriste spoljašnju električnu energiju kako bi bili reaktivni na mereni gas.

Elektrohemijski senzori rade na principu reakcije sa gasom koji nas interesuje, produkujući električni signal proporcionalan koncentraciji gasa. Tipični elektrohemijski senzor se sastoji od senzorske elektrode ili merne elektrode i brojačke elektrode, razdvojene međusobno tankim slojem elektrolita kao što je to prikazano na slici 3.3.5.



Slika 3.3.5. Presek tipičnog elektrohemijskog senzora

Gas koji dođe u kontakt sa senzorom prvo prolazi kroz mali otvor kapilarnog tipa. Zatim difunduje kroz membranu i elektrolitsku barijeru, pa na kraju stiže do površine merne elektrode. Ovaj prilaz je usvojen kako bi se dozvolilo da odgovarajuća količina gasa reaguje na senzorskoj elektrodi i proizvede dovoljan električni signal, istovremeno sprečavajući da elektrolit iscure iz senzora.

Gas koji difunduje kroz barijeru reaguje na površini senzorske elektrode koristeći ili oksidacioni ili redukcionu mehanizam. Ove reakcije su katalizovane od strane materijala elektrode specijalno razvijene za gas koji se meri. Sa otpornikom povezanim između elektroda, struja proporcionalna gasnoj koncentraciji teče između anode i katode. Struja se meri da bi se odredila gasna koncentracija. Pošto u ovom procesu nastaje struja, elektrohemijski senzor se često opisuje kao amperometrički gasni senzor ili mikrogorivna ćelija.

Senzor zahteva spoljašnje napajanje i konstantni potencijal na senzorskoj elektrodi. U stvarnosti, potencijal senzorske elektrode nije konstantan zbog konstantnih elektrohemijskih reakcija koje se odvijaju na površini elektrode. Ovo dovodi do smanjenja performansi senzora u dužem vremenskom periodu. Kako bi se unapredile performanse senzora, postavlja se referentna elektroda unutar elektrolita veoma blizu senzorske elektrode. Referentna elektroda održava vrednost napona na senzorskoj elektrodi. Struja ne teče kroz referentnu elektrodu. Gasni molekuli

reaguju na senzorskoj elektrodi i meri se jačina struje između senzorske i brojačke elektrode. Struja je direktno proporcionalna gasnoj koncentraciji.

Elektrohemiski senzor se sastoji od sledećih glavnih komponenti:

A. Gasno propustljiva membrana, koja se naziva i hidrofobna membrana, koristi se za prekrivanje radne (senzorske) elektrode senzora i u nekim slučajevima, za kontrolisanje količine gasnih molekula koji dospevaju na površinu elektrode. Ovakve barijere se po pravilu izrađuju kao tanke teflonske membrane, male poroznosti. Ovakvi senzori se nazivaju membranom presvučeni senzori. Alternativno, senzorska elektroda je prevučena visoko-poroznim teflonom i količina gasnih molekula koji stižu do površine elektrode se kontroliše kapilaram. Ovakvi senzori nazivaju se i senzori kapilarnog tipa. Osim što obezbeđuje mehaničku zaštitu senzora, membrana vrši dodatnu funkciju filtriranja neželjenih čestica. Izbor odgovarajuće veličine pora na membrani i kapilare neophodan je da bi se prebacila odgovarajuća količina gasnih molekula. Veličina pora treba biti takva da dopusti da odgovarajući broj molekula gasa dopre do senzorske elektrode. Veličina pora takođe treba da spreči da tečni elektrolit ne iscure ili da se senzor ne isušuje prebrzo.

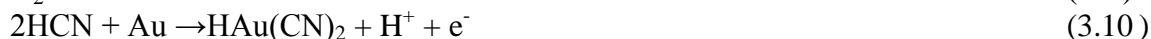
B. Elektroda: Izbor materijala elektrode je veoma bitan. Obično se elektrode izrađuju od plemenitih metala, kao što su platina ili zlato i kataliziraju efektivno reakciju sa gasnim molekulima. U zavisnosti od izvedbe senzora, sve tri elektrode su napravljene od različitih materijala kako bi se kompletirala reakcija u ćeliji.

C. Elektrolit: Elektrolit mora efikasno prenositi jonsko naelektrisanje između elektroda. On takođe mora formirati stabilni referentni potencijal sa referentnom elektrodom i mora biti kompatibilan sa materijalima koji se koriste unutar senzora. Ako elektrolit prebrzo ispari, signal iz senzora će oslabiti.

D. Filter: Ponekad se instalira žičani filter ispred senzora koji filtrira neželjene gasove. Postoji ograničeni izbor filtera, različite efikasnosti. Najčešće upotrebljavani filterski medijum je aktivni uglj. Filteri sa aktivnim ugljem filtriraju većinu hemikalija izuzev ugljen-monoksida i vodonika. Odgovarajućim izborom filterskog medijuma, elektrohemijski senzor može postati selektivniji na merene gasove.

Izbor pogodnih materijala za gore navedene komponente i podešavanje geometrije svih ovih komponenti, kako bi se odredile optimalne radne performanse predstavlja izazov. Male varijacije u detaljima dizajna senzora mogu imati ključni uticaj na preciznost senzora, vreme odziva, osetljivost, selektivnost i životni vek.

Značaj kiseonika pokazuju reakcije na senzorskoj elektrodi (anodi) za neke gasove:



Istovremeno, reakcije na brojačkoj elektrodi (katodi) zahtevaju molekule kiseonika kako bi se proces kompletirao:



Neadekvatno snabdevanje kiseonikom za kompletiranje reakcije skraćuje životni vek senzora. Senzori koji uključuju reakcije redukcije merenog gasa, kao što je redukcija azot-dioksida, hlora, i ozona na katodi produkuju vodu kao nusprodukt. Na anodi voda se trenutno oksiduje. Ovakvi senzori ne zahtevaju prisustvo kiseonika da bi radili pravilno, kao što je prikazano na sledećem primeru:



Postoji puno različitih načina na koje su elektrohemijski senzori konstruisani, u zavisnosti i od detektovanog gasa, kao i od proizvođača. Međutim, glavne karakteristike senzora su suštinski vrlo slične. Slede neke od zajedničkih karakteristika elektrohemijskih senzora:

1. Senzori sa tri elektrode poseduju kratkospajач koji povezuje radnu i referentnu elektrodu. Ako bi se on uklonio tokom skladištenja, senzoru bi trebalo dosta vremena da se stabilizuje i da postane spreman za upotrebu. Neki senzori zahtevaju prednapon između elektroda i u ovom slučaju, senzori se isporučuju sa baterijom od 9 V.

2. Većina senzora za toksične gasove zahteva malu količinu kiseonika kako bi radila pravilno. Za ovu svrhu oni poseduju malu ventilacionu rupicu sa strane ili otpozadi.

3. Elektrolit unutar senzorske ćelije je vodeni rastvor razdvojen hidrofobnom barijerom koja ne dozvoljava da taj rastvor iscuri. Međutim, vodena para može proći, isto kao i drugi gasni molekuli. U uslovima visoke vlažnosti, dugotrajno izlaganje može izazvati kondenzovanje dodatne vode koja može dovesti do curenja. U uslovima niske vlažnosti, senzor se može isušiti. Senzori koji su dizajnirani za monitoring visokih gasnih koncentracija poseduju manje porozne barijere kako bi ograničile količinu molekula gasa koji prolaze kroz njih i zbog toga na njih vlažnost mnogo manje utiče u odnosu na senzore za monitoring niskih gasnih koncentracija, koji poseduju poroznije barijere i dozvoljavaju slobodniju izmenu molekula vode.

Promena pritiska minimalno utiče na elektrohemijske senzore. Međutim, bitno je držati celi senzor pod istim pritiskom jer diferencijalni pritisak unutar senzora može dovesti do njegovog oštećenja. Elektrohemijski senzori su prilično osetljivi na temperaturu. Zbog toga senzori su interno temperaturno kompenzovani. Međutim, bolje je održavati temperature uzoraka što je moguće stabilnije. Temperaturni efekat je tipično od 0.5% do 1.0% po stepenu celzijusa, u zavisnosti od proizvođača i tipa senzora.

Elektrohemijski senzori su generalno korektno selektivni na merene gasove za koje su dizajnirani. Stepem selektivnosti zavisi od tipa senzora, merenog gasa i koncentracije gasa za koji je senzor namenjen da detektuje. Najbolji elektrohemijski senzor je za detekciju O_2 , koji poseduje dobru selektivnost, veoma je pouzdan i poseduje dug životni vek. Ostali elektrohemijski senzori su podložni interferenciji od drugih gasova.

Životni vek elektrohemijskog senzora zavisi od nekoliko faktora, uključujući detektovani gas i spoljašnje uslove u kojima se senzor koristi. Generalno, navedeni životni vek je od jedne do tri godine. U praksi, životni vek jako zavisi od ukupne količine gasova kojima je senzor izložen tokom radnog veka, kao i od spoljašnjih uslova (temperatura, pritisak i vlažnost).

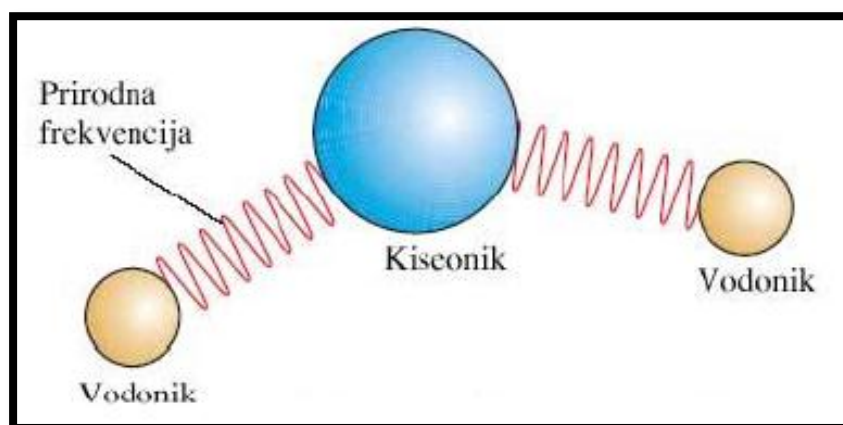
Elektrohemijski senzori zahtevaju veoma malo energije za rad. Zapravo, njihova potrošnja je najniža od svih tipova senzora dostupnih za merenje koncentracije gasova. Zato se ovi senzori široko koriste kod prenosivih instrumenata koji sadrže više senzora. Ovo su najpopularniji senzori za primene u rizičnim zonama. Radni temperaturni opseg elektrohemijskih senzora je od $-40\text{ }^\circ\text{C}$ do $+45\text{ }^\circ\text{C}$, dok je vreme odziva manje od 50 s. Životni vek senzora određuje proizvođač za uslove rada koji se smatraju normalnim. Međutim, životni vek senzora izuzetno zavisi od zagađivača u okolnoj atmosferi, temperature i vlažnosti kojima je izložen.

3.3.3. SENZORI GASOVA BAZIRANI NA APSORPCIJI INFRACRVENIH ZRAKA

Infracrvena (IC) gasna detekcija [61] dobro je razvijena merna tehnologija. Kod većine tipova senzora, sam senzor je direktno izložen gasovima, što često izaziva prerani otkaz istog. Glavna prednost senzora koji koristi IC izvor je ta što detektor ne dolazi u direktnu interakciju sa gasom (ili gasovima) koji se detektuju. Drugim rečima, gasni molekuli reaguju samo sa svetlosnim snopom. Samo je ćelija za uzorkovanje i njene komponente direktno izložena toku gasa koji se uzorkuje. Ove komponente mogu biti dizajnirane tako da budu jednostavne za održavanje ili zamenu. U današnje vreme, mnogo instrumenata baziranih na principu apsorpcije infracrvenih zraka je dostupno za širok spektar primena. Većina ima jednostavan, robusan i pouzdan dizajn. Uopšteno, za primene monitoringa toksičnih i zapaljivih gasova, instrumenti bazirani na principu apsorpcije infracrvenih zraka su među najjednostavnijim za upotrebu i zahtevaju najmanji stepen održavanja. Gasovi čiji molekuli sadrže dva ili više različitih atoma apsorbuju infracrveno zračenje i mogu se detektovati upotrebom IC tehnika. Infracrveni senzori su visoko selektivni i imaju širok opseg osetljivosti, od ppm nivoa do 100-procentnih koncentracija.

Kompleksnost gasnih molekula određuje broj apsorpcionih pikova. Što više atoma sačinjava molekul, više apsorpcionih opsega će se pojaviti. Oblast u kojoj se pojavljuje apsorpcija, količina apsorpcije i specifični karakter apsorpcione krive je jedinstven za svaki gas. Molekuli gasa se mogu identifikovati upotrebom njihovih apsorpcionih karakteristika. Biblioteka ovih krivih se može sačuvati u memoriji unutar instrumenta. Nakon što se dati gas skenira instrumentom, grafik se zatim upoređuje sa memorisanim krivama za identifikaciju gasnih molekula. Ovaj metod gasne analize je najpopularniji u analitičkoj hemiji.

U primenama za gasni monitoring samo jedna specifična apsorpciona oblast se koristi za kvantitativno određivanje gasne koncentracije. Talasne dužine u ovoj oblasti su između 2 i 15 mikrometara. Ugljovodonični gasovi poseduju jaku apsorpciju u 3,4 mikronske oblasti. Ugljen-dioksid apsorbuje svetlosni talas na 4,26 mikrometara, dok ugljen-monoksid apsorbuje svetlosni talas na 4,7 mikrometara.



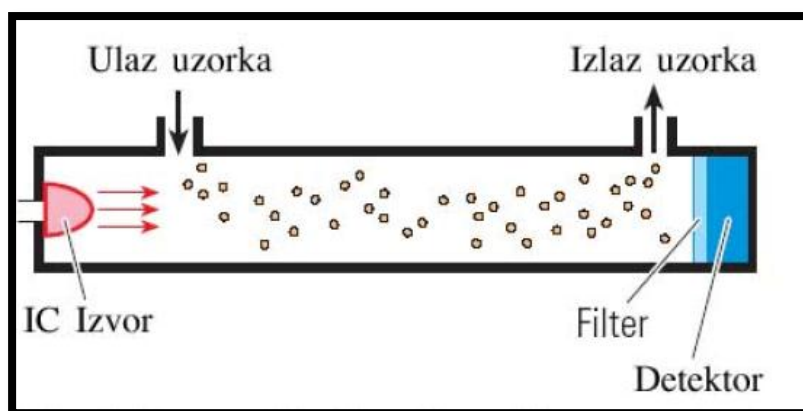
Slika 3.3.6. Sematski prikaz molekula vode sa prirodnom frekvencijom

Gasni molekuli su sačinjeni od većeg broja atoma međusobno povezanih. Ove međuatomske veze su slične oprugama, povezujući međusobno atome različitih masa. Slika 3.3.6. ilustruje molekul vode sa jednim atomom kiseonika i dva atoma vodonika. Ovo vezivanje vibrira sa fiksnom frekvencijom koja se naziva prirodna frekvencija.

Gasni molekuli poseduju brojne prirodne frekvencije. Što su molekuli veći, poseduju više modova prirodne frekvencije. Prirodne frekvencije su određene molekularnom strukturom hemikalija. One su uvek iste za dati molekul i strukturu vezivanja. Pojedinačne osobine koje pokazuju hemikalije postaju njen potpis i daju tragove za identifikaciju molekularne strukture datih hemijskih jedinjenja.

Postoje dva načina detekcije gasova baziranih na principu apsorpcije infracrvenih zraka. Infracrveno zračenje ima širok spektar zračenja. Kada ovo zračenje reaguje sa gasnim molekulima, deo energije poseduje istu frekvenciju kao što je prirodna frekvencija gasnih molekula i ona biva apsorbovana, dok se ostatak zračenja prenosi. Kada gasni molekul apsorbuje ovo zračenje, molekuli dobijaju energiju i vibriraju još snažnije. Ove vibracije dovode do porasta temperature gasnih molekula. Temperatura raste proporcionalno gasnoj koncentraciji i detektuje se pomoću detektora. Sa druge strane, zračenje će biti oslabljeno jer je deo zračenja apsorbovano od strane gasnih molekula gasa na određenoj talasnoj dužini. Ovo opadanje energije zračenja se takođe može detektovati kao signal.

Slike 3.3.7, 3.3.8, 3.3.9. ilustruju neke od osnovnih arhitektura infracrvenih analizatora.



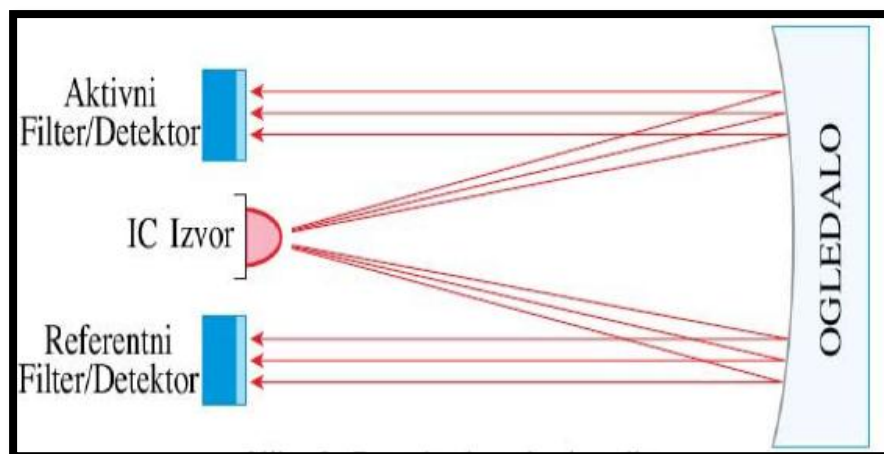
Slika 3.3.7. Arhitektura osnovnog IC detektora za merenje koncentracije gasova

Slika 3.3.7 prikazuje osnovnu izvedbu:

- IC izvor,
- filter propusnik opsega,
- detektor.

U zavisnosti od upotrebljenog detektora, filter propusnik opsega može biti postavljen ispred izvora svetlosti ili ispred detektora.

Slika 3.3.8 prikazuje slični raspored osim što se koriste dva detektora. Modulirana pulsirajuća svetlost sa IC izvora reflektuje se natrag ka detektorima. Aktivni detektor ima filter za mereni gas, dok referentni detektor poseduje filter sa drugačijom talasnom dužinom.

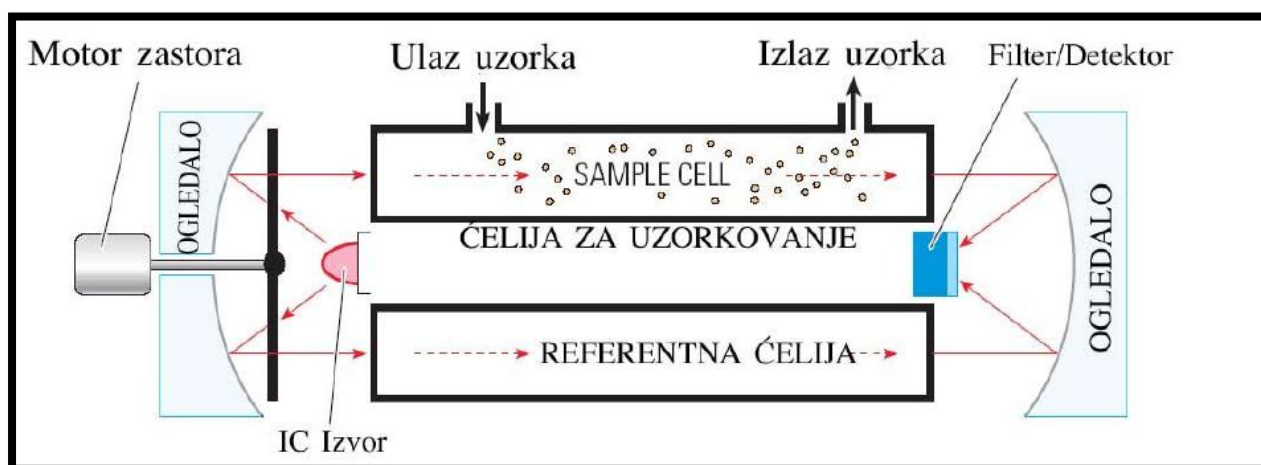


Slika 3.3.8. Arhitektura IC detektora sa dva detektora za merenje koncentracije gasova

Drugim rečima, aktivni detektor se koristi za detekciju ciljnog gasa, a referentni detektor se koristi za detekciju infracrvenih zraka u prostoru bez ciljnog gasa. U realnom radu, referentni detektor daje bazičnu vrednost ili nultu tačku, dok se aktivni detektor koristi za dobijanje signala.

Ovakav raspored je imun na promenu osetljivosti detektora koja se javlja tokom vremena. Na primer, intenzitet izvora svetlosti se može promeniti tokom vremena zbog kontaminacije, koja će dovesti do odstupanja nule. Dvodetektorsko rešenje minimizuje ovaj tip odstupanja.

Slika 3.3.9. ilustruje još jedan popularni dizajn. Ovaj dizajn koristi dve cevi ili ćelije. Jedna je referentna ćelija koja je napunjena čistim ciljnim gasom ili referentnim gasom, dok je druga ćelija za uzorkovanje (kroz nju gasni uzorak prolazi). Rotacioni zastor se koristi kod ove konfiguracije, koji je u osnovi disk sa puno proreza na njemu. Kako se zastor okreće, on periodično dozvoljava snopu svetlosti da prolazi kroz gasni uzorak i referentnu ćeliju. Pojedinačni detektor dobija osnovno čitanje sa referentne ćelije, slično kao kod referentnog detektora na slici 3.3.8. Gasni signal se dobija sa ćelije za uzorkovanje.



Slika 3.3.9. Arhitektura IC detektora za merenje koncentracije gasova sa dvostrukim snopom i zastorom

IC detektor je u osnovi temperaturni senzor i zbog toga, potencijalno veoma osjetljiv na promene temperature okoline. Međutim, pravilno dizajniran detektor može raditi na temperaturama između -40°C i 60°C , a da ne bude osjetljiv na promene u spoljašnjoj temperaturi. Većina detektora ne reaguje dobro na temperaturne varijacije. Instrument tipično zahteva od 10 do 20 minuta da postigne temperaturnu ravnotežu. Kod uređaja za spoljašnju primenu, ovo uobičajeno ne predstavlja ozbiljan problem jer se spoljašnja temperatura menja relativno sporo. Generalno, detektorska jedinica radi na temperaturama koje su blago iznad temperature okoline kako bi se sprečila kondenzacija vodene pare. Kondenzacija na optici i/ili na detektoru može ozbiljno uticati na performanse analizatora.

Normalna atmosferska vlažnost ima vrlo malo uticaja. Visoka vlažnost može izazvati koroziju i kontaminaciju koja dovodi do kvara analizatora. Visoka vlažnost predstavlja još ozbiljniji problem u prisustvu korozivnih gasova. Putanja talasa (komora za uzorkovanje) može se konstruisati od bilo kog materijala koji ne apsorbuje IC svetlost. Najčešće korišćeni materijali su nerđajući čelik ili aluminijum ili bakar obloženi nerđajućim slojem. Za neke ekstremno „vlažne” primene, kao što je zatvoreni prostor, rezervoari tečnosti ili odvodne šahte, vlažni uzorak treba „osušiti” pre izlaganja detektoru.

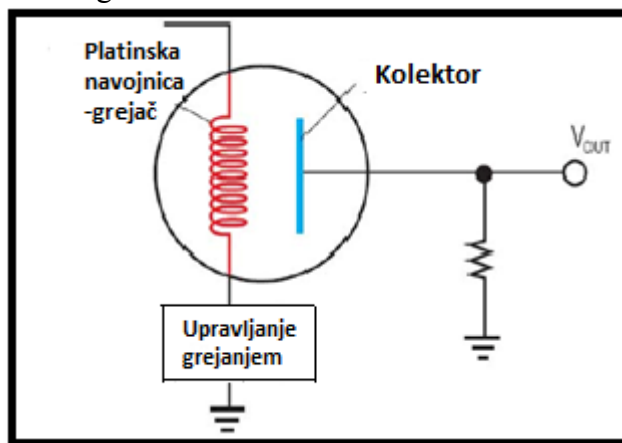
Za razliku od katalitičkog senzora, koji poseduje skoro linearan odziv na gasove u LFL opsegu, IC jedinica zahteva odgovarajuća pomoćna sredstva za linearizaciju izlaza.

IC detektor je uređaj koji je se nalazi unutar standardnog kućišta za elektroniku sa filterskim prozorom od safira. On ima dug životni vek, sličan većini elektronskih uređaja.

3.3.4. SENZORI BAZIRANI NA PRINCIPU POLUPROVODNIČKE DETEKCIJE

Senzori za merenje koncentracije gasova na principu poluprovodničke detekcije nazivaju se i senzori u čvrstom stanju. Kod senzora u čvrstom stanju, gas se jednostavno „absorbuje” na senzorskoj površini, menjajući otpor senzorskog materijala. Kada gasa nestane, senzor se vraća u originalno stanje. Nikakav senzorski materijal se ne troši tokom rada i zbog toga senzori u čvrstom stanju poseduju dug životni vek.

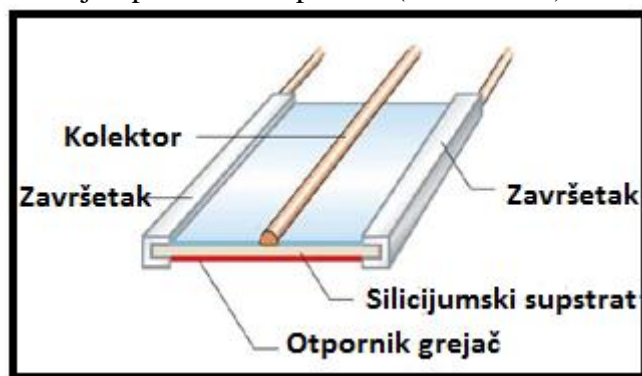
Prvi senzor napravljen od $p-n$ spoja koji se pojavio na tržištu služio je za detekciju ugljovodonika u LEL opsegu zapaljivosti. Danas su senzori u čvrstom stanju dostupni za detekciju više od 150 različitih gasova.



Slika 3.3.10. Šematski izgled poluprovodničkog senzora sa perlom

Senzor u čvrstom stanju sastoji se od jednog ili više oksida prelaznih metala, kao što su kalajni oksid, aluminijumski oksid, itd. Ovi metalni oksidi su pripremljeni i obrađeni u deo koji se koristi za pravljenje senzora sa perlom. Grejni element se koristi za regulaciju temperature senzora, pošto gotovi senzori pokazuju različitu karakteristiku odziva na gasove na različitim temperaturama. Ovaj grejni element može biti žica od platine ili njene legure, otpornog metalnog oksida, ili tankog sloja depozicionirane platine. Senzor zatim radi na visokoj temperaturi koja određuje specifične karakteristike senzora [62].

U prisustvu gasa, metalni oksid izaziva disocijaciju gasa na naelektrisane jone ili komplekse koji rezultuju prebacivanjem elektrona. Ugrađeni grejač, koji greje metal-oksidni materijal na radnu temperaturu koja je optimalna za gas koji se detektuje, regulisan je i kontrolisan od strane odgovarajućeg elektronskog kola. Nekoliko prednaponskih elektroda ugrađene su u metalni oksid za merenje njegovih promena u provodnosti. Promene u provodnosti senzora izazvane interakcijom sa gasnim molekulima mere se kao signal. Tipično, senzor u čvrstom stanju daje vrlo jak signal, a naročito pri visokim gasnim koncentracijama. Postoje razni načini proizvodnje senzora u čvrstom stanju, a svaki raspored čini karakteristike različitim. Tipičan primer ovog senzora je tip senzora sa perlom (slika 3.3.11)



Slika 3.3.11. Struktura poluprovodničkog senzora sa perlom

Većina senzora u čvrstom stanju poseduje tri ili četiri nožice, u zavisnosti od toga kako su povezane elektrode za grejanje i merenje.

Karakteristike senzora

Senzori u čvrstom stanju su najprilagodljiviji od svih senzora, pošto detektuju širok spektar gasova i mogu se koristiti u puno različitih primena. Različite karakteristike odziva su postignute upotrebom različitih poluprovodnih materijala, procesnih tehnika i radnom temperaturom senzora. Jedinstveni atributi senzora u čvrstom stanju su sposobnosti senzora da detektuje niske i visoke – zapaljive nivoe koncentracije gasova.

- **Dugovečnost.**

Najjača strana senzora u čvrstom stanju je njihov dug životni vek, pošto senzor tipično traje deset ili više godina. Ovo je velika prednost u poređenju sa ostalim tipovima senzora, kao što su katalitički sa perlom ili elektrohemijski senzori, koji tipično traju oko dve godine. Međutim, dok senzori u čvrstom stanju poseduju duži životni vek, oni su takođe osetljiviji na interferentne gasove od drugih tipova senzora. Zbog toga, u primenama gde su ostali gasovi prisutni, senzori u čvrstom stanju mogu aktivirati lažne alarme. U određenim slučajevima, imunost na ostale gasove se povećava upotrebom odgovarajućih materijala za filtraciju koji absorbiraju sve ostale gasove izuzev gasa koji se detektuje. Na primer, senzor u čvrstom stanju za

monitoring ugljen-monoksida i vodonika se može opremiti filterom sa aktivnim ugljem koji eliminiše uticaj drugih gasova. Na ovaj način senzor radi vrlo dobro i postaje veoma selektivan za ova dva gasa.

- **Prilagodljivost.**

Prilagodljivost senzora u čvrstom stanju je jedna od njegovih glavnih prednosti. Na primer, u hemijskim postrojenjima sistem za nadgledanje gasova može obuhvatati nadgledanje mnogo različitih gasova i opsega ili čak istog gasa u više opsega. Često se moraju nadgledati opsezi niske koncentracije određenih toksičnih gasova, dok se istovremeno prate i drugi opsezi koncentracija za eksplozivne gasove. Senzor u čvrstom stanju je sposoban da detektuje gas u oba opsega. Ovo umnogome pojednostavljuje dizajn sistema i neophodno održavanje jer eliminiše ili minimizuje upotrebu različitih senzorskih tehnologija koje se moraju projektovati i održavati posebno. Tipični ppm opsezi koji se biraju su tri do pet puta veći od dozvoljene granice izloženosti za osmočasovno radno vreme.

- **Tipične karakteristike senzora**

Preciznost senzora je od 3 % do 10 % punog opsega. Vreme odziva je oko 90 sekundi. Temperaturni opseg rada senzora je od -20°C do $+50^{\circ}\text{C}$. Životni vek je veći od 10 godina. Potrošnja je oko 300 mW.

3.3.5. PREGLED IZBORA GASNIH SENZORA NA OSNOVU PRINCIPA I USLOVA RADA

Kada se radi o primeni senzora za kontrolu kvaliteta vazduha, treba obavezno voditi računa o samom izboru senzora. Nakon datog pregleda pojedinačnih principa i uslova rada senzora u narednom tekstu su ukratko predstavljena poređenja između elektrohemijskih, infracrvenih, poluprovodničkih i katalitičkih senzora.

1. Trovanje senzora: Ovo je glavni problem kod katalitičkih senzora. Različita hemijska jedinjenja, kao što je vodonik sulfid, silikonska jedinjenja hlorova ili fluorova jedinjenja, mogu zatrovati katalizator u senzoru i izazvati gubitak osetljivosti senzora. IC detektori nemaju ovaj problem.

2. Pregorevanje senzora: Katalitički senzori će pregoreti ako se izlože visokim koncentracijama dok, senzori koji rade na principu apsorpcije infracrvene svetlosti nemaju ovaj problem.

3. Životni vek senzora: Katalitički senzori imaju životni vek od jedne do dve godine, dok senzori u čvrstom stanju (poluprovodnički) tipično traju duže od deset godina. Dobro dizajnirana IC jedinica takođe ima životni vek duži od deset godina.

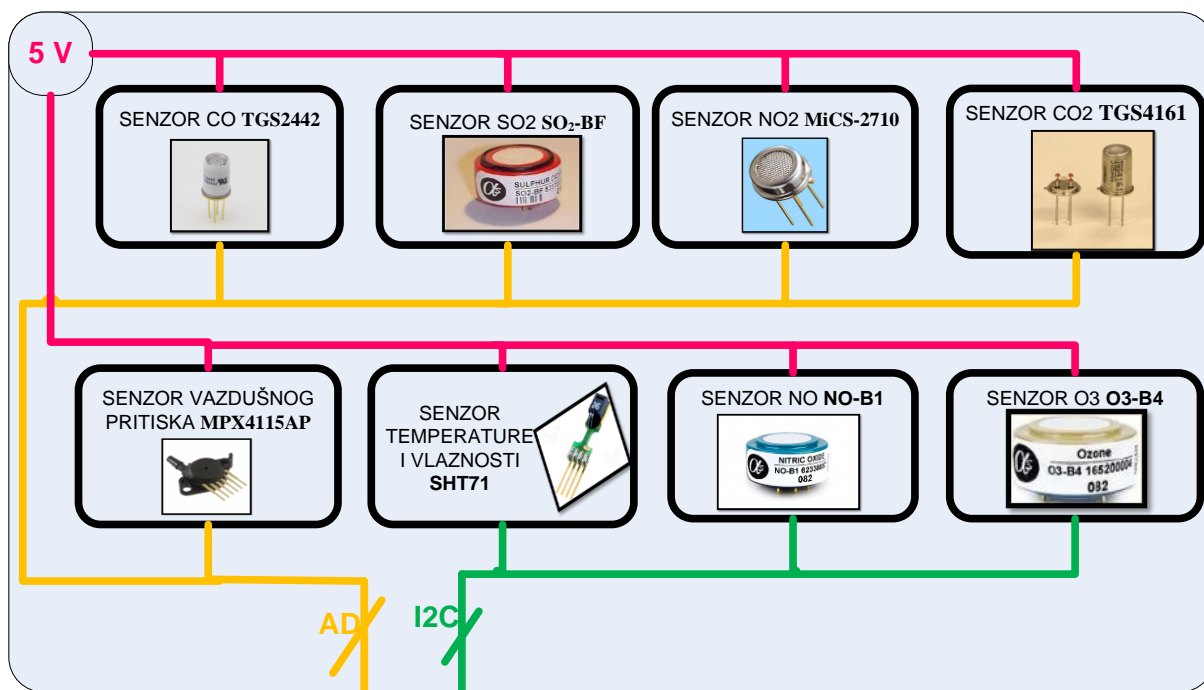
4. Kalibracija senzora: Periodična kalibracija mora se vršiti na svim tipovima senzora. Međutim, dok god se nulta koncentracija gasa održava ispravno, IC senzor daje dobar odziv i dobru tačnost mernog opsega. Zbog ove karakteristike, nepravilno funkcionisanje IC jedinice se lako prepoznaje.

5. Trajno izlaganje gasovima: U primenama koje zahtevaju da detektor bude trajno izložen gasnom toku za monitoring ugljovodonika, katalitički i poluprovodnički senzori će imati kraći životni vek. Dugotrajno izlaganje gasovima neizostavno menja karakteristike senzora i vodi do trajnog oštećenja. Međutim, kod IC instrumenata, funkcionalne komponente zaštićene su optičkim delovima, koji su u osnovi inertni na većinu hemikalija. Samo IC zračenje interaguje sa

gasom i zbog toga, dokle su god gasni uzorci suvi i nekorozivni, IC instrumenti se mogu koristiti za monitoring gasnog toka.

Izbor senzora za mernu stanicu rađen je na osnovu uslova rada senzora, životnog veka i dostupnosti senzora. Posebna pažnja je usmerena na to da ne postoji unakrsna osetljivost (*eng. cross sensitivity*) između gasnih senzora za CO i NO₂ kako bi se izvršio eksperiment i uradila analiza postojanja korelacije između izmerenih vrednosti sa ovih senzora.

Na slici 3.3. 12. može se videti arhitektura senzorskog bloka sa pojedinačnim sensorima.



Slika 3.3.12. Arhitektura senzorskog bloka sa pojedinačnim sensorima

U senzorskom bloku nalaze se sledeći senzori:

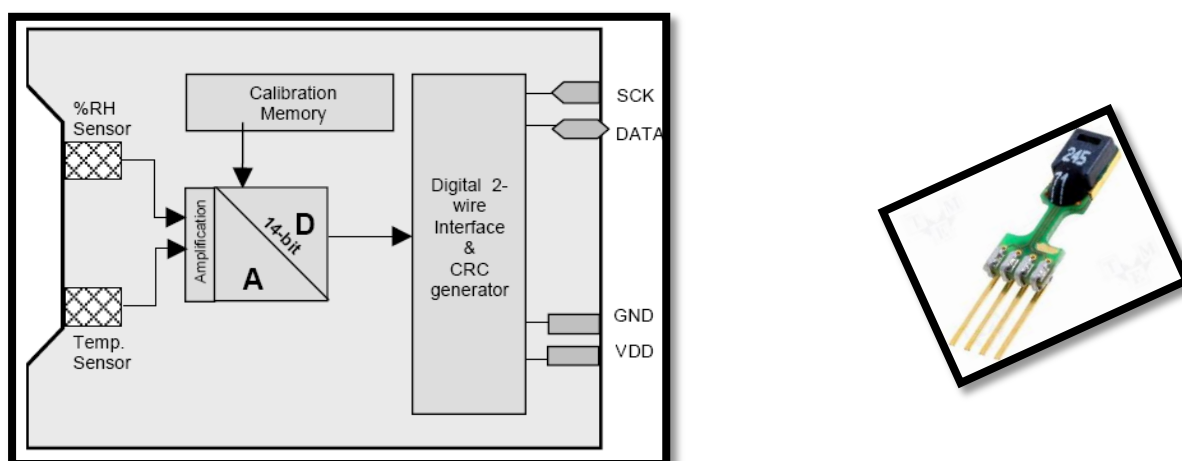
- senzor za merenje temperature i vlažnosti vazduha SHT71 [63],
- senzor za merenje atmosferskog pritiska MPXAZ6115A [64],
- senzor za merenje koncentracije ugljen-monoksida TGS2442 [65],
- senzor za merenje koncentracije ugljen-dioksida TGS4161 [66]
- senzor za merenje koncentracije azot-dioksida MiCS-2710 [67],
- senzor za merenje koncentracije sumpor-dioksida SO₂-BF [68],
- senzor za merenje koncentracije azot-monoksida NO-B1 [69],
- senzor za merenje koncentracije ozona O₃-B4 [70].

Merne stanice su napravljene tako da je senzorski blok namerno odvojen od glavne ploče da bi uređaj bio modularan, što je od velikog značaja prilikom rada merne stanice na terenu. Svaki od senzora može se izvaditi ili izmestiti na željenu lokaciju ukoliko se želi meriti koncentracija nekog gasa na tačno određenom mestu. Ako neki od senzora nije u funkciji lako se može zameniti novim senzorom iz iste serije bez rekonstrukcije uređaja.

U nastavku poglavlja je objašnjen svaki od senzora, iz senzorskog bloka, pojedinačno. Opisan je rad senzora i data električna šema sa napajanjima senzora i kontrolnim kolima. Posebno su opisani upravljački signali i način čitanja povratnih signala sa senzora.

3.3.6. SENZOR TEMPERATURE I RELATIVNE VLAŽNOSTI VAZDUHA

Za merenje temperature i relativne vlažnosti vazduha korišćen je digitalni senzor SHT71. Izgled ovog senzora i njegova blok šema prikazani su na slici 3.3.13.



Slika 3.3.13. Senzor SHT71- blok šema i izgled (preuzeto iz [63])

Kao što se može videti na blok šemi, u ovaj čip su integrisani merni elementi (senzor za temperaturu i senzor za relativnu vlažnost vazduha), kola za prilagođenje i procesiranje signala (pojačavač, AD konvertor), memorija (*Calibration Memory*) u kojoj su smešteni koeficijenti za kalibraciju i kolo za ostvarivanje interfejsa prema mikrokontroleru.

Za merenje relativne vlažnosti vazduha koristi se kapacitivni senzor, a za merenje temperature koristi *band-gap* senzor. Rezultat merenja sa oba senzora vodi se na pojačavač, a zatim na 14-bitni AD konvertor. Za internu kalibraciju dobijenih rezultata merenja koriste se koeficijenti za kalibraciju koji su smešteni u memoriju čipa. Kao rezultat čip daje kalibrisan digitalni izlaz neosetljiv na spoljne poremećaje.

3.3.6.1. Karakteristike senzora:

➤ Merenje temperature

Opseg merenja: od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $123.8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Rezolucija merenja: Rezultat merenja temperature može biti podatak dužine 12 bita ili 14 bita i pri tome je rezolucija $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$, odnosno $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$, respektivno.

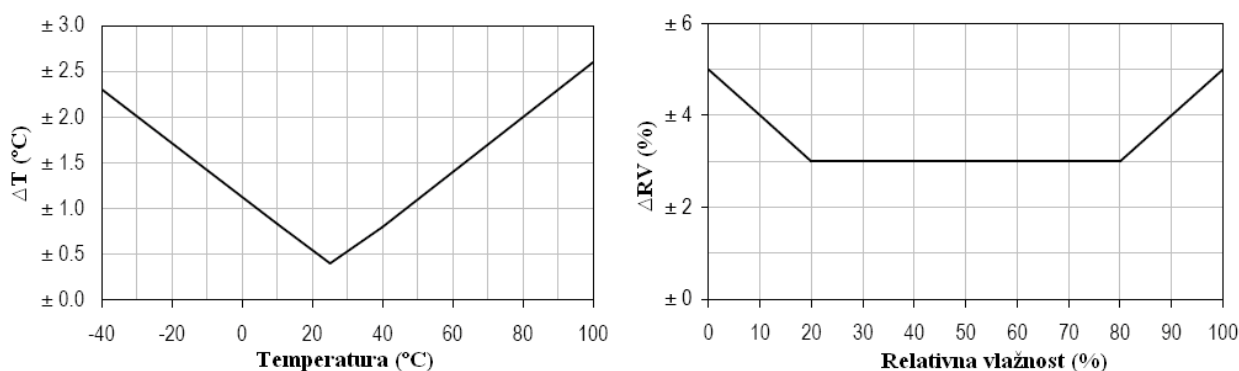
Tačnost merenja: Tipično $\pm 0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tačnost merenja zavisi od mernog opsega, kao što je prikazano na slici 3.3.14.

➤ Merenje relativne vlažnosti

Opseg merenja: od 0 %RH do 100 %RH.

Rezolucija merenja: Rezultat merenja relativne vlažnosti vazduha može biti podatak dužine 8 bita ili 12 bita i pri tome je rezolucija 0,4 %RH, odnosno 0,05 %RH, respektivno.

Tačnost merenja: Tipično ± 3 %RH. Tačnost merenja zavisi od mernog opsega, kao što je prikazano na slici 3.3.14.



Slika 3.3.14. Greška pri merenju temperature i relativne vlažnosti (preuzeto iz [63])

➤ Ostale karakteristike

Opseg napona napajanja: Od 2,4 V do 5,5 V.

Prosečna potrošnja je 90 μ W.

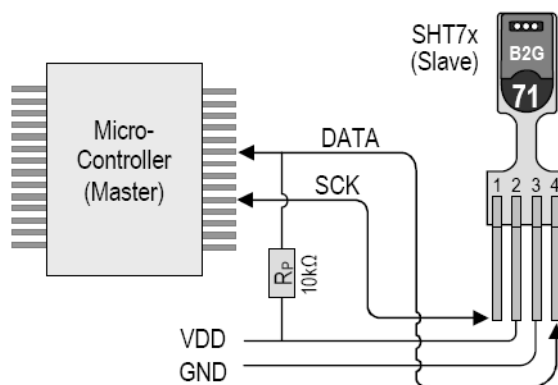
Za merenje temperature u mernim stanicama korišćena je rezolucija od 12 bita, a za merenje relativne vlažnosti rezolucija od 14 bita. Napon napajanja je 5 V.

3.3.6.2. Komunikacija sa senzorom

Način povezivanja senzora SHT71 i mikrokontrolera prikazan je na slici 3.3.15. Na električnoj šemi se ne vidi, ali između VDD i GND pina, na zadnjem delu kućišta senzora, integrisan je kondenzator kapacitivnosti 100 nF. Za pravilan rad senzora neohodno je postaviti *pull-up* otpornik otpornosti 10 k Ω , između pinova DATA i VDD.

Serial clock input (SCK) koristi se za sinhronizaciju između mikrokontrolera i senzora. Minimalna frekvencija ovog signala nije definisana, a maksimalna frekvencija je 5 MHz.

Serial data (DATA) koristi se za prenos podataka ka senzoru i od senzora. Prilikom slanja komande senzoru, podatak (bit) na DATA liniji je važeći na rastućoj ivici SCK signala i mora ostati stabilan dok je SCK na visokom logičkom nivou (logična jedinica, "1"). Nakon opadajuće ivice SCK signala, vrednost na DATA liniji se može promeniti. Mikrokontroler treba da postavlja DATA samo na nizak logički nivo (logičku nulu, "0"), dok se logička jedinica postavlja preko eksternog *pull-up* otpornika R_p .

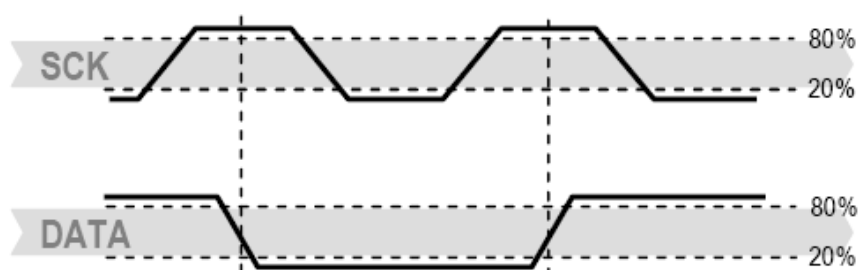


Slika 3.3.15. Povezivanje senzora i mikrokontrolera (preuzeto iz [71])

3.3.6.3. Zadavanje komandi senzoru

Nakon priključenja napona napajanja, senzoru je potrebno 11 ms da dospe u tzv. *sleep* stanje i tada je spreman za prijem komandi.

Da bi se inicirao prenos podataka, potrebno je ka senzoru poslati tzv. *start* sekvencu. Ova sekvencu se sastoji od dela u kome DATA linija prelazi sa visokog na nizak logički nivo, dok je SCK na visokom logičkom nivou. Zatim, od dela u kome je nizak nivo DATA signala praćen niskim nivoom SCK signala i od dela u kome DATA signal prelazi sa niskog na visoki logički nivo kada je SCK ponovo na visokom logičkom nivou. *Start* sekvencu prikazana je na slici 3.3.16.



Slika 3.3.16. Start sekvencu koju inicira mikrokontroler u komunikaciji sa SHT71 senzorom (preuzeto iz [63])

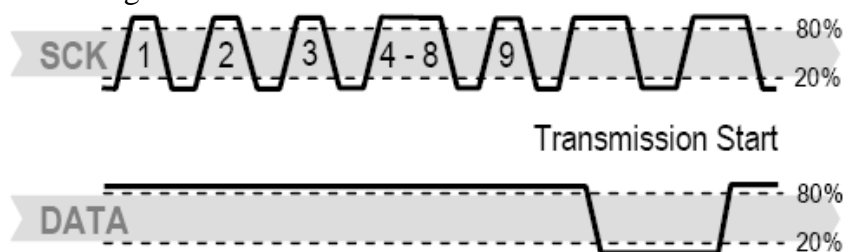
Komande koje se zadaju senzoru sastoje se od tri adresna bita (ova tri bita su uvek “000”) i pet komandnih bita. Za merenje temperature, pet komandnih bita su “00011”, a za merenje relativne vlažnosti “00101”. Kompletne komande za merenje temperature i relativne vlažnosti prikazane su u tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Komande za merenje temperature i relativne vlažnosti

Komanda	Kod komande
merenje temperature	00000011
merenje relativne vlažnosti	00000101

Senzor označava ispravan prijem komande postavljanjem DATA linije na nizak logički nivo (to je tzv. ACK bit) nakon opadajuće ivice osmog takta. DATA linije se oslobađa i preko *pull-up* otpornika postavlja na visok logički nivo nakon opadajuće ivice devetog takta.

U slučaju gubitka komunikacije sa senzorom moguće je resetovati komunikaciju. *Reset* sekvenca prikazana je na slici 3.3.17. Sastoji se iz devet ili više perioda SCK signala tokom kojih je DATA linija na visokom logičkom nivou. Uvek je praćena sa *start* sekvencom, jer se tek nakon *start* sekvence mogu zadavati komande.



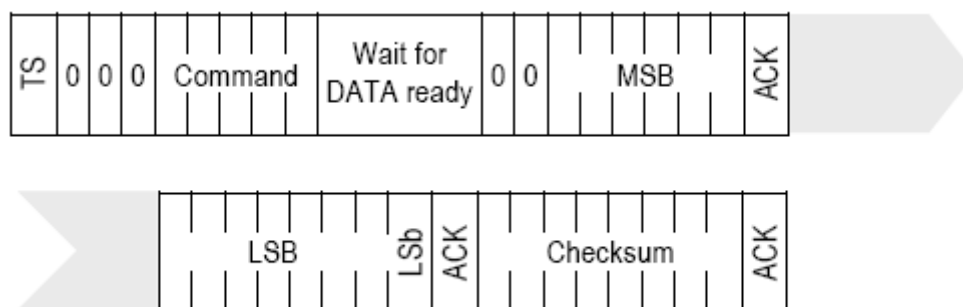
Slika 3.3.17 Reset sekvenca praćena start sekvencom (preuzeto iz [63])

3.3.6.4. Merenje temperature i relativne vlažnosti

Nakon zadavanja komande za merenje (“00000011” za temperaturu, “00000101” za relativnu vlažnost), mikrokontroler mora da čeka da se merenje završi. Merenje traje maksimalno 20 ms za 8-bitni rezultat, 80 ms za 12-bitni rezultat i 320 ms kada se rezultat merenja predstavlja sa 14 bita. Senzor signalizira završetak merenja tako što postavlja DATA liniju na nizak logički nivo – to je tzv. *data ready* signal. Mikrokontroler mora čekati na ovaj signal pre nego što ponovo pokrene SCK signal radi čitanja podataka. Rezultati merenja se čuvaju do čitanja novih.

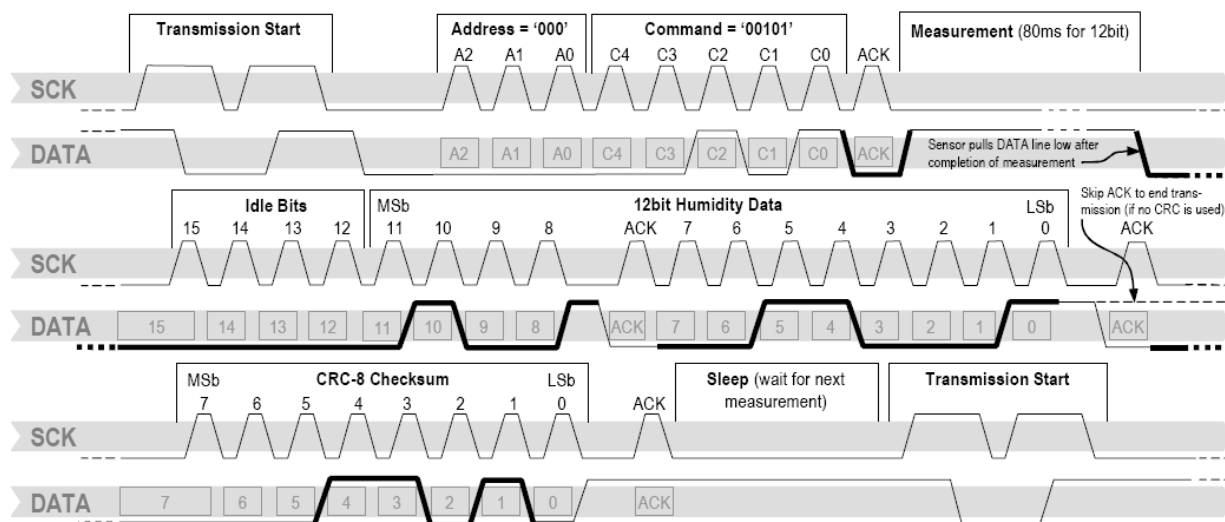
Po završetku merenja i kada mikrokontroler inicira čitanje podataka pokretanjem SCK signala, prenose se dva bajta sa rezultatom merenja i jedan *checksum* bajt koji je opcioni. Mikrokontroler mora potvrditi prijem svakog bajta postavljanjem DATA linije na nizak logički nivo (ACK bit). Komunikacija se završava postavljanjem ACK bita nakon prijema *checksum* bajta. Ako se *checksum* bajt ne koristi, mikrokontroler može prekinuti komunikaciju nakon prijema drugog bajta podatka ne potvrđujući prijem ovog bajta, odnosno ne postavljajući DATA liniju na nizak logički nivo.

Dakle, jedan kompletan komunikacioni ciklus uopšteno se može predstaviti kao što je prikazano na slici 3.3.18.



Slika 3.3.18 -Komunikacioni ciklus TS – Transmission Start (start sekvenca), MSB – Most Significant Byte (najznačajniji bajt), LSB – Least Significant Byte (najmanje značajan bajt), Lsb – Least Significant Bit (najmanje značajan bit)

Na slici 3.3.19. dat je detaljan prikaz kompletnog komunikacionog ciklusa prilikom merenja relativne vlažnosti vazduha.



Slika 3.3.19 - Komunikacioni ciklus – merenje relativne vlažnosti (preuzeto iz [63])

Na prikazanom vremenskom dijagramu komunikacionog ciklusa zadebljane linije prikazuju periode u kojima senzor kontroliše DATA liniju. U preostalom periodu DATA liniju kontroliše mikrokontroler.

Prvo se šalje *start* sekvenca (*Transmission Start*) kojom se senzoru nagoveštava da sledi zadavanje komande. Zatim, nakon proizvoljnog vremena, započinje zadavanje komande. Komanda se sastoji iz osam bita, pri čemu su prva tri bita adresni biti ($A_2 A_1 A_0 = "000"$), a preostalih pet bita su komandni biti ($C_4 C_3 C_2 C_1 C_0 = "00101"$). Vrednost bita na DATA liniji čita se pri rastućoj ivici SCK signala. Nakon opadajuće ivice osme periode SCK signala od početka zadavanja komande, odnosno nakon zadavanja poslednjeg bita komande, senzor postavlja DATA liniju na nizak logički nivo i na taj način potvrđuje prijem komande. DATA linija se oslobađa (i preko *pull-up* otpornika postavlja na visok logički nivo) nakon jedne periode SCK signala. Sada senzor vrši merenje (*Measurement*). Kada se merenje završi, senzor postavlja DATA liniju na nizak logički nivo (to je *data ready* signal).

Rezultat merenja se čuva u memoriji senzora sve do čitanja, tako da mikrokontroler ne mora započeti čitanje rezultata odmah nakon završetka merenja. Čitanje rezultata merenja započinje pokretanjem SCK signala. Prvo se čita viših osam bita (bit15..bit8), nakon čega mikrokontroler postavlja DATA liniju na nizak logički nivo (*ACK*), što predstavlja potvrdu da je prvi bajt rezultata pročitao, a zatim se čita nižih osam bajta (bit7..bit0). Ako se želi čitanje i *checksum* bajta, nakon prijema poslednjeg bita rezultata potrebno je da mikrokontroler ponovo postavi DATA liniju na nizak logički nivo (*ACK*), a ako se ne želi čitanje *checksum* bajta, mikrokontroler ne postavlja DATA liniju na nizak logički nivo i na taj način se završava komunikacioni ciklus. U prikazanom primeru vrši se čitanje *checksum* bajta (*CRC-8 Checksum*). Naravno, što se rezultata merenja tiče, s obzirom na to da je rezolucija merenja dvanaest bita, gornji nibl višeg bajta rezultata je uvek "0000" (*Idle Bits*), dok donji nibl, zajedno sa nižim bajtom predstavlja dvanaestobitni rezultat merenja (*12bit Humidity Data*). Znači, u datom primeru, rezultat merenja relativne vlažnosti vazduha je "0100'0011'0001".

3.3.6.5. Računanje temperature i relativne vlažnosti na osnovu rezultata merenja

➤ Računanje temperature

Senzorski element za merenje temperature je veoma linearan. Formula koja se koristi za konverziju digitalnog rezultata merenja u vrednost temperature u °C je

$$T[{}^{\circ}\text{C}] = d_1 + d_2 \cdot RM_T, \quad (3.15)$$

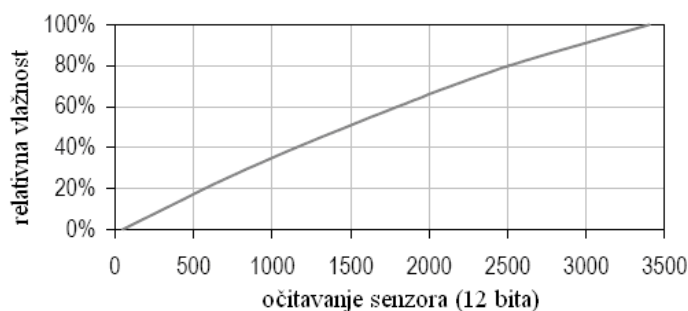
gde je RM_T 14-bitni ili 12-bitni rezultat merenja temperature, a d_1 i d_2 su koeficijenti čije su vrednosti date u tabeli 3.3.

Tabela 3.3 Vrednosti koeficijenata d_1 i d_2 za izračunavanje temperature okoline

VDD, RM_T	d_1	d_2
5 V, 14 bit	-40,1	0,01
5 V, 12bit	-40,1	0,04

➤ Računanje relativne vlažnosti

Zavisnost 12-bitnog rezultata merenja relativne vlažnosti predstavljenog u decimalnoj formi od vrednosti relativne vlažnosti izražene u %RH prikazana je na slici 3.3.20.



Slika 3.3.20. Nelinearnost prilikom merenja relativne vlažnosti (preuzeto iz [63])

Da bi se data nelinearnost kompenzovala i da bi se postigla maksimalna tačnost merenja, potrebno je primeniti formulu

$$RV_{linearizovana}[\%RH] = c_1 + c_2 \cdot RM_{RV} + c_3 \cdot RM_{RV}^2, \quad (3.16)$$

gde je RM_{RV} 12-bitni ili 8-bitni rezultat merenja relativne vlažnosti, a c_1 , c_2 i c_3 su koeficijenti čije su vrednosti date u tabeli 3.4.

Tabela 3.4 Vrednosti koeficijenata c_1 , c_2 i c_3 za izračunavanje relativne vlažnosti vazduha

RM_{RV}	c_1	c_2	c_3
12bit	-4,0000	0,0405	-2,8000E-6
8 bit	-4,0000	0,6480	-7,2000E-4

Za temperature koje se značajno razlikuju od sobne temperature (25 °C), potrebno je uraditi temperaturnu kompenzaciju dobijene vrednosti relativne vlažnosti. To se postiže primenom formule:

$$RV[\%RH] = (T[^\circ C] - 25) \cdot (t_1 + t_2 RM_{RV}) + RV_{linearizovana}[\%RH], \quad (3.17)$$

gde je RM_{RV} 12-bitni ili 8-bitni rezultat merenja relativne vlažnosti, T je vrednost temperature, $RV_{linearizovana}$ je vrednost dobijena primenom formule 3.17, a t_1 i t_2 su koeficijenti čije su vrednosti date u tabeli 3.5.

Tabela 3.5 Vrednosti koeficijenata t_1 i t_2 za temperaturnu kompenzaciju dobijene vrednosti relativne vlažnosti vazduha

RM_{RV}	t_1	t_2
12 bit	0,01	0,00008
8 bit	0,01	0,00128

Sada se može izračunati kolika je relativna vlažnost izmerena u primeru komunikacionog ciklusa sa slike 3.3.19.

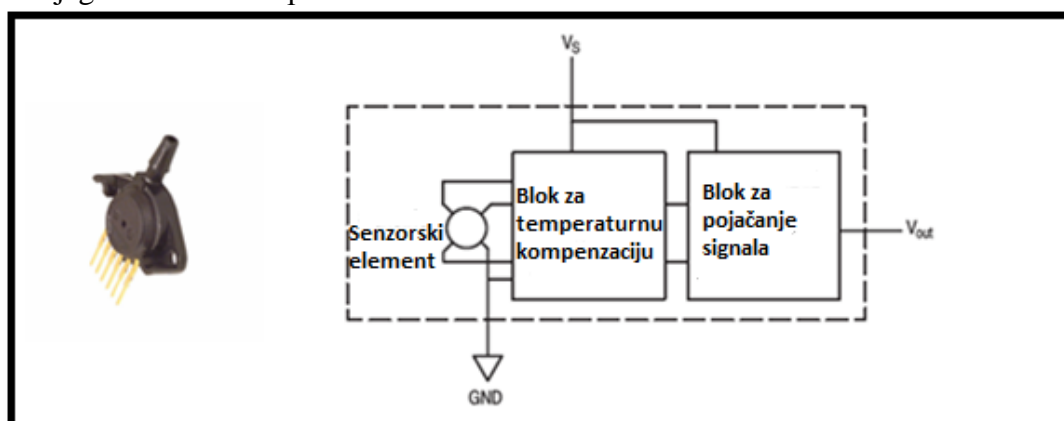
Rezultat merenja bio je $RM_{RV} = 0100'0011'0001_{(2)} = 1073_{(10)}$. Primenom formule 3.17 i koeficijenata iz tabele 3.5, dobija se:

$$\begin{aligned} RV_{linearizovana} &= -4 + 0,0405 \cdot 1073 + (-0,0000028 \cdot 1073^2) = \\ &= -4 + 43,4565 - 3,2237212 = \\ &= 36,2327788 = \\ &\approx 36 \%RH. \end{aligned} \quad (3.18)$$

Pošto se ne zna vrednost temperature pri kojoj je dato merenje vršeno, ne može se primeniti formulu 3.16, već se usvaja da je $RV = RV_{linearizovana} = 36 \%RH$.

3.3.7. SENZOR ZA ATMOSFERSKI PRITISAK

Za merenje pritiska korišćen je senzor sa analognim izlazom MPX4115AP [71]. Izgled senzora i njegova blok šema prikazani su na slici 3.3.21.



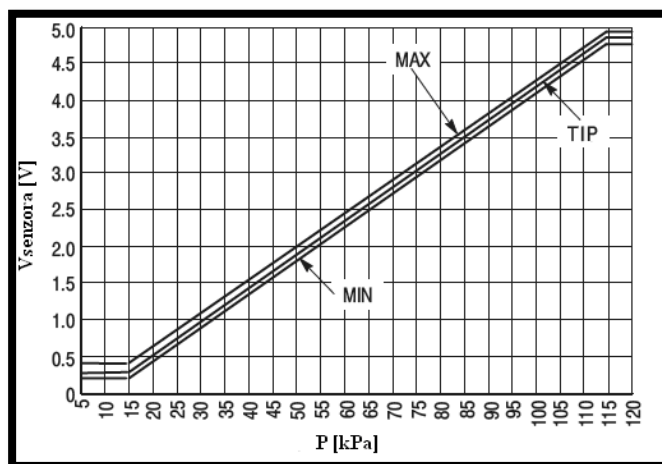
Slika 3.3.21. Senzor MPX4115AP – izgled i blok šema (preuzeto iz [64])

Unutar kućišta senzora se, osim mernog elementa, nalaze i blokovi za pojačanje signala i za temperaturnu kompenzaciju. Na izlazu senzora dobija se naponski signal srazmeran pritisku.

3.3.7.1. Karakteristike senzora

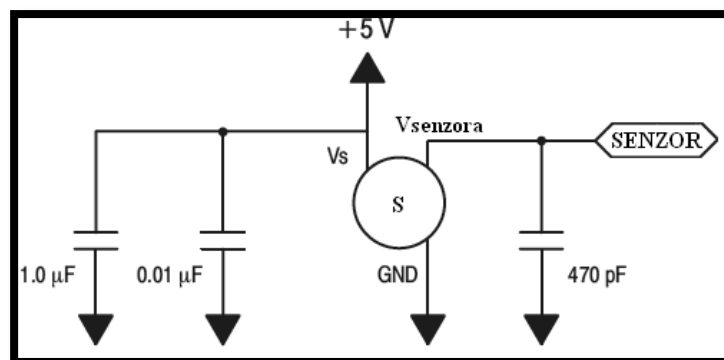
- Opseg merenja: Od 150 mbar do 1150 mbar.
- Osetljivost: 4,59 mV/mbar.
- Tačnost: ± 15 mbar .
- Izlazni napon pri minimalnom pritisku iz opsega merenja: 0,204 V.
- Izlazni napon pri maksimalnom pritisku iz opsega merenja: 4,794 V.
- Opseg napona napajanja: od 4,85 V od 5,35 V.

Na slici 3.3.22. prikazana je zavisnost izlaznog napona sa senzora od atmosferskog pritiska za opseg temperature od 0 °C do 85 °C, pri naponu napajanja od 5.1 V. Vidi se da je unutar mernog opsega zavisnost izlaznog napona od pritiska linearna, a da je izlaz u saturaciji za ostale vrednosti pritiska.



Slika 3.3.22. Zavisnost izlaznog napona na senzoru MPX4115AP od atmosferskog pritiska (preuzeto iz [64])

Prema preporuci proizvođača, da bi se ostvarile date karakteristike, potrebno je razdvojiti pinove za napajanje senzora (V_s i GND) kondenzatorima kapacitivnosti 1 μF i 0.01 μF , kao i izvršiti filtriranje izlaznog signala ($V_{senzora}$) kondenzatorom kapacitivnosti 470 pF (slika 3.3.23).



Slika 3.3.23. Razdvajanje pinova za napajanje i filtriranje izlaznog signala senzora

➤ Računanje vrednosti pritiska na osnovu izlaznog napona senzora

Prenosna funkcija senzora prikazana na slici 3.3.22 može se iskazati formulom

$$V_{senzora} = V_s (0,009 P - 0,095), \quad (3.19)$$

gde je $V_{senzora}$ izlazni napon senzora, V_s napon napajanja senzora, a P je vrednost pritiska izražena u kPa. Na osnovu ove jednačine, vrednost pritiska je

$$P[kPa] = \frac{P[mbar]}{10} = \frac{\frac{V_{senzora}}{V_s} + 0,095}{0,009} \quad (3.20)$$

➤ Prilagođenje izlaznog signala senzora i povezivanje senzora i mikrokontrolera

Na nivou mora vrednost normalnog vazdušnog pritiska iznosi oko 1013 mbar i vrednost pritiska opada sa povećanjem nadmorske visine. U tabeli 3.6. date su vrednosti normalnog atmosferskog pritiska na različitim nadmorskim visinama, kao i stopa smanjena pritiska sa povećanjem nadmorske visine.

Tabela 3.6 Opadanje vazdušnog pritiska sa povećanjem nadmorske visine

Visina [m]	P [mbar]	Stopa smanjenja
0	1013	12 mbar/100 m
1000	899	11 mbar/100 m
2000	795	10 mbar/100 m
3000	701	9 mbar/100 m

Opseg merenja senzora je od $P_{min} = 150$ mbar do $P_{max} = 1150$ mbar. Na osnovu ovog podatka i podataka iz prethodne tabele vidi se da je poželjno izvršiti prilagođenje izlaznog signala senzora kako bi se povećala osetljivost u opsegu merenja u kome se očekuje da će senzor raditi. Bez prilagođenja, osetljivost senzora je

$$O = \frac{V_{senzora}(P = P_{max}) - V_{senzora}(P = P_{min})}{P_{max} - P_{min}} = \frac{4,794 - 0,204}{1150 - 150} = \frac{4,59}{1000} = 4,59 \frac{mV}{mbar}. \quad (3.21)$$

Pod pretpostavkom da će senzor raditi u uslovima u kojima je normalni vazdušni pritisak viši od 920 mbar i niži od 1020 mbar (što odgovara nadmorskoj visini manjoj od 775 m), izvršice se prilagođenje izlaznog signala senzora tako da se na izlazu kola koje vrši dato prilagođenje dobije napon $V_{ad} = 0$ V kada je pritisak $P_{min}' = 920$ mbar, odnosno napon $V_{ad} = 5$ V kada je pritisak $P_{max}' = 1020$ mbar.

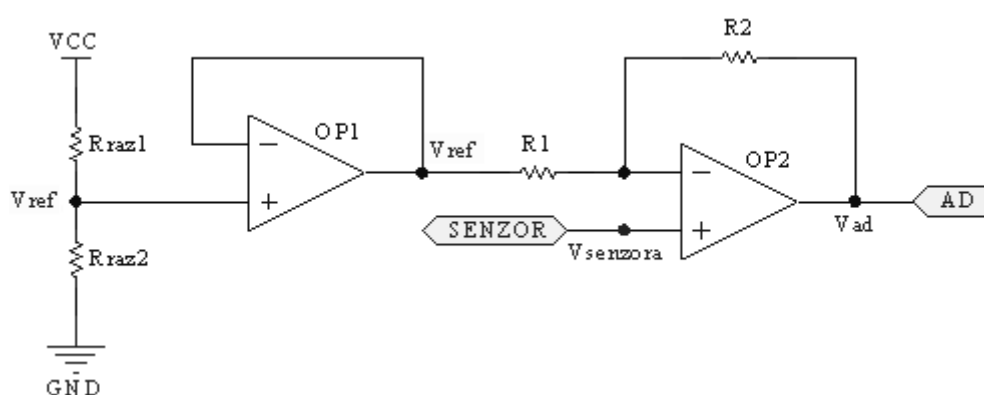
Prema formuli 3.19, ako je pritisak $P = 920$ mbar = 92 kPa, izlazni napon senzora je

$$V_{senzora} = 5,08 \times (0,009 \cdot 92 - 0,095) = 3,72 \text{ V}, \quad (3.22)$$

a kada je pritisak $P = 1020$ mbar = 102 kPa, izlazni napon senzora je

$$V_{senzora} = 5,08 \times (0,009 \cdot 102 - 0,095) = 4,18 \text{ V}. \quad (3.23)$$

Kolo za prilagođenje prikazano je na slici 3.3.24



Slika 3.3.24. Kolo za prilagođenje izlaznog signala senzora za merenje vlažnost vazduha

V_{ref} je referentni napon koji se dobija pomoću razdelnika napona koga čine otpornici R_{raz1} i R_{raz2} :

$$V_{ref} = \frac{R_{raz2}}{R_{raz2} + R_{raz1}} \cdot VCC. \quad (3.24)$$

Na izlazu operacionog pojačavača $OP1$ je isti napon (V_{ref}) kao i na njegovom + ulazu, jer je pomoću ovog operacionog pojačavača zapravo realizovan jedinični pojačavač, odnosno bafer. Uloga bafera je da spreči uticaj razdelnika napona na pojačanje operacionog pojačavača $OP2$.

Operacioni pojačavač $OP2$ pojačava napon sa izlaza senzora. Potrebno pojačanje je:

$$A = \frac{V_{ad}(P = 102kPa) - V_{ad}(P = 92kPa)}{V_{senzora}(P = 102kPa) - V_{senzora}(P = 92kPa)} = \frac{5 - 0}{4,18 - 3,72} = 10,87 \approx 11. \quad (3.25)$$

S obzirom na to da se radi o neinvertujućem pojačavaču, pojačanje A je:

$$A = 1 + \frac{R2}{R1}, \quad (3.26)$$

što znači da je odnos otpornosti $R2$ i $R1$

$$\frac{R2}{R1} = A - 1 = 10. \quad (3.27)$$

Isti rezultat, dobija se rešavanjem sistema jednačina koji proizilazi iz zahteva da je vrednost napona na izlazu kola za prilagođenje jednaka 0 V kada je napon na izlazu senzora 3,72 V, odnosno da je vrednost napona na izlazu kola za prilagođenje jednaka 5 V kada je napon na izlazu senzora 4,18 V.

Primenom superpozicije, napon na izlazu kola za prilagođenje je

$$V_{ad} = \left(-\frac{R2}{R1}\right) \cdot V_{ref} + \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \cdot V_{senzora}. \quad (3.28)$$

Na osnovu formule 3.34 i prethodnog razmatranja, dobijamo sistem jednačina:

$$\begin{aligned} 0 &= \left(-\frac{R2}{R1}\right) \cdot V_{ref} + \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \cdot 3,72 \\ 5 &= \left(-\frac{R2}{R1}\right) \cdot V_{ref} + \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \cdot 4,18 \\ \hline -\frac{R2}{R1} \cdot V_{ref} + 3,72 \cdot \frac{R2}{R1} &= -3,72 \quad / \cdot (-1) \\ \hline -\frac{R2}{R1} \cdot V_{ref} + 4,18 \cdot \frac{R2}{R1} &= 5 - 4,18 \\ \hline \frac{R2}{R1} \cdot V_{ref} - 3,72 \cdot \frac{R2}{R1} &= +3,72 \\ \hline -\frac{R2}{R1} \cdot V_{ref} + 4,18 \cdot \frac{R2}{R1} &= 0,82 \\ \hline 0,46 \frac{R2}{R1} &= 4,54 \\ \Rightarrow \frac{R2}{R1} &= 9,87 \approx 10 \end{aligned} \quad (3.29)$$

$$\begin{aligned} 9,87 \cdot V_{ref} - 3,72 \cdot 9,87 &= 3,72 \\ \Rightarrow V_{ref} &= \frac{3,72 + 3,72 \cdot 9,87}{9,87} = 4,097 \approx 4,1. \end{aligned} \quad (3.30)$$

Sada, na osnovu formule 3.24, može se izračunati odnos otpornosti R_{raz1} i R_{raz2} :

$$4,1 = \frac{R_{raz2}}{R_{raz2} + R_{raz1}} \cdot 5,08$$

$$\Rightarrow \frac{R_{raz2}}{R_{raz1}} = 4,18 \approx 4,2 \quad (3.31)$$

Na osnovu jednakosti 3.29 i 3.31, izabrane su sledeće vrednosti otpornosti (u zagradama su date stvarne vrednosti):

$$R1 = 1 \text{ k}\Omega (994 \Omega),$$

$$R2 = 10 \text{ k}\Omega (9810 \Omega),$$

$$R_{raz1} = 1,2 \text{ k}\Omega (1180 \Omega),$$

$$R_{raz2} = 5,1 \text{ k}\Omega (5070 \Omega).$$

Zamenom vrednosti otpornika u jednakosti 3.24 i 3.28 dobija se:

$$V_{ad} = \left(-\frac{9810}{994} \right) \cdot 4,12 + \left(1 + \frac{9810}{994} \right) \cdot V_{senzora} =$$

$$= -40,66 + 10,87 \cdot V_{senzora} \quad (3.32)$$

$$\Rightarrow V_{senzora} = \frac{V_{ad} + 40,66}{10,87}$$

Dakle, na izlazu kola za prilagođenje izlaznog signala će biti napon $V_{ad} = 0 \text{ V}$ ako je napon na izlazu senzora $V_{senzora} = 3,74 \text{ V}$, a napon na izlazu kola za prilagođenje će biti $V_{ad} = 5 \text{ V}$ ako je napon na izlazu senzora $V_{senzora} = 4,20 \text{ V}$, što je vrlo blisko planiranim vrednostima (jednakosti 3.22 i 3.27).

Znatno povećana osetljivost iznosi:

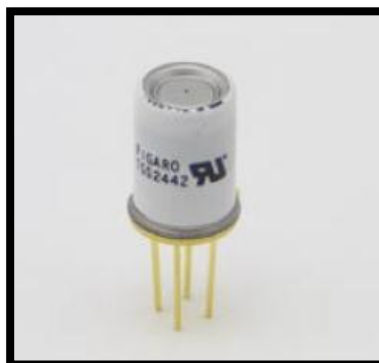
$$O' = \frac{V_{ad}(P = P_{\max'}) - V_{ad}(P = P_{\min'})}{P_{\max'} - P_{\min'}} = \frac{5 - 0}{1020 - 920} = 50 \frac{\text{mV}}{\text{mbar}}. \quad (3.33)$$

Izlaz senzora veže se na + ulaz operacionog pojačavača *OP2* (*SENZOR*, slika 3.3.23), a izlaz kola za prilagođavanje izlaznog signala senzora (*AD*, slika 3.3.24) povezuje se na analogni ulaz mikrokontrolera, odnosno na jedan od ulaza internog AD konvertora. Na osnovu rezultata AD konverzije, primenom odgovarajućih formula, dobija se informacija o pritisku.

3.3.8. SENZOR ZA DETEKCIJU UGLJEN-MONOKSIDA

Ugljen-monoksid (CO) je neorgansko jedinjenje ugljenika i spada u grupu neutralnih oksida (ne reaguju sa vodom, kiselinama i bazama). Jake je citotoksičnosti za živa bića, jer spada u grupu hemijskih zagušljivača i najvećih zagađivača vazduha. Nastaje u toku nepotpune oksidacije organskih materija. Motori sa unutrašnjim sagorevanjem i rafinerije su najveći proizvođači ugljen-monoksida, zatim slede termoelektrane koje proizvode ovaj gas pri sagorevanju uglja i industrijska postrojenja koja proizvode ovaj gas u toku proizvodnje gvožđa. Koncentracija CO u vazduhu je oko 0,1 ppm.

Senzor za detekciju ugljen-monoksida TGS2442 (slika 3.3.25) spada u senzore čija izlazna otpornost se menja proporcionalno promenom koncentracije gasa. Za njegov normalan rad neophodan je poseban način upravljanja signalima generisanih od strane mikrokontrolera.



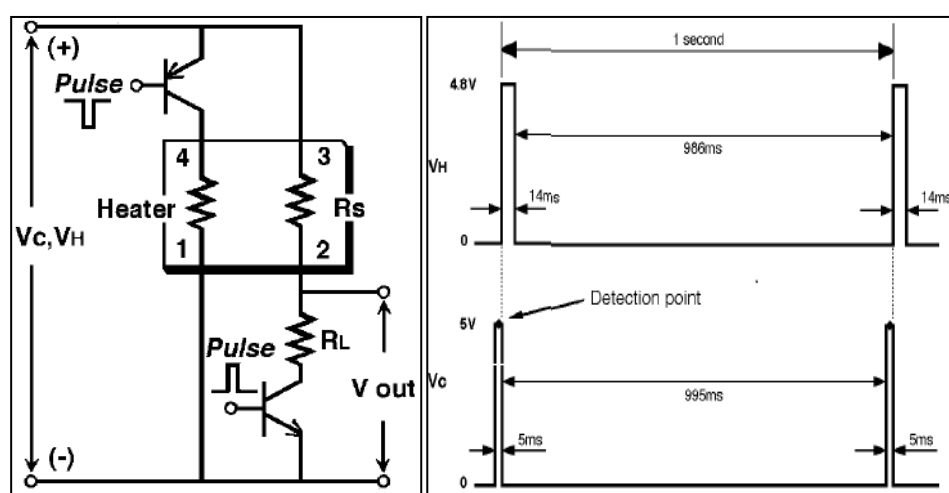
Slika 3.3.25. Senzor za detekciju ugljen-monoksida TGS2442 (preuzeto iz [65])

Senzor TGS2442 ima višeslojnu strukturu. Stakleni sloj služi za termoizolaciju između grejača, napravljenog od rutenijum oksida (RuO_2) i štampane ploče od aluminijumske podloge.

TGS2442 prikazuje dobru selektivnost za ugljen-monoksid, što ga čini idealnim za detekciju ovog gasa. U prisustvu CO provodnost otporničkog dela senzora povećava se u zavisnosti od koncentracije gasa u vazduhu. Promena koncentracije gasa konvertuje se u promenu izlaznog signala.

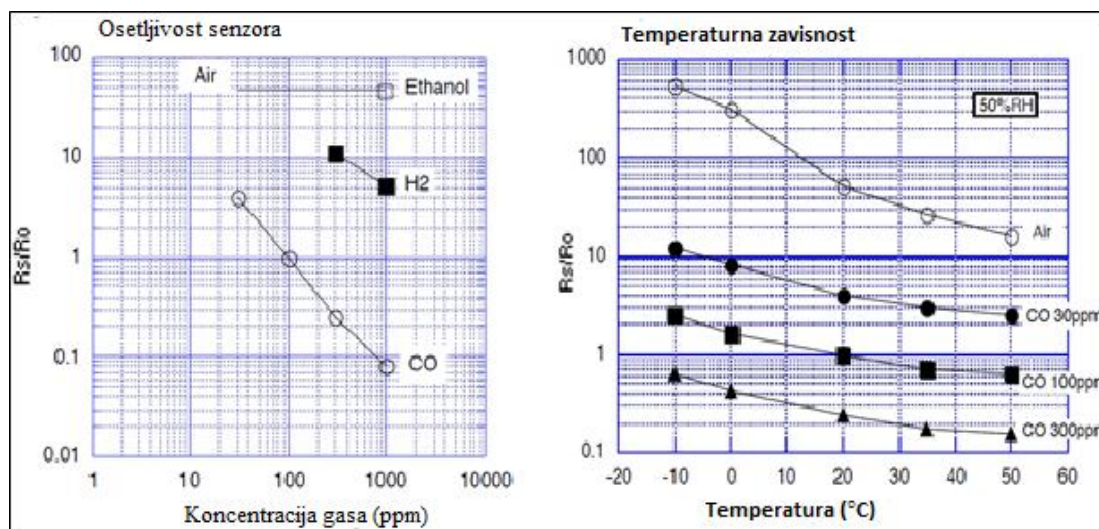
Principska šema rada senzora prikazana je na slici 3.3.26. Napon V_c se nalazi na redno vezanim otpornostima R_s i R_L . Otpornost R_s je promenljiva otpornost senzora i iznosi od $13,3 \text{ k}\Omega$ do $133 \text{ k}\Omega$ za koncentracije CO od 0 do 100 ppm, dok je R_L fiksna otpornost, veća od $10 \text{ k}\Omega$. Deo senzora - otpornik koji služi kao grejač (*Heater*), priključen je na napon V_H .

Ciklus grejanja senzora zahteva period od 1 s. Napon V_H , čija je vrednost $4,8 \text{ V} \pm 0,2 \text{ V}$, dovodi se na grejač u trajanju od 14 ms i taj period nazivamo zagrevanje senzora. Ostalih 986 ms, koliko preostaje od 1 s, napon na otporniku - grejaču je 0 V i taj period nazivamo hlađenje senzora. Prekidanje i dovođenje napona na grejač senzora vrši se pomoću PNP tranzistora koji se aktivira na logičku nulu. Mikrokontroler upravlja tranzistorom.



Slika 3.3.26. Principska šema rada senzora TGS2442 (preuzeto iz [65])

Ciklus detekcije takođe zahteva period od 1 s. Napon na redno vezanim otpornicima R_s i R_L je 0 V prvih 995 s. Zatim se pomoću NPN tranzistora dovodi napon V_c na otpornike u trajanju od 5 ms. Čitanje izlaznog signala vrši se na polovini vremena od 5 ms u kom otpornici imaju naponsko opterećenje. Upravljanje NPN tranzistorom vrši mikrokontroler digitalnim izlazom, dok čitanje vrednosti napona na otporniku R_L mikrokontroler vrši analognim ulazom.



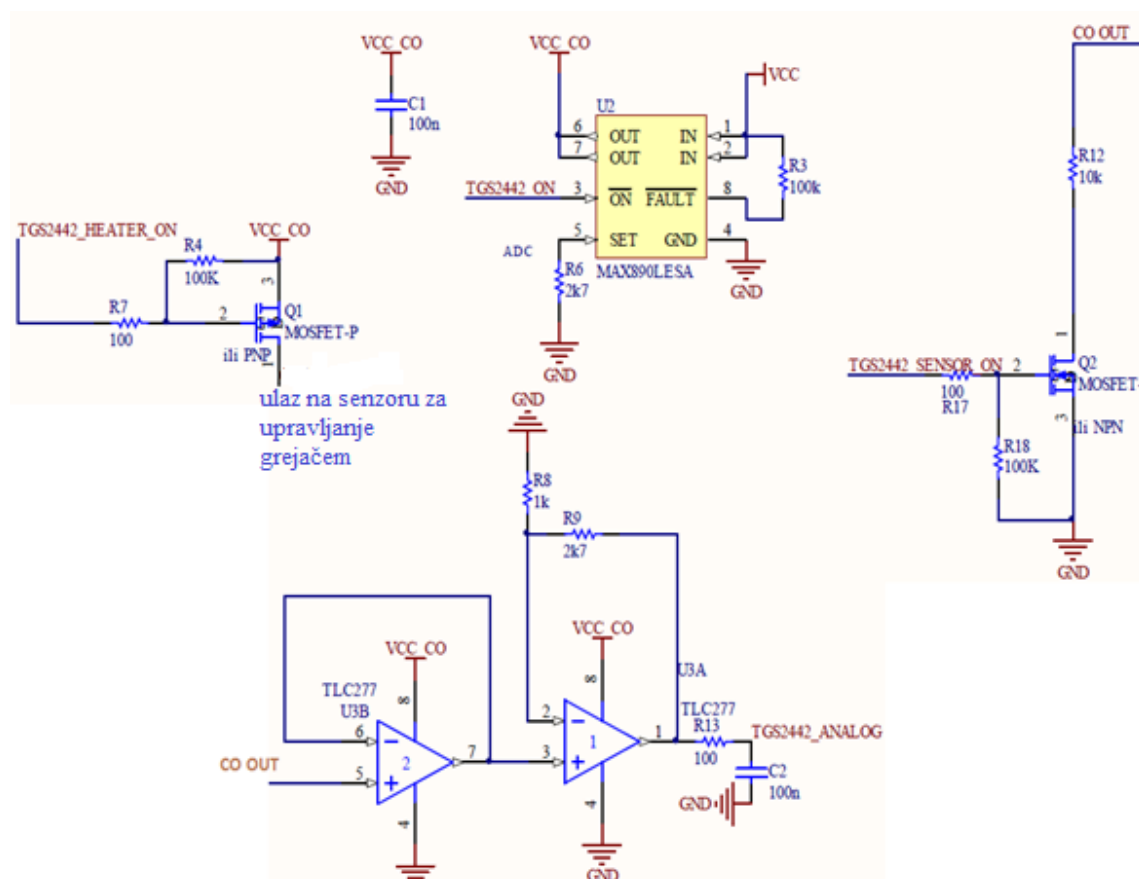
Slika 3.3.27. Osetljivost senzora TGS2442 : a) pri promeni koncentracije gasa b) promena koncentracije na određenim temperaturama (preuzeto iz [65])

Kako se sa promenom koncentracije CO menja i otpornost R_s , tako će i čitanje napona na R_L biti srazmerno promeni koncentracije CO. Na slici 3.3.27a. prikazana je zavisnost koncentracije gasa od odnosa otpornosti R_s/R_0 , gde je R_0 otpornost pri koncentraciji od 100 ppm. Na slici 3.3.27b. je prikazana zavisnost koncentracije gasa, na različitim temperaturama, u zavisnosti od odnosa otpornosti R_s/R_0 , gde je R_0 otpornost pri koncentraciji od 300 ppm.

U konkretnoj realizaciji koja je prikazana na slici 3.3.28. za vrednost otpornika R_L uzeto je 10 k Ω (otpornik R12). Kako bi se dobio na izlazu senzora naponski opseg 0 V–5 V (koliko može da meri AD konvertor integrisan u mikrokontroleru, pri optimalnim i očekivanim koncentracijama gasa) signal je pojačan oko 4 puta.

Kao pojačavač izlaznog signala sa senzora korišćen je operacioni pojačavač u neinvertujućem spoju. Izlazni napon koji se dovodi na analogni ulaz mikrokontrolera može se izračunati na sledeći način:

$$V_{\text{TGS2442_ANALOG}} = (1 + R_9/R_8) \times V_{\text{IZLAZ_SA_SENZORA}} \quad (3.34)$$

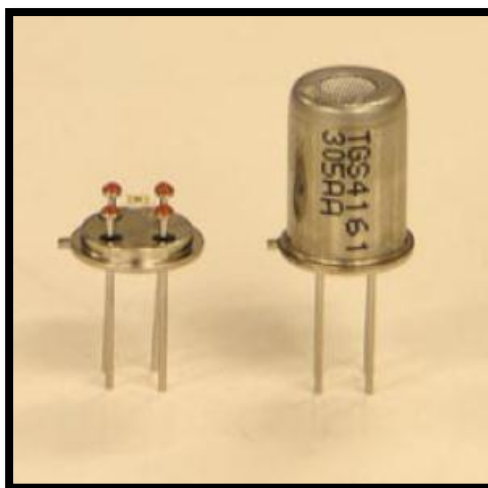


Slika 3.3.28. Konkretna električna šema za merenje koncentracije CO senzorom TGS2442 i kontrolnim kolom

3.3.9. SENZOR ZA DETEKCIJU UGLJEN-DIOKSIDA

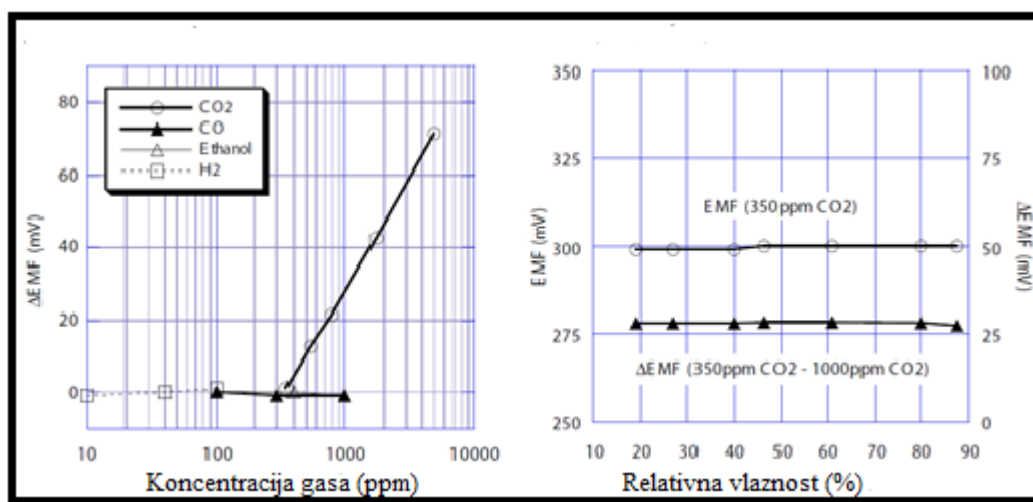
Ugljen dioksid (CO_2) je gas bez mirisa, nezapaljiv i teži od vazduha. Ugljen-dioksid ne predstavlja zagađivač vazduha u klasičnom smislu. Prihvatljiva koncentracije ugljen-dioksida u vazduhu je koncentracija ispod 400 ppm.

Za detekciju ugljen-dioksida korišćen je senzor TGS416 firme *Figaro*. TGS4161 spada u senzore novije generacije koji se karakterišu malim dimenzijama i malom potrošnjom. Opseg merenja ovog senzora je od 350 ppm do 10.000 ppm, što ga čini idealnim za merenje koncentracije gasa na različitim mestima. Na slici 3.3.29. može se videti fizički izgled senzora.



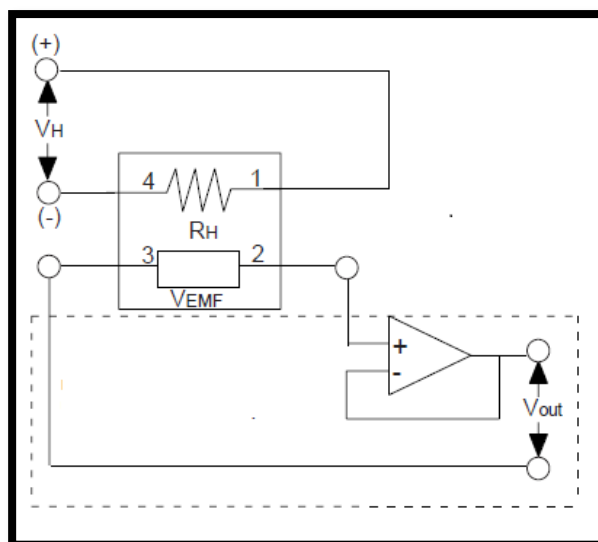
Slika 3.3.29. Izgled senzora za detekciju ugljen-doksida TGS4161 (preuzeto iz [66])

TGS4161 je senzor koji se sastoji od elektrolita koji se nalazi između dve elektrode, zajedno sa štampanim grejačem od RuO_2 na podlozi. Praćenjem promena elektromotorne sile EMF, koja se stvara između dve elektrode, moguće je izmeriti koncentraciju gasa. Na vrhu senzora nalazi se poklopac od zeolita radi smanjenja uticaja od strane drugih gasova. Senzor TGS4161 daje linearnu vezu između ΔEMF (promena elektromotorne sile) i koncentracije gasa CO_2 na logaritamskoj skali (slika 3.3.30a). Senzor pokazuje veliku stabilnost i odličnu postojanost izlaznog signala usled promene vlažnosti (slika 3.3.30b).



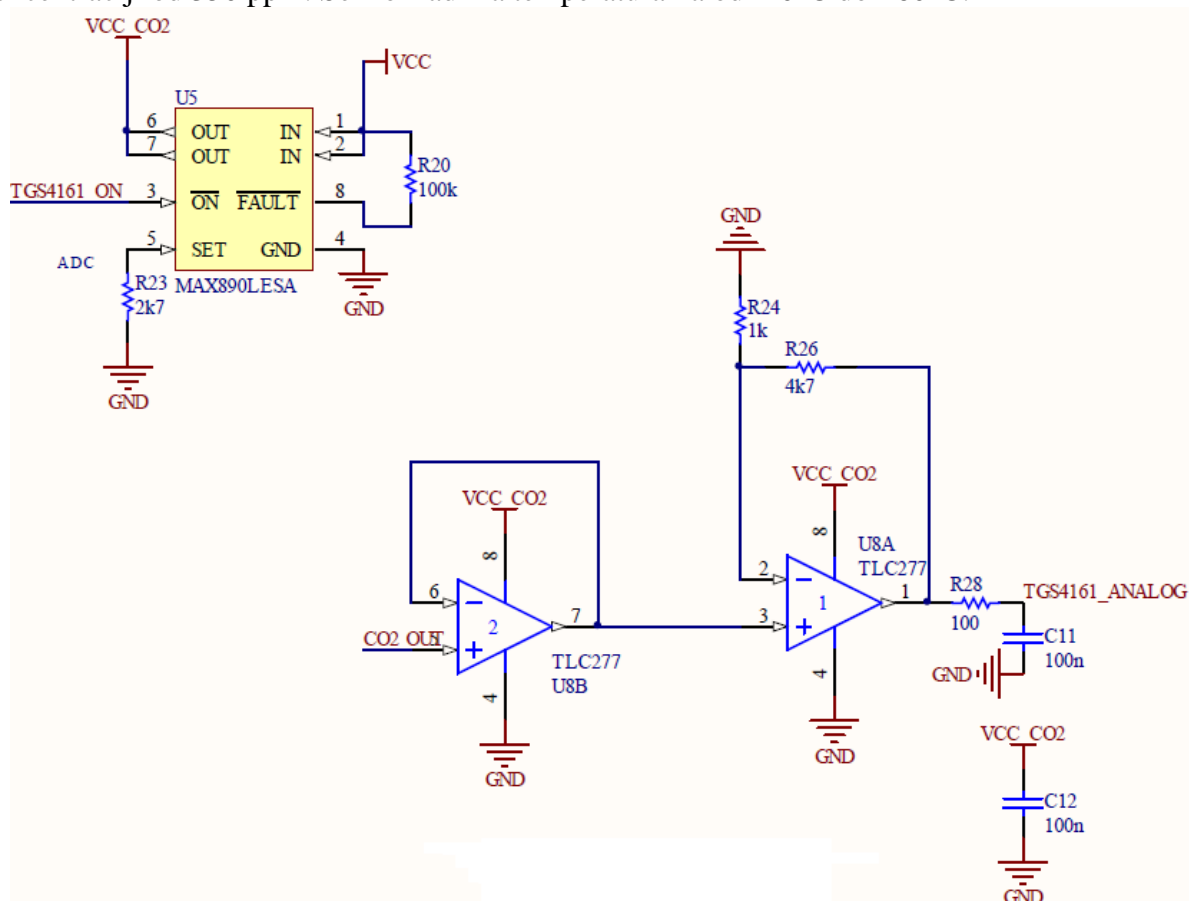
Slika 3.3.30. Izlaz senzora TGS4161 : a) pri promeni koncentracije gasa b) postojanost izlaza pri promeni vlažnosti vazduha (preuzeto iz [66])

Senzor TGS4161 zahteva napon V_H za rad grejača. Reč je o integrisanom grejaču čiji je cilj održavanje temperature koja je optimalna za detekciju. Za merenje elektromotorne sile EMS treba koristiti operacioni pojačavač sa visokom ulaznom impedansom većom od $100 \text{ G}\Omega$ i strujom curenja manjom od 1 nA (slika 3.3.31)



Slika 3.3.31. Principna šema rada senzora TGS4161

Struja grejača je oko 50 mA, dok je otpornost oko 70Ω na sobnoj temperaturi. Napon na grejaču V_H treba da je 5V. Izlazna elektromotorna sila V_{EMF} je od 220 do 490 mV pri koncentraciji od 350 ppm. Senzor radi na temperaturama od -20°C do $+60^\circ\text{C}$.



Slika 3.3.32. Konkretna električna šema za merenje koncentracije CO_2 sa senzorom TGS4161 i kontrolnim kolom

U konkretnoj realizaciji čija se električna šema može videti na slici 3.2.32 korišćen je operacioni pojačavač TLC277 [72]. Izlazni signal sa senzora pojačan je oko 4 puta operacionim pojačavačem u neinvertujućem spoju kako bi se dobio opseg od 0 V do 5 V koji se vodi na integrisani AD konvertor mikrokontrolera.

Što se tiče uključivanja senzora, sama realizacija se sastoji od prekidačkog kola MAX890LESA [73] i svetleće diode. Dioda predstavlja svetlosnu signalizaciju kada je senzor uključen i kada vrši merenje koncentracije gasa u vazduhu. Senzor TGS4161 se uključuje setovanjem kola MAX890LESA. Setovanje se vrši slanjem logičke nule na ulaz ON preko digitalnog izlaznog pina mikrokontrolera.

MAX890L nisko-naponski, P-kanalni MOSFET prekidač je namenjen za visoko opterećene prekidačke aplikacije. Ovaj prekidač radi sa ulazima od 2,7 V do 5,5 V, što ga čini idealnim za sisteme od +3 V i od +5 V. Maksimalni limit struje u MAX890LESA je 1,2 A. Struja kroz prekidač određena je sa otpornikom (otpornik R23 sa slike 3.3.32) postavljenim od SET ulaza ka masi. Struja u stanju mirovanja je malog intenziteta i iznosi 10 μ A. Kada je prekidač isključen, struja opada do 0,1 μ A.

MAX890L ima temperaturni prekidač koji služi za isključivanje. Kolo se isključuje kada temperatura spoja prelazi 135 °C.

3.3.10. SENZOR ZA DETEKCIJU AZOT-DIOKSIDA

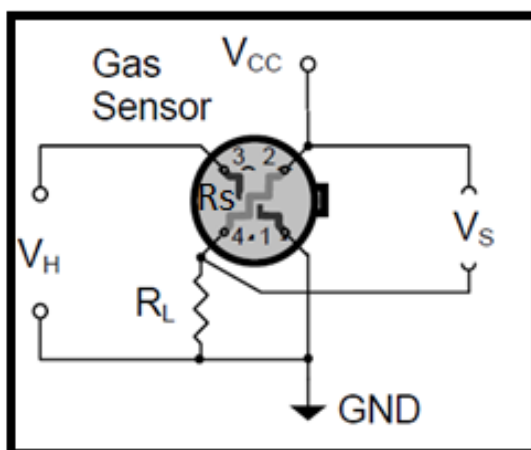
Azot-dioksid (NO_2) je crveno-smeđi toksični gas karakterističnog oštrog mirisa. U slučaju udisanja gasa dolazi do iritacije pluća, a pri čestoj izloženosti uticaju veće koncentracije ovog gasa dolazi do povećane učestanosti akutnih respiratornih oboljenja. Prirodni izvori NO_2 su vulkanske erupcije, šumski požari i udari groma. Ovaj gas nastaje sagorevanjem fosilnih goriva. Koncentracija ovog gasa u nezagađenom vazduhu ne prelazi 0,2 ppm (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ali često se u urbanim sredinama koncentracije kreću između 0,4 ppm (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) i 1,5 ppm (400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Slika 3.3.33. Senzor za detekciju azot-dioksida, MiCS-2710 (preuzeto iz [67])

Detekcija gasa azot-dioksida rađena je pomoću senzora MiCS-2710 (slika 3.3.33) firme E2V. MiCS-2710 spada u tip gasnih senzora koji radi na principu promene električne otpornosti u zavisnosti od koncentracije gasa u okruženju (princip poluprovodničke detekcije). Ovaj senzor ima širok opseg detekcije od 0,05 ppm do 5 ppm, brz odziv i visoku osetljivost. Senzor zahteva napajanje od 1,8 V. Stabilizacija napona realizovano je integrisanim kolom MCP1700 [74]. Ovaj senzor koristi grejač za smanjenje ekološkog uticaja okoline, ali uticaj temperature, pritiska i vlažnosti ne može uvek biti ignorisan.

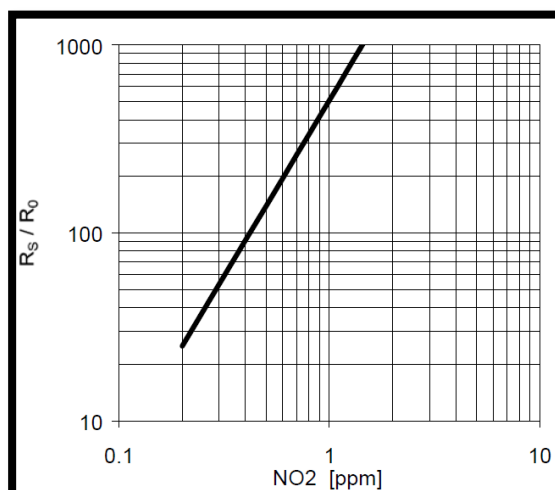
Principijska električna šema senzora data je na slici 3.3.34. Preporučeni režim rada od strane proizvođača je režim konstantne snage. Snaga grejača je 43 mW. Ova snaga se meri na senzorskom otporniku R_S pri temperaturi od 220°C. Detekcija gasa se vrši merenjem otpornosti R_S koja se menja sa promenom koncentracije NO_2 tj. meri se napon V_S pri konstantnoj struji kroz senzor. Otpornik R_S je promenljive otpornosti i nalazi se između pinova 2 i 4. Grejač se nalazi između pinova 1 i 3.



Slika 3.3.34 Principijska električna šema senzora MiCS-2710

Proizvođač preporučuje da otpornik R_L ima otpornost 10 kΩ. Otpornost R_S se izračunava iz sledeće relacije:

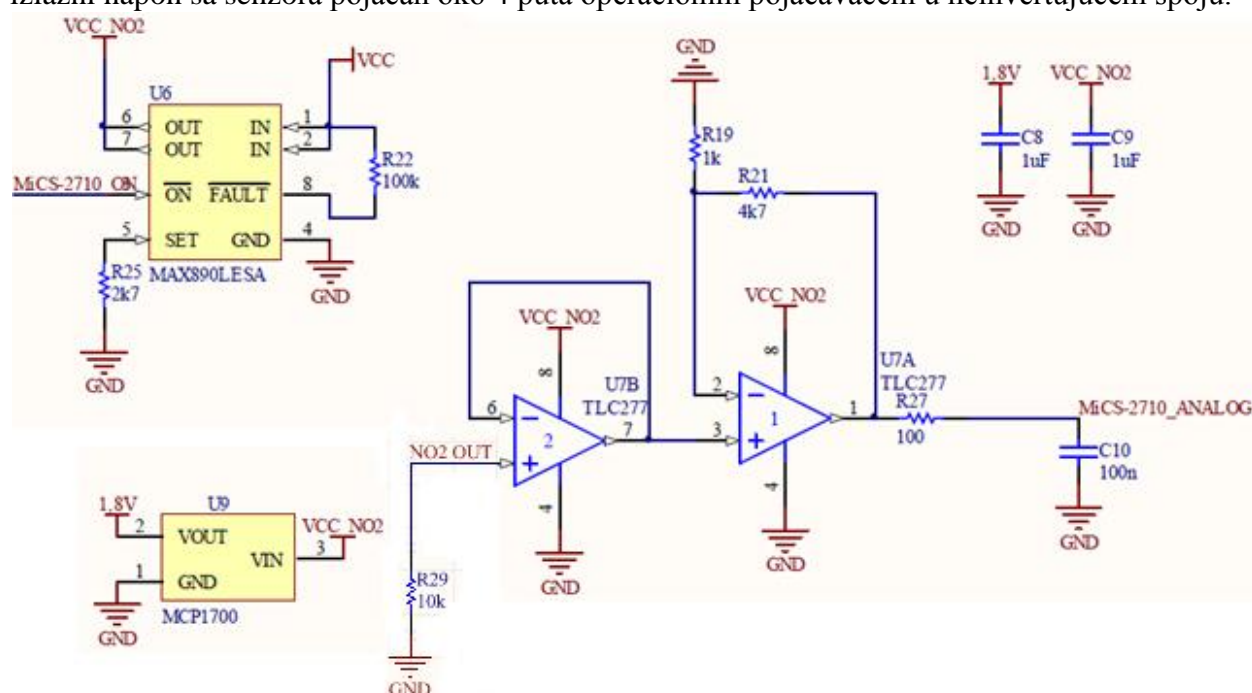
$$R_S = [R_L / (V_{CC} - V_S)] \times V_S \quad (3.35)$$



Slika 3.3.35. Karakteristika senzora MiCS-2710 (preuzeto iz [67])

Iz grafika sa slike 3.3.35. može se odrediti koncentracija gasa. Odnos R_s/R_0 je normalizacija otpnosti senzora u vazduhu pri sobnoj temperaturi od $23,5\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\%$. Tipična vrednost R_0 je oko $2,2\text{ k}\Omega$.

Električna šema data je na slici 3.3.41. Napon napajanja senzora od $1,8\text{V}$ obezbeđen je pomoću čipa MCP1700, čija je izlazna struja do 150 mA dovoljna za potrebe senzora MiCS-2710. Maksimalna potrošnja senzora je oko 26 mA . Vrednost otpornika R_L je $10\text{ k}\Omega$ (otpornik R29 na slici 3.3.36). Izlazni napon sa senzora V_s (odgovara oznaci NO₂ OUT na slici 3.3.36) skaliran je na naponski opseg $0\text{ V} - 5\text{ V}$, što odgovara analognim ulazima mikrokontrolera. Zbog toga je izlazni napon sa senzora pojačan oko 4 puta operacionim pojačavačem u neinvertujućem spoju.



Slika 3.3.36. Električna šema kontrolnog kola senzora MiCS-2710

3.3.11. SENZOR ZA DETEKCIJU SUMPOR-DIOKSIDA

Sumpor dioksid (SO₂), jedan od najčešćih zagađivača vazduha, nastaje kao posledica sagorevanja fosilnih goriva bogatih sadržajem sumpora. Ovaj gas sa gustinom od $2,551\text{ g/l}$ teži je od vazduha, bezbojan, karakterističnog i oštrog mirisa, nadražujuće deluje na sluzokožu. Javlja se kao nusprodukt rada automobilskih motora i fabričkih postrojenja. Zimi je stalno prisutan u vazduhu naseljenih mesta zbog grejanja stambenog prostora. Osnovna koncentracija SO₂ u atmosferi je $0,0002 - 0,0004\text{ ppm}$, dok je koncentracija u vazduhu iznad neindustrijskoga grada $0,01\text{ ppm}$.

Detekcija gasa sumpor-dioksida SO₂ rađena je pomoću SO₂-BF senzora firme *Alphasense*. Senzor SO₂-BF po principu rada spada u elektrohemijske senzore. Princip rada elektrohemijskih senzora detaljno je opisan u poglavlju 3.3.2. Osetljivost senzora SO₂-BF je od 55 nA/ppm do 80 nA/ppm . Vreme odziva, za vrednosti od 0 do 400 ppm , manje je od 25 s . Opseg rada senzora, koji garantuje proizvođač, je do 2000 ppm . Proizvođač garantuje da na izlazu senzora, šum ne prelazi $1,5\text{ ppm}$.

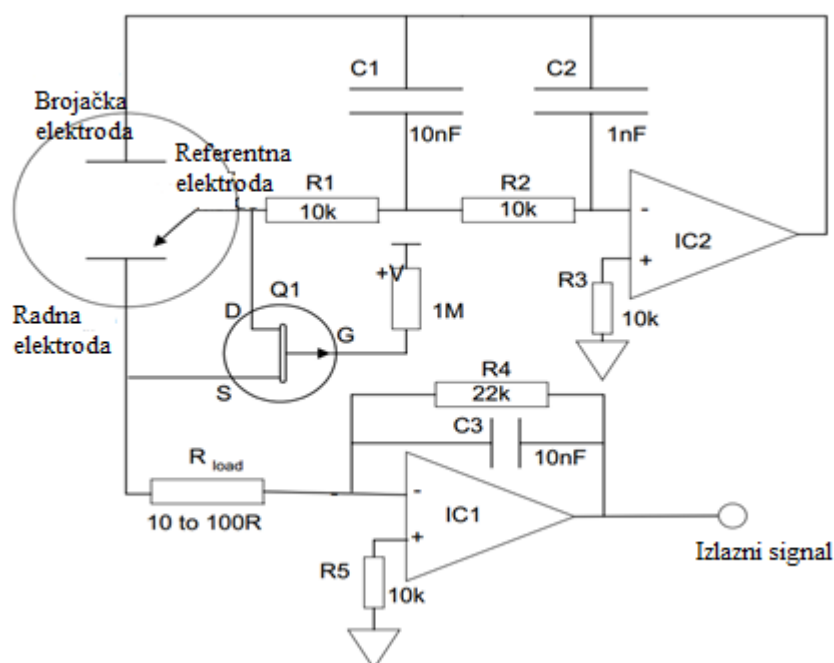
Kao i ostali elektrohemijski senzori, SO₂-BF poseduje radnu (*eng. Working electrode*), referentnu (*eng. Reference electrode*) i brojačku (*eng. counter electrode*) elektrodu. Uloge elektroda su sledeće:

a) Radna elektroda reaguje na odgovarajući gas, u ovom slučaju na gas SO₂, stvarajući struju koja je proporcionalna koncentraciji prisutnog gasa. Ova struja se isporučuje kroz brojačku elektrodu do senzora.

b) Referentna elektroda koristi se za održavanje konstantnog potencijala na radnoj elektrodi. Potencijal radne diodne elektrode mora biti održavan na istom potencijalu kao potencijal referentne elektrode u slučaju da električno kolo nije priključeno na napon napajanja.

c) Brojačka elektroda čini električno kolo sa radnom elektrodom. Potencijal brojačke elektrode može se menjati proporcionalno sa povećanjem koncentracije gasa. Potencijal na brojačkoj elektrodi nije bitan sve dok električno kolo može da obezbedi dovoljnu voltažu i struju da održi potencijal na radnoj elektrodi, isti kao i na referentnoj elektrodi.

Da bi senzor izvršavao predviđenu funkciju, neophodno je da poseduje i kontrolno kolo za upravljanje senzorom. Izgled cele električne šeme kontrolnog kola sa senzorom SO₂-BF dat je na slici 3.3.37:



Slika 3.3.37. Električna šema kontrolnog kola za senzor SO₂-BF

Glavni deo kontrolnog kola predstavlja operacioni pojačavač IC2 koji obezbeđuje da struja brojačke elektrode uspostavi ravnotežu struja koju zahteva radna elektroda. Invertujući ulaz na IC2 povezan je sa referentnom elektrodom i zbog velike ulazne otpornosti operacionog pojačavača struja u ovoj grani ne prelazi vrednost od 5 nA.

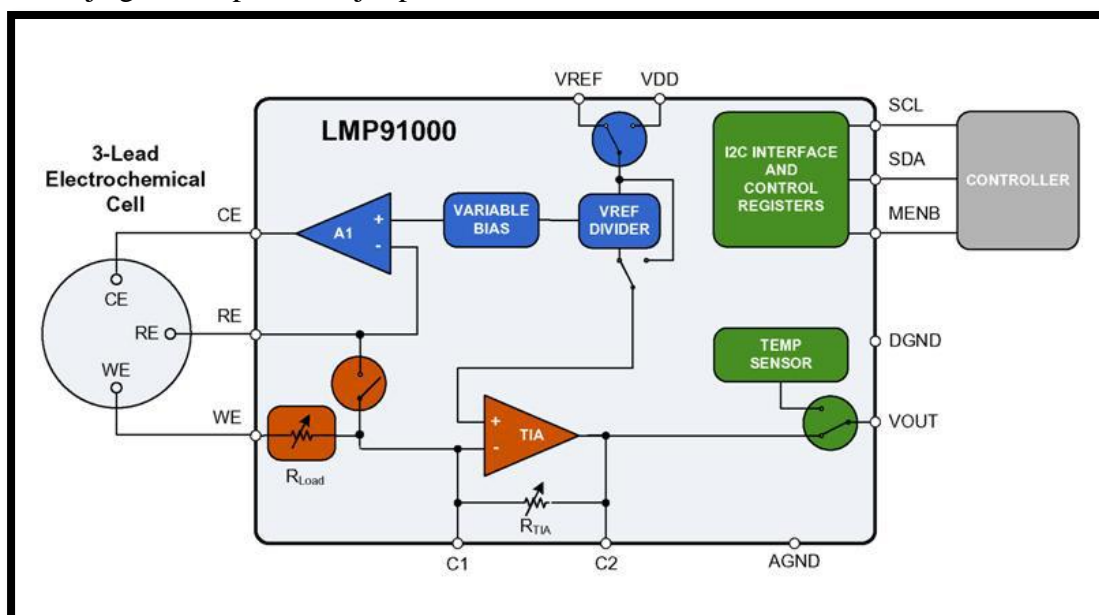
Kada se uključuje kolo, prilikom režima pražnjenja, tranzistor Q1, (JFET IRF9530 [75]) odlazi u stanje visoke impedanse i operacioni pojačavač IC2 obezbeđuje napon koji održava radnu i referentnu elektrodu na istom potencijalu.

Drugi deo kontrolnog kola predstavlja kolo za merenje struje. Operacioni pojačavač IC1 je pojačavač koji konvertuje struju u napon. Njegov ulaz idealno ima nultu impedansu, a ulazni

signal je struja. Izlazni signal se meri kao napon. Struja senzora se održava preko R_4 , a generiše izlazni napon u odnosu na virtuelnu masu. Kondenzator C3 smanjuje šumove visoke frekvencije.

Kolo za merenje koristi kombinaciju potencijometra R_{load} , interne otpornosti senzora i interne kapacitivnosti senzora da se uspostavi RC kolo. Izbor R_{load} je kompromis između najbržeg vremena odziva (mala otpornost R_{load}) i najboljeg vremena odziva, odnosno najmanjeg šuma (velika otpornost R_{load}). Ovo RC kolo utiče i na odnos signal/šum i na vreme odziva. Vreme odziva se povećava linearno povećanjem otpornosti R_{load} , dok se šum smanjuje brzo sa povećanjem otpornosti R_{load} .

Senzor zahteva kratko vreme da se ponovo stabilizuje kada se koncentracija gasa menja. Ovaj prelaz po pravilu neće se videti, osim pri visokim koncentracijama ili naglim promenama koncentracije gasova i pri velikoj otpornosti R_{load} .



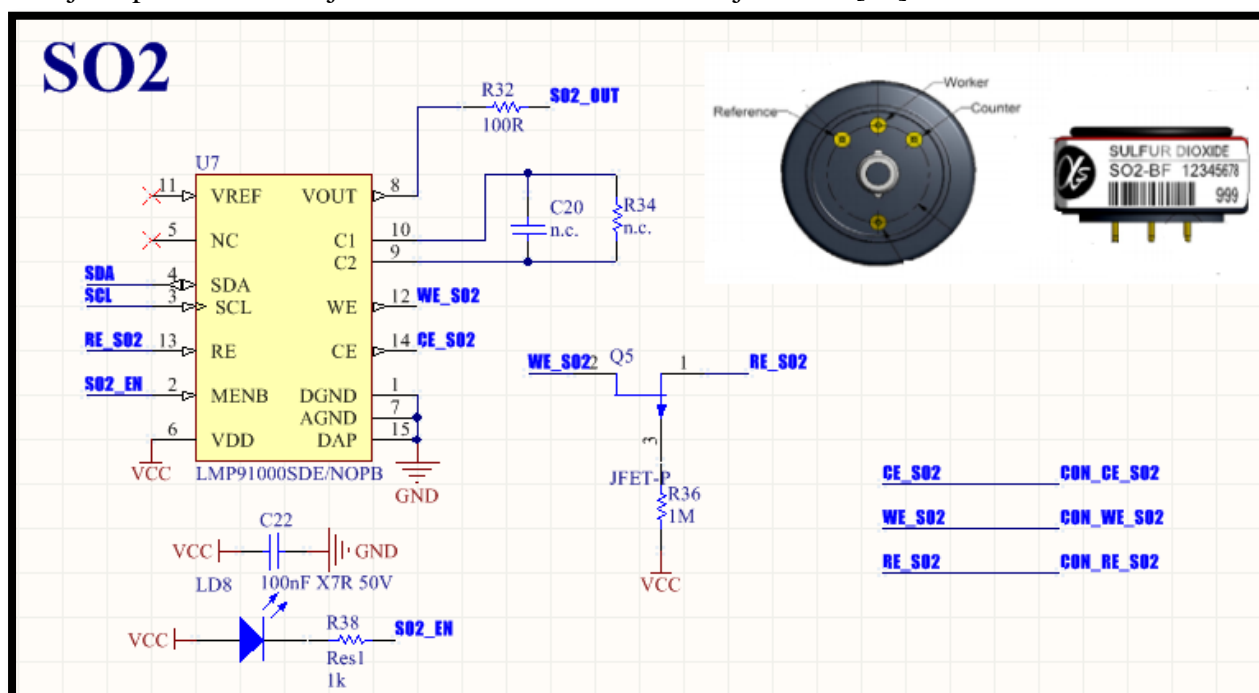
Slika 3.3.38. Kompletan blok dijagram kontrolnog kola LMP91000 (preuzeto iz [76])

Treba imati na umu da je osetljivost senzora otrovnih gasova promenljiva, obično $\pm 15\%$. Prema tome ovi senzori treba da se kalibrišu, softverski da se koriguje njihova varijacija osetljivosti. Njihovo odstupanje osetljivosti će ići nadole tokom vremena, obično 0,5% do 2% mesečno, u zavisnosti od tipa senzora, kao i u odnosu na vlažnost i uslove koncentracije/temperature gasa. Nulta vrednost struje je temperaturno zavisna i nije uvek ispravna, pa zahteva korekciju jer je neophodna velika preciznost pri merenju malih koncentracija.

Zbog velike jednostavnosti u primeni umesto diskretnih komponenta upravljačko kolo je realizovano pomoću čipa LMP91000 [76]. Ovo je namenski napravljeno kolo od strane firme *Texas Instruments* kako bi zamenilo diskretne komponente i minijaturizovale uređaj. Kompletan blok dijagram dat je na slici 3.3.38.

LMP91000 kao programabilno kolo pruža kompletno rešenje za interakciju između mikrokontrolera i senzora. Mikrokontroler putem I²C komunikacije programira kontrolno kolo i očitava vrednost senzora. Programiranjem kontrolnog kola može se pročitati temperatura preko internog temperaturnog senzora i mogu se podesiti: pojačanje izlaznog signala, vrednost unutrašnje otpornosti i vrednost referentnog signala.

Kompletna električna šema i izgled senzora SO₂-BF prikazana je na slici 3.3.39. Detaljan opis komunikacije senzora i mikrokontrolera dat je u radu [77].



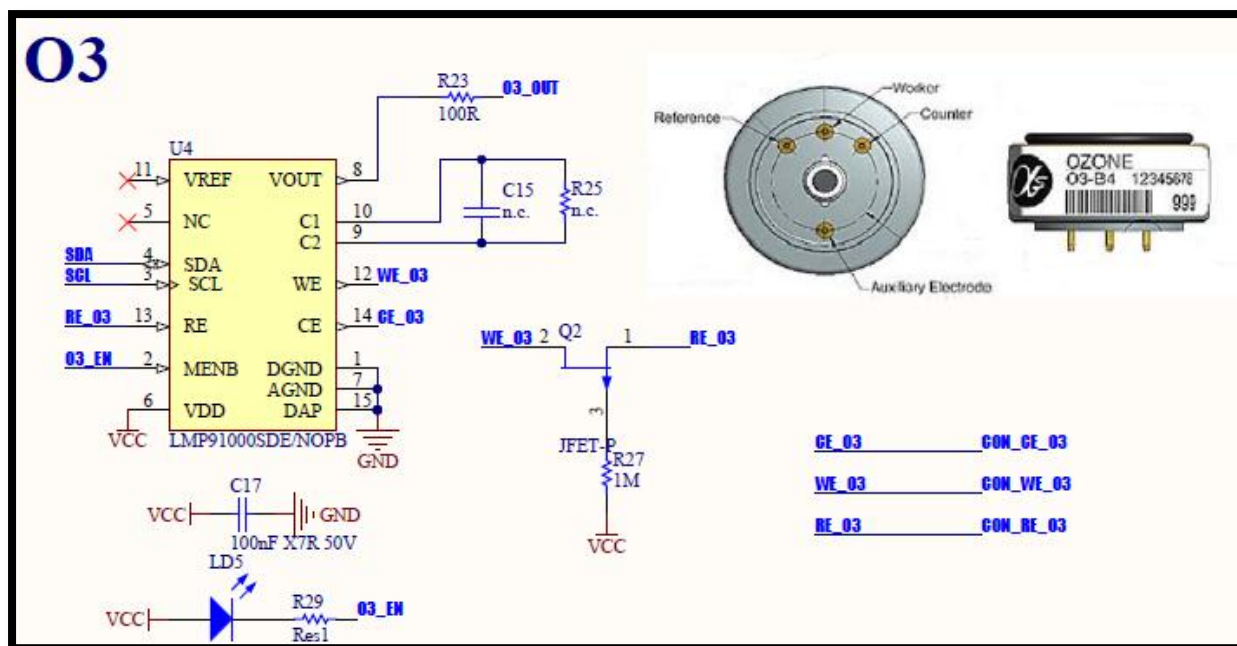
Slika 3.3.39. Način povezivanja kontrolnog kola i senzora SO₂-BF

3.3.12. SENZOR ZA DETEKCIJU OZONA

Ozon (O₃) je gas koji predstavlja alotropsku modifikaciju kiseonika. Ozon u prirodi nastaje u stratosferi (11–48 km iznad površine Zemlje) pod dejstvom UV zračenja. Ovaj ozon se naziva “dobri ozon” jer ima zaštitna svojstva u odnosu na život na Zemlji. Ozon može nastati i u troposferi (0–20 km iznad površine Zemlje), takođe pod dejstvom UV zračenja i pošto je toksičan za žive organizme, ovaj ozon se naziva “loš ozon”. Koncentracija ozona u troposferi 0,02 do 0,1 ppm, a u stratosferi 0,1 do 10 ppm.

Za detekciju ozona izabran je senzor O3-B4 firme *Alfasense*. Opseg merenja ovog senzora je od 0 do 5 ppm, ali je izlazna karakteristika linearna od 0 do 2 ppm. Senzor O3-B4 po principu rada spada u elektrohemijske senzore.

Prva elektroda sa kojom ozon dolazi u kontakt je radna elektroda koja je napravljena tako da bude optimalna za elektro-hemijsku reakciju, koja se dešava u ovom slučaju, generišući struju koja je proporcionalna koncentraciji gasa. Performanse senzora smanjuju se tokom vremena zbog same hemijske reakcije. Da bi se performanse senzora zadržale (konstantna osetljivost sa dobrom linearnošću), postavljena je referentna elektroda blizu radne elektrode. Uloga referentne elektrode je da zadrži radnu elektrodu na konstantnom potencijalu. Da bi se održao konstantan potencijal, struja ne sme da teče kroz referentnu elektrodu (struja koja nastaje hemijskom reakcijom senzora). Struja u senzoru se uspostavlja u stvari kroz elektrolit između elektroda. Na slici 3.3.40. prikazana je tačna električna šema i slika senzora O3-B4.



Slika 3.3.40. Električna šema i fizički izgled senzora O3-B4

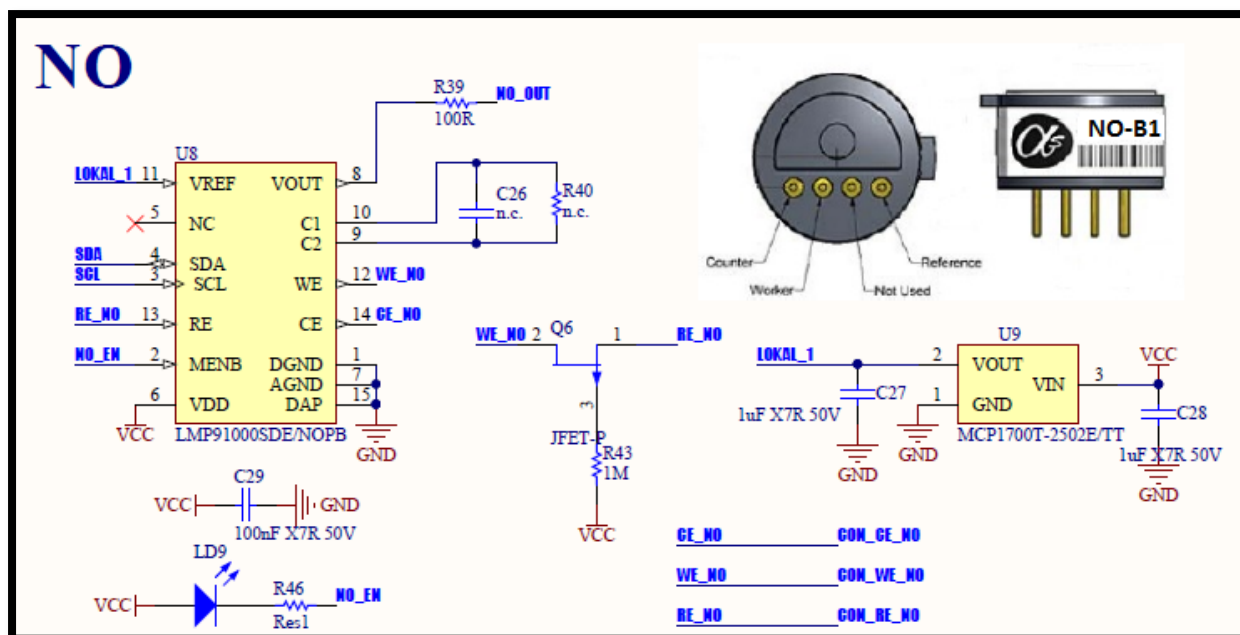
Upravljanje senzorom rađeno je, kao i kod senzora SO₂, pomoću čipa LMP91000, koji predstavlja univerzalno kontrolno kolo za rad sa elektrohemijским senzorima. Detaljan opis komunikacije senzora i mikrokontrolera dat je u radu [78].

3.3.13. SENZOR ZA DETEKCIJU AZOT-MONOKSIDA

Azot-monoksid (NO) je bezbojni gas koji se slabo rastvara u vodi i koji lako prolazi kroz lipidne membrane. Azot-monoksid ima jedan nespareni elektron, što ga čini stabilnim slobodnim radikalom koji lako reaguje sa brojnim kiseoničnim vrstama i halogenidima, koji se u formi nitroksil (NO[•]) jona lako vezuje za jone prelaznih metala [79]. Ovaj molekul predstavlja otrovni gas veoma neprijatnog mirisa koji nastaje oksidacijom amonijaka i nepotpunim sagorevanjem goriva u motornim vozilima. Tokom osamdesetih godina prošlog veka pokazano je da je NO jedan od najvažnijih fizioloških regulatora koji kao sekundarni glasnik ima ključnu ulogu u signalnoj transdukciji i citotoksičnosti [80].

Azot monoksid je suštinski važan hemijski „prenosilac poruka“ koji telo proizvodi u krvotoku, a zadatak mu je da širi i opušta krvne sudove. To povećava priliv krvi u sve organe i ćelije. Šireći krvne sudove, ne dozvoljava nastanak infarkta, angine pektorisa, iznenadnih srčanih napada. Kako je životni vek azot-monoksida samo nekoliko sekundi, organizam ga mora konstantno proizvoditi. Prirodno, oko 20. godine proizvodnja ovog molekula u čovekovom telu počinje da opada, a ipak, kardiovaskularni sistem nikad ne gubi sposobnost da se opusti, odnosno krvni sudovi da se prošire.

Za detekciju NO izabran je senzor NO-B1, firme *Alfasense*. Opseg merenja ovog senzora je od 0 do 250 ppm, izlazna karakteristika linearna od 0 do 50ppm. Senzor NO-B1 po principu rada spada u elektrohemijske senzore.



Slika 3.3.41. Električna šemakontrolnog kola i fizički izgled senzora NO-B1

Princip rada senzora NO-B1 je isti kao senzora za ozon O3-B4 (poglavlje 3.3.12), pa je i električna šema sa kontrolnim kolom slična (slika 3.3.41). Jedina razlika između dva senzora je u tome što se unutar senzora NO-B1 ne vrši redukcija kao kod O3-B4, nego oksidacija gasa i na taj način stvara se struja proporcionalna koncentraciji gasa. Napon napajanja senzora NO-B1 je 1,8 V. Regulisan pomoću stabilizatora MCP1700.

3.4. ALGORITAM RADA UREĐAJA I PRIKAZ PODATAKA

Posle opisane hardverske strukture uređaja, sledi objašnjenje softverskog dela u vidu algoritma rada. Softver je pisan u programskom jeziku C. Projekat je napravljen u okruženju MPLAB X [81] firme *Microchip*. Pošto je prenos podataka rađen sa Telitovim GM862 modemom, spisak komandi je uzet iz preporučene tehničke dokumentacije i uputstva za rad od strane proizvođača [82].

3.4.1. ALGORITAM RADA UREĐAJA

Na početku rada uređaj vrši inicijalizaciju senzora i modema i podešava parametre rada. Nakon toga sledi konekcija modema na GSM mrežu. Inicijalizacija modema i konekcija uređaja na GSM mrežu traje oko 30 s. Slanje podataka je putem GPRS komunikacije i TCP/IP protokola. Komande za inicijalizaciju modema i podešavanje protkola su sledeće:

- a. U slučaju da se koristi *MTS*-ova SIM kartica:


```
const char atGPRS0[] = {"AT\r"};
const char atGPRS1[] = {"AT+CGDCONT=1,\"IP\", \"gprsinternet\", \"0.0.0.0\", 0, 0\r"};
const char atGPRS2[] = {"AT#USERID=\"mts\"\r"};
const char atGPRS3[] = {"AT#PASSW=\"064\"\r"};
```

b. U slučaju da se koristi *Telenorova* SIM kartica:

```
const char atGPRS0[] = {"AT\r"};
```

```
const char atGPRS1[] = {"AT+CGDCONT=1,\"IP\", \"internet\", \"0.0.0.0\",0,0\r"};
```

```
const char atGPRS2[] = {"AT#USERID=\"telenor\"\r"};
```

```
const char atGPRS3[] = {"AT#PASSW=\"gprs\"\r"};
```

Nakon inicijalizacije uređaj ispituje da li je stigao SMS u kome se nalaze nova podešavanja uređaja. Ukoliko je stigao SMS sa novim podešavanjima, uređaj obrađuje podatke i postavlja zadate parametre. Podaci u okviru SMS-a šalju se u tačno određenom formatu. Novi parametri mogu da obuhvataju promenu frekvencije slanja GPS pozicije, promenu frekvencije slanja izmerenih koncentracija gasova, zaustavljanje rada uređaja i ponovno pokretanje rada. Podešene parametre mikrokontroler čuva u internoj EPROM memoriji. SMS porukom se takođe mogu dobiti podaci o trenutnom stanju uređaja, GPS poziciji i svim parametrima životne sredine koji se mere.

U slučaju da SMS poruka nije stigla ili je već obrađena uređaj nastavlja da vrši merenje, čita GPS poziciju i nakon zadatog vremenskog intervala, šalje podatke. Slanje podataka vrši se putem GPRS protokola. Na početku slanja otvori se *socket*, pošalju se podaci i zatvori se *socket*. Komande za konekciju uređaja, otvaranje/zatvaranje *socket*a i slanje podataka su sledeće:

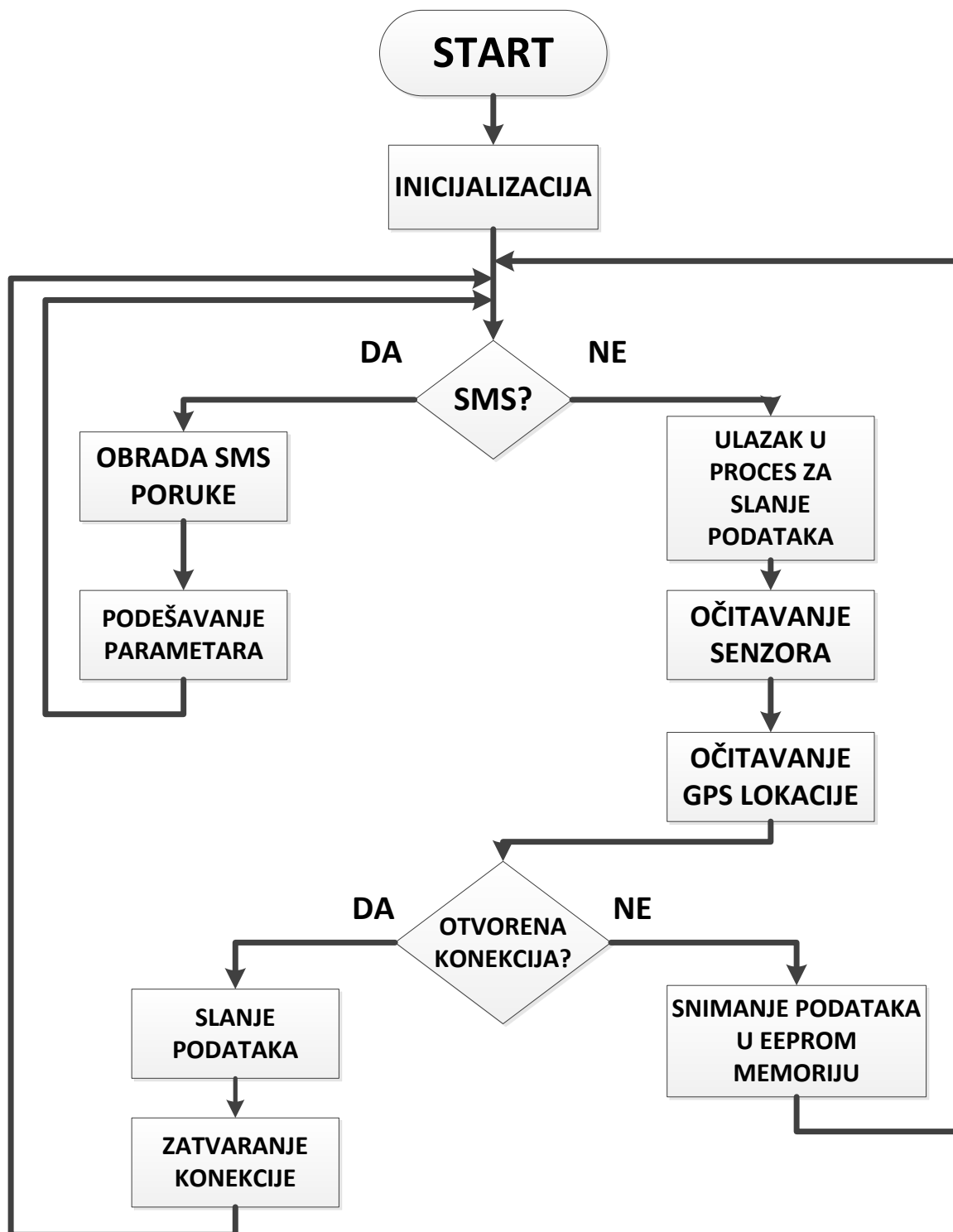
```
const char atGPRS4[] = {"AT#SCFG=1,1,20,6,15,50\r"};
```

```
const char atGPRS5[] = {"AT#GPRS=1\r"};
```

```
const char atGPRS_CHECK[] = {"AT#GPRS?\r"};
```

```
const char atSOCKETcon[] = {"AT#SKTD=0,50099,\"147.91.175.168\",0,0\r"};
```

Zatvaranje *socket*a je podešeno tako da se *socket* sam zatvori u slučaju da nema prenosa podataka 15 s. Inicijalno uređaj je podešen da meri koncentraciju gasova i šalje podatke na server svake dve minute, a svoju GPS poziciju svakih petnaest sekundi.



Slika 3.4.1. Algoritam rada uređaja za praćenje parametara životne sredine

Nakon slanja podataka, uređaj na server šalje i svoju ličnu oznaku, takozvani IMEI, kako bi server mogao da razlikuje merne stanice.

U slučaju da GPRS konekcija glavnog operatera nije otvorena, podatke za slanje mikrokontroler smešta u EEPROM memoriju po algoritmu opisanom u poglavlju 3.2.2. Kada GPRS konekcija ka serveru bude dostupna, prvo se šalju podaci iz eksterne memorije bez vremenske razlike između dva slanja, a zatim se šalju i trenutni podaci. Kompletan algoritam rada uređaja dat je na slici 3.4.1.

Nakon što je koncept merne stanice urađen, napravljeno je nekoliko uređaja koji su postavljeni na autobuse GSP u Pančevu i nekoliko uređaja koji su postavljeni na fiksnu lokaciju. Uređaji na autobusima su pokretne merne stanice, dok su ostale stacionarne.

3.4.2. PRIKAZ PODATAKA

Podaci se šalju na server putem TCP/IP protokola. Proučavanje slanja podataka putem TCP/IP protokola, smeštanje podataka u bazu i slikovni prikaz podataka nije predmet izučavanja ovog rada, pa će biti samo navedeni krajnji rezultati bez detaljnijeg objašnjenja. Način na koji su podaci smešteni u bazu prikazani su u tabeli 3.7. U tabeli 3.7. dat je primer konkretnih podataka koji su dobijeni sa pokretne merne stanice u Pančevu tokom marta 2013.god.

Tabela 3.7 Idvojeni podaci o praćenju parametara životne sredine tokom marta 2013.god smešteni u bazi podataka

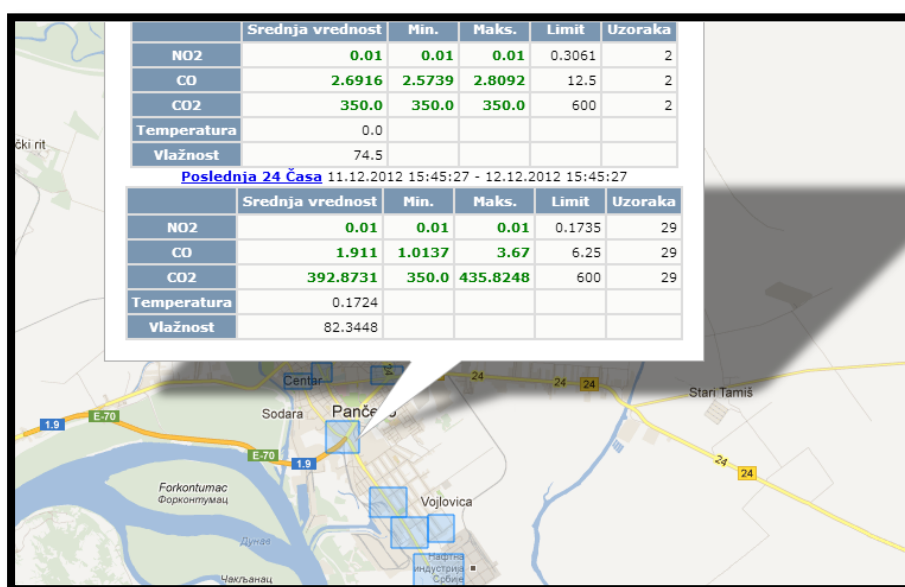
vreme (hh:mm:ss)	bus_id	Latitude (°)	Longitude(°)	SO2 (ppm)	NO2 (ppm)	CO (ppm)	CO2 (ppm)	O3 (ppm)	NO (ppm)	T (°C)	H (%)	P (kPa)
9:23:42	355	45.2648883	19.8301867	1238	2658	1.0865	671	2683	783	5	82	110
9:23:52	355	45.2648533	19.8301933	1246	2719	0.9265	665	2673	793	6	82	110
9:24:02	355	45.264855	19.8301983	1245	2707	0.9164	659	2672	802	6	81	110
9:24:12	355	45.2648567	19.8302017	1245	2718	0.9245	653	2677	798	6	81	110
9:24:22	355	45.264735	19.83023	1241	2598	1.0886	662	2640	779	5	85	110
9:24:32	355	45.2647333	19.8302333	1249	2606	0.9974	655	2671	810	5	84	110
9:24:42	355	45.2647367	19.8302367	1246	2713	1.2385	654	2795	835	5	84	110
9:24:52	355	45.2649883	19.8301133	1264	2639	1.2729	672	2653	801	4	88	110
9:25:02	355	45.2649867	19.83014	1255	2654	1.1392	658	2733	828	5	88	110
9:25:12	355	45.2650067	19.8301317	1253	2697	1.0561	657	2665	796	5	88	110
9:25:22	355	45.265015	19.830135	1248	2713	1.0886	655	2684	806	5	88	110
9:25:32	355	45.265000	19.8301517	1246	2677	1.0359	649	2668	812	5	87	110
9:25:42	355	45.26499	19.8301617	1245	2707	0.9974	650	2663	798	5	87	110
9:25:52	355	45.2649833	19.830165	1242	2676	1.1716	647	2668	792	5	87	110
9:26:02	355	45.2649767	19.83017	1239	2669	1.0197	645	2653	792	5	87	110
9:26:12	355	45.26497	19.8301717	1237	2671	1.0359	651	2656	800	5	86	110
9:26:22	355	45.2648867	19.830195	1257	2702	1.1797	655	2671	802	4	91	110
9:26:32	355	45.2648883	19.8301883	1254	2746	1.0642	648	2687	802	4	91	110
9:26:42	355	45.26489	19.830185	1258	2676	1.0318	649	2653	788	4	91	110
9:26:52	355	45.2648917	19.8301833	1254	2663	1.1392	650	2661	791	4	91	110
9:27:02	355	45.2648933	19.8301833	1253	2709	1.1635	647	2680	809	4	90	110
9:27:12	355	45.2654817	19.8309517	1245	2703	1.672	659	2741	823	4	91	110
9:27:22	355	45.265485	19.8309583	1257	2465	1.51	652	2660	814	4	91	110

9:27:32	355	45.26549	19.8309633	1256	2737	1.3722	648	2666	785	4	91	110
9:27:42	355	45.26549	19.8309567	1254	2702	1.3438	642	2668	789	4	91	110
9:27:52	355	45.26549	19.830945	1251	2705	1.2952	639	2680	798	4	90	110
9:28:02	355	45.26549	19.8309383	1251	2767	1.3195	645	2680	791	4	90	110
9:28:12	355	45.265495	19.83093	1243	2764	1.3864	640	2686	815	4	90	110
9:28:22	355	45.2655	19.830925	1247	2750	1.3925	647	2691	803	5	90	110
9:28:32	355	45.2655017	19.8309183	1242	2743	1.4006	649	2690	786	5	90	110
9:28:42	355	45.2655017	19.8309083	1238	2769	1.4208	648	2709	813	5	89	110
9:28:52	355	45.2654967	19.830905	1236	2731	1.4168	644	2699	816	5	89	110
9:29:02	355	45.265495	19.830905	1233	2781	1.4512	645	2704	809	5	89	110
9:29:12	355	45.2654	19.8310433	1261	2679	1.3074	655	2704	817	3	91	110
9:29:22	355	45.2653917	19.8310433	1257	2669	1.123	649	2680	799	4	91	110
9:29:32	355	45.265385	19.8310417	1257	2739	1.1027	645	2688	791	4	91	110
9:29:42	355	45.2653833	19.83104	1256	2742	1.1696	644	2687	796	4	91	110
9:29:52	355	45.2653817	19.8310367	1253	2729	1.1696	649	2676	780	4	90	110
9:30:02	355	45.26538	19.831035	1248	2927	1.1676	641	2700	786	4	90	110
9:30:12	355	45.26538	19.831035	1248	2744	1.204	647	2698	795	4	90	110
9:30:22	355	45.2653817	19.8310333	1249	2740	1.2385	651	2687	795	4	89	110
9:30:32	355	45.2653817	19.8310317	1249	2771	1.2344	651	2698	812	4	89	110
9:30:42	355	45.2449033	19.7932717	1283	2106	1.4269	651	2669	791	2	93	110
9:30:52	355	45.24491	19.7932717	1264	2713	1.1878	646	2673	804	2	93	110
9:31:02	355	45.244925	19.7932717	1262	2737	1.1534	642	2687	817	2	93	110
9:31:12	355	45.2449267	19.7932717	1262	2700	1.1676	638	2695	805	2	93	110
9:31:22	355	45.2449283	19.79327	1263	2692	1.2405	642	2700	802	2	92	110
9:31:32	355	45.2449283	19.7932667	1255	2702	1.1696	644	2677	806	2	92	110
9:31:42	355	45.2449317	19.793265	1256	2705	1.1372	643	2678	790	2	92	110
9:31:52	355	45.2449317	19.7932633	1253	2639	1.279	639	2689	813	2	91	110
9:32:02	355	45.24493	19.7932633	1252	2789	1.1757	639	2688	815	2	91	110
9:32:12	355	45.2449317	19.7932633	1248	2789	1.1331	649	2680	790	2	90	110
9:32:22	355	45.244935	19.79326	1249	2686	1.1453	645	2690	800	2	89	110
9:32:32	355	45.2449383	19.7932583	1246	2727	1.2263	643	2696	795	2	89	110
9:32:42	355	45.24494	19.7932583	1242	2645	1.279	646	2692	796	2	88	110
9:32:52	355	45.24494	19.7932583	1243	2800	1.4451	650	2693	782	2	87	110

U prvoj koloni se nalazi se oznaka koja predstavlja identifikaciju autobusa i pokretne merne stanice koja se nalazi na datom autobusu. Druga i treća kolona predstavljaju trenutnu lokaciju autobusa-geografsku širinu i dužinu. Nakon toga prikazane su kolone sa vrednostima koncentracije gasova SO₂, NO₂, CO, CO₂, O₃ i NO izražene u ppm. Tri poslednje kolone daju vrednosti ambijentalne temperature izražene u °C, vrednosti vlažnosti vazduha izražene u procentima (%) i vrednosti atmosferskog pritiska izražene u kPa. Vreme merenja i slanja parametara je u ovom slučaju na svakih deset sekundi. Ovaj primer je vezan za datum

17.03.2013.god. Broj merenja svih parametara tokom dana je znatno veći nego što je prikazan u tabeli 3.7, jer tabela predstavlja samo jedan deo iz baze podataka.

Na internet stranici www.ekobus.rs može se pratiti trenutna situacija na terenu. Na stranici je dat prikaz grada Pančeva podeljenog po oblastima. Oblasti od interesa su označene plavim pravougaonikom. Ako se selektuje željeni pravougaonik, dobija se prikaz podataka. Podaci se prikazuju u dve tabele sa kolonama: srednja vrednost, minimalna i maksimalna izmerena koncentracija, limitirana vrednost i broj uzetih uzoraka. Jedna tabela daje prikaz u poslednjih sat vremena dok druga prikazuje srednje vrednosti podataka u poslednja 24 h (slika 3.4.2).



Slika 3.4.2. Prikaz lokacije i vrednosti podataka na sajtu

4. METODE OBRADE PODATAKA

Nakon postavljanja mernih stanica i dobijanja podataka iz baze, urađena je analiza izmerenih podataka i date su pretpostavke. Pretpostavke su sledeće:

- postoji funkcionalna zavisnost između veličina koncentracija CO i NO₂,
- korišćenjem metoda predikcije, pomoću regresionog modela – interpolacije i ekstrapolacije, moguće je smanjiti broj mernih stanica. Naime, korišćenjem interpolacionih krivih, moguće je na teritoriji jednog grada prikazati estimacije koncentracija gasova na osnovu podataka sa pokretne merne stanice.

Metode obrade podataka zasnivaju se na statistici, tačnije na korelacionoj i regresionoj analizi, pa je na početku ovog odeljka, opisan matematički aparat na kojem se zasnivaju dokazi pretpostavki. Nakon toga je opisana primena matematičkog aparata na dobijenim podacima radi dokaza pretpostavki.

4.1. REGRESIONA I KORELACIONA ANALIZA

U svakoj naučnoj disciplini jedan od osnovnih problema je ispitivanje veza između promenljivih veličina. Ispitivanje zavisnosti u statističkoj analizi ima dva osnovna pravca:

- 1) oblik zavisnosti – koji ispituje regresiona analiza [83].
- 2) jačinu zavisnosti – koju određuje korelaciona analiza [83].

Regresijom i korelacijom analizira se povezanost (asocijacija, odnos) dve ili više varijabli. Upotrebom regresionih modela može se oceniti kako se menja jedna promenljiva pod uticajem promene druge promenljive. Pri tom je od posebnog interesa mogućnost predviđanja vrednosti jedne nepoznate veličine na osnovu druge, poznate veličine.

Pojave na osnovu veza između promenljivih možemo podeliti na:

- 1) determinističke i
- 2) stohastičke.

Deterministička veza se javlja kada jednoj vrednosti nezavisne promenljive X odgovara tačno jedna vrednost zavisne promenljive Y . Ova veza se još naziva egzaktna ili funkcionalna.

Stohastičke veze su slabije i kod njih jednoj vrednosti X odgovara više mogućih vrednosti zavisne promenljive Y . Svaku od tih vrednosti zavisne promenljive možemo uzeti sa određenom verovatnoćom, pa je zavisno promenljiva Y slučajna promenljiva. Suština stohastičke veze je sledeća:

Srednja vrednost $Y = f(X)$

Veze kod kojih porastu (opadanju) nezavisne promenljive X odgovara porast (opadanje) zavisno promenljive Y nazivaju se direktne veze. Ako porastu X odgovara opadanje Y takve veze se zovu inverzne (obrnute).

4.1.1. CILJEVI REGRESIONE I KORELACIONE ANALIZE

Regresiona i korelaciona analiza primenjuju se u istraživanju kvantitativnog slaganja varijacija između dve ili više pojava. Kod regresione analize neophodno je unapred odrediti koja pojava će imati ulogu nezavisne, a koja zavisne promenljive. Ovo je određeno prirodom analiziranih pojava. Kod korelacione analize je svejedno koja je pojava okarakterisana kao nezavisna, a koja kao zavisno promenljiva. Rezultat korelacione analize je isti u oba slučaja. U slučaju korelacione analize više pojava potrebno je fiksirati jednu zavisnu promenljivu, a ostale će biti nezavisne.

Cilj regresije je da se utvrdi priroda veze, tj. oblik zavisnosti među posmatranim pojavama. Ovo se postiže odgovarajućim regresionim modelima. Regresioni model je statistički model koji matematičkim formulama, uz određene pretpostavke, najbolje opisuje kvantitativnu zavisnost između varijacija posmatranih pojava u realnosti. Kako je reč o stohastičkim vezama, regresioni model pokazuje prosečno slaganje varijacija ispitivanih pojava. Korelaciona analiza ispituje da li između varijacija posmatranih pojava postoji slaganje i u kom stepenu.

Prilikom istraživanja međusobnih veza dveju promenljivih primenjuju se metode proste (linearne i nelinearne) regresione i korelacione analize [84]. U slučaju više promenljivih reč je i o metodama višestruke (linearne i nelinearne) regresione i korelacione analize. U ovom slučaju interesovanje će biti usmereno ka istraživanju linearne metode dveju promenljivih.

4.1.2. REGRESIONA ANALIZA

Prost regresioni model je matematički model koji ima samo dve promenljive: zavisnu i nezavisnu. Zavisna promenljiva je ona čije varijacije treba objasniti na osnovu promena nezavisne promenljive. Prvi korak u istraživanju zavisnosti između varijabli je crtanje dijagrama rasipanja (*eng. scatter dijagram*), koji predstavlja grafički prikaz zavisnosti između promenljivih x i y . Dijagram rasipanja se konstruiše na osnovu dobijenog eksperimentalnog skupa podataka i prikazuje parove vrednosti x i y u dvodimenzionalnom koordinatnom sistemu sa odabranim skalama merenja na apscisnoj i ordinatnoj osi. Na apscisnoj osi se nanose vrednosti nezavisne promenljive x , a na ordinatnoj osi vrednosti zavisne promenljive y . Dijagram rasipanja, na očigledan način, omogućava slikovitu predstavu o tome da li postoji ili ne postoji zavisnost između promenljivih x i y , kao i njen karakter i intenzitet. Tako, na primer, na osnovu nacrtanih eksperimentalnih tačaka može vizuelno da se uoči oblik aproksimativne linije: prava, kriva (rastuća ili opadajuća, tačke maksimuma i/ili minimuma ili prevojne tačke). Prevojne tačke eksperimentalne krive na dijagramu rasipanja mogu značiti granicu između dva različita mehanizma iste pojave ili granicu poremećaja u merenju. Dijagram rasipanja, takođe, na očigledan način otkriva ekstremne vrednosti, a na njemu se mogu lako uočiti grube greške, a

često i sistematske i slučajne greške ravnomernim rasipanjem eksperimentalnih podataka oko aproksimativne krive.

Zavisnost na osnovu dijagrama rasipanja, može biti:

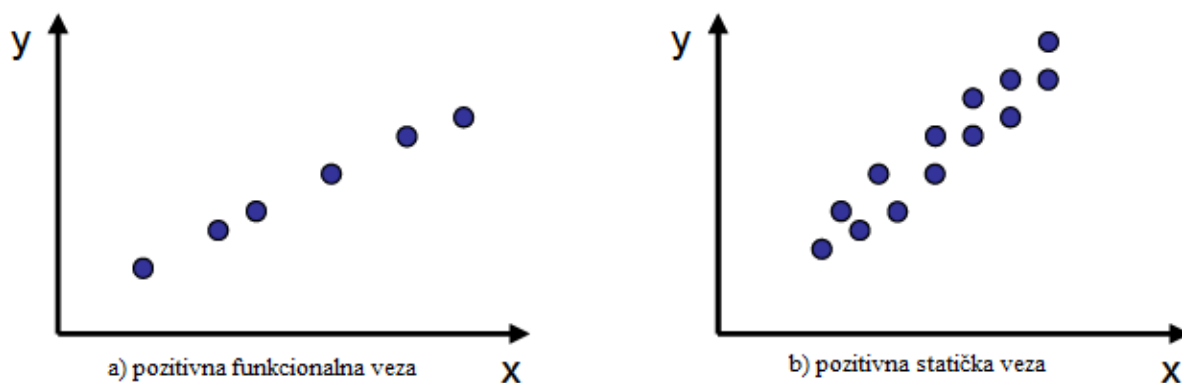
- linearna zavisnost eksperimentalnih tačaka,
- nelinearna zavisnost eksperimentalnih tačaka,

Zavisnost, zavisno od oblika dijagrama rasipanja, može biti:

- rastuća ili pozitivna zavisnost eksperimentalnih tačaka, koja na dijagramu rasipanja označava direktno proporcionalnu vezu između promenljivih, odnosno sa porastom nezavisne promenljive x zavisna promenljiva y , takođe, raste;

- opadajuća ili negativna zavisnost eksperimentalnih tačaka, koja na dijagramu rasipanja pokazuje da je veza između promenljivih obrnuto proporcionalna, odnosno opadanje nezavisne promenljive x dovodi do opadanja i zavisne promenljive y .

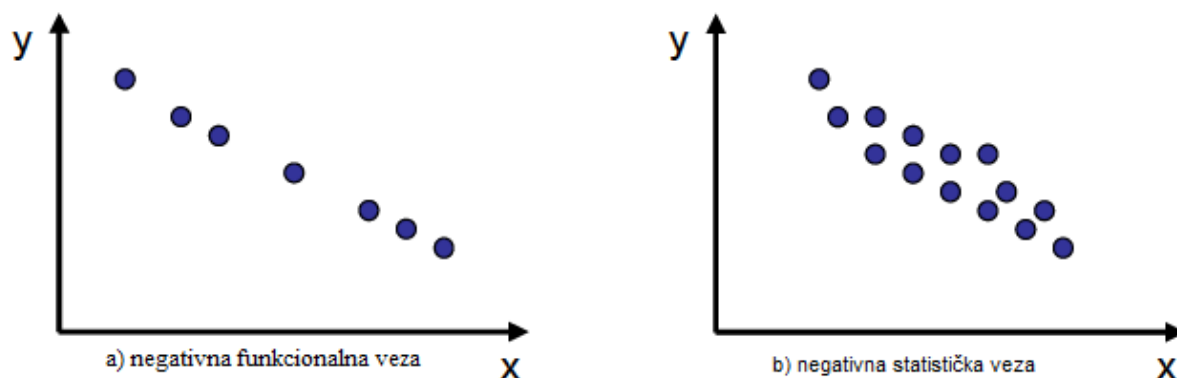
Na slici 4.1.1. su prikazana dva dijagrama rasipanja. Slika 4.1.1a. prikazuje funkcionalnu vezu između varijabli x i y , a zamišljena linija koja povezuje sve tačke je prava linija. Od te linije nema nikakvog odstupanja, stoga se kaže da je ova veza strogo funkcionalna. Zamišljeni pravac je rastući, odnosno porast vrednosti jedne varijable prati porast vrednosti druge posmatrane varijable, pa je stoga ova veza pozitivna.



Slika 4.1.1. Dijagrami rasipanja sa pozitivnom linearnom vezom između dve varijable

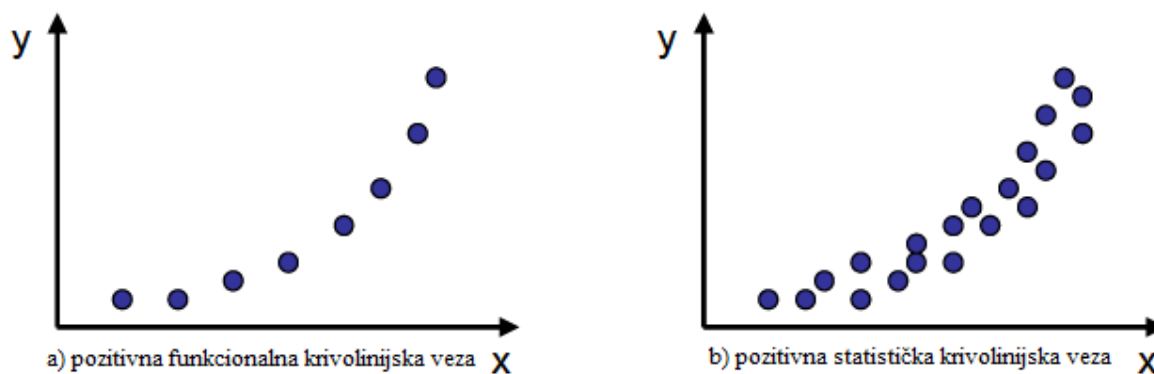
Grafik na slici 4.1.1b. prikazuje slučaj koji je čest u praksi. Tačke na ovom dijagramu takođe povezuje prava linija, ali su ovde prisutna pozitivna i negativna odstupanja od te prave linije, što se tumači raznim uticajima drugih varijabli koje se pojavljuju u praksi. Stoga ova veza nije strogo funkcionalna, već se za nju kaže da je statistička (stohastička ili slučajna) veza. Porast vrednosti jedne varijable u proseku prati porast vrednosti druge varijable, pa je i ova veza pozitivna. U ovom slučaju je izbegnuta mogućnost pojave histerezisa kao oblika zavisnosti među promenljivima.

Na slici 4.1.2. su prikazana druga dva pravolinijska dijagrama rasipanja. Na slici 4.1.2a. prikazana je funkcionalna veza između varijabli x i y , gde nema odstupanja tačaka od zamišljene linije koja prolazi kroz sve tačke. Pravac zamišljene prave je opadajuć, odnosno porast vrednosti jedne varijable prati pad vrednosti druge posmatrane varijable, pa je ova veza negativna. Na grafiku sa slike 4.1.2b. prikazana je negativna statistička veza dve varijable, u kojoj porast jedne varijable u proseku prati pad druge varijable.



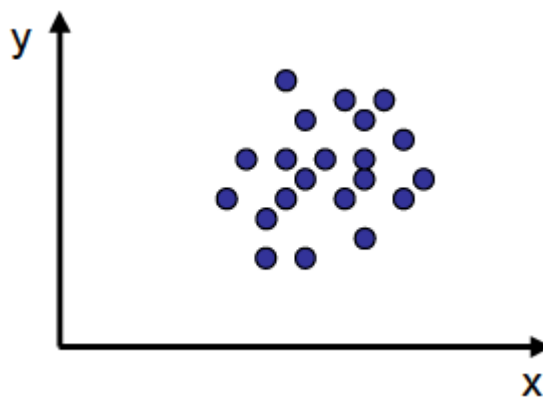
Slika 4.1.2. Dijagrami rasipanja sa negativnom pravolinijskom vezom između dve varijable

Međusobne veze između dve varijable ne moraju da budu pravolinijske, već mogu imati i drugi oblik. Na slici 4.1.3a. i slici 4.1.3b. prikazane su funkcionalna i statistička krivolinijska pozitivna veza između varijabli x i y .



Slika 4.1.3. Dijagrami rasipanja sa pozitivnom krivolinijskom vezom između dve varijable

Na Slici 4.1.4. prikazan je dijagram rasipanja koji upućuje na zaključak da nema povezanosti između posmatranih varijabli. Naime, zamišljena linija koja prolazi između tačaka ne postoji i ne može da se kaže da li porast jedne varijable prati rast ili pad druge varijable, jer se pri jednoj vrednosti varijable x javlja više različitih vrednosti varijable y .



Slika 4.1.4. Dijagram rasipanja za varijable među kojima ne postoji veza

Nakon određivanja dijagrama rasipanja zadatak regresione analize obuhvata sledeće stavke:

- **Izbor oblika regresionog modela odnosno regresione funkcije**

$$\mu_{y/x} = \phi(x, \beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k) \quad (4.1)$$

gde su $\beta_j, j = 0, 1, \dots, k$ parametri ili koeficijenti (zovu se pravilni teorijski regresioni koeficijenti).

- **Ocenjivanje regresionih koeficijenata**

$\beta_j, j = 0, 1, \dots, k$ tj. određivanje njihovih približnih vrednosti: $b_j, j = 0, 1, \dots, k$, tako da regresiona jednačina:

$$y(x) = f(x, b_0, b_1, \dots, b_k) \quad (4.2)$$

predstavlja što bolju aproksimaciju regresione funkcije (4.1). Koeficijenti b_j zovu se empirijski regresioni koeficijenti ili parametri u empirijskoj formuli

- **Statističku analizu dobijene jednačine :**

Ovaj deo obuhvata određivanje preciznosti predviđanja i određivanje intervala poverenja teorijskih regresionih koeficijenata.

4.1.3. IZBOR OBLIKA REGRESIONOG MODELA

U opštem slučaju, problem izbora oblika regresione jednačine ili empirijske formule se rešava približno na osnovu:

- teoretskih znanja i iskustva u vezi sa uticajem neke fizičke veličine x na drugu fizičku veličinu y
- dijagrama rasipanja eksperimentalnih tačaka $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n$.

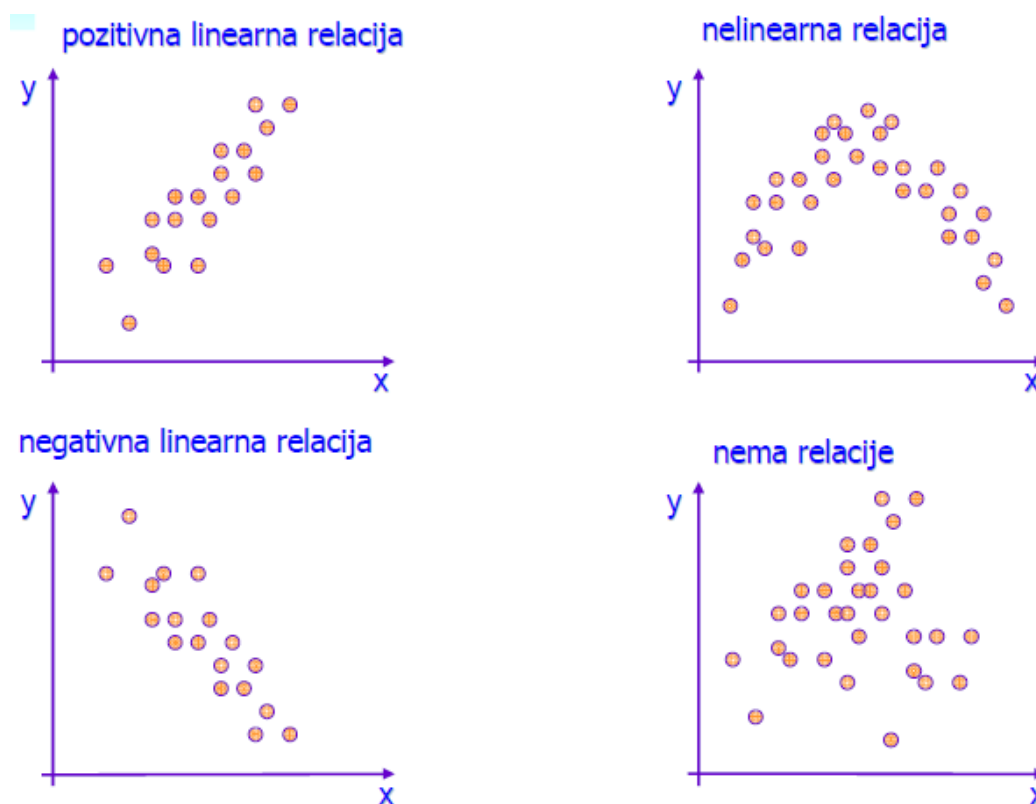
Regresiona funkcija može imati bilo kakav analitički oblik koji ne mora biti poznat. U opštem slučaju potrebno je odrediti neku pogodnu formu regresione funkcije. Ova odluka se najčešće donosi na osnovu poznavanja domena iz koga potiču podaci. Od svih mogućih funkcija bira se jedna koja u nekom smislu najbolje odgovara podacima. Najčešće je skup mogućih funkcija definisan skupom parametara čijim se fiksiranjem bira jedna konkretna funkcija. Zbog svoje jednostavnosti i osobine da mogu dobro da aproksimiraju različite funkcije, kao empirijske formule se često koriste polinomi drugog i višeg stepena:

$$y(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_kx^k \quad (k \geq 2) \quad (4.3)$$

Ako odabrana empirijska formula:

$$y(x)=f(x,b_0,b_1,\dots,b_k) \quad (4.4)$$

nema kao osnovu regresionu funkciju, već ima čisto empirijski karakter, tada se ne može govoriti o parametrima b_j , $j = 0,1,\dots,k$ kao ocenama teorijskih regresionih koeficijenata.



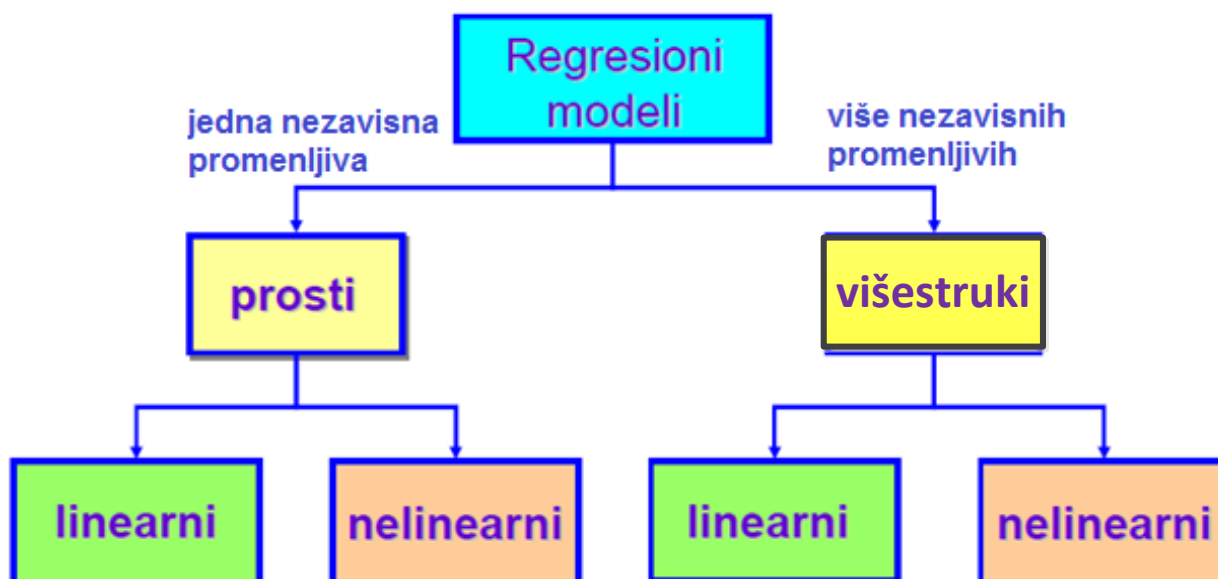
Slika 4.1.5. Tipovi regresionog modela na osnovu dijagrama rasipanja

Što se tiče izbora regresionog modela, na osnovu dijagrama rasipanja postoje sledeći regresioni modeli :

- model pozitivne linearne relacije,
- model negativne linearne relacije,
- model nelinearne relacije,
- model bez relacije – postoji mogućnost da je dijagram rasipanja tačaka tako formiran da nije moguće odrediti relaciju, pa ne postoji regresioni model za dati skup.

Tipovi izbora regresione relacije na osnovu dijagrama rasipanja može se videti na slici 4.1.5.

Regresioni modeli, se na osnovu broja nezavisnih promenljivih i prema prirodi zavisnosti između x i y mogu podeliti na: proste i višestruke regresione modele. Svaki od tih modela mogu biti linearni i nelinearni. Na slici 4.1.6. prikazana je podela regresionih modela.



Slika 4.1.6. Podela regresionih modela

4.1.4. OCENJIVANJE REGRESIONIH KOEFICIJENATA. FITOVANJE PODATAKA METODOM NAJMANJIH KVADRATA

Pod ocenjivanjem regresionih koeficijenata podrazumeva se određivanje njihovih aproksimativnih vrednosti tako da regresiona jednačina (4.2) predstavlja što bolju aproksimaciju regresione funkcije (4.1). Postoje različite metode procenjivanja parametara, a najčešće se koriste: metoda najmanjih kvadrata, metoda momenata i metoda najveće verodostojnosti.

U cilju određivanja funkcija koje opisuju podatke, jedna od najboljih metoda fitovanja podataka uopštenog regresionog modela je metoda najmanjih kvadrata (*LSM-Least Squares Method*). Princip najmanjih kvadrata je formulisao Ležandr (*Legendre*): najverovatnija vrednost bilo koje veličine, koju određujemo na bazi ponovljenih merenja, jeste ona za koju je suma kvadrata odstupanja merenja od te vrednosti najmanja [85].

Ako metodu najmanjih kvadrata direktno primenimo na empirijsku formulu sa više parametara, dobijenu kao regresioni model, dobijamo sledeće:

Kao mera odstupanja odabrane empirijske formule sa ukupno $(k+1)$ parametara b_0, b_1, \dots, b_k :

$$y = \hat{f}(x, b_0, b_1, \dots, b_k) = \hat{f}(x, \mathbf{b}) \quad (4.5)$$

od n eksperimentalnih tačaka $(k+1 < n)$, pogodno je uzeti sumu kvadrata odstupanja:

$$S(\mathbf{b}) = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{f}(x_i, \mathbf{b})]^2 \quad (4.6)$$

\mathbf{b} - vektor parametara, $\mathbf{b} = [b_i]$, $i = 0, 1, \dots, k$.

Prema metodi najmanjih kvadrata najbolje (optimalne) vrednosti parametara b_0, b_1, \dots, b_k u odabranjoj empirijskoj formuli (4.3) su one za koje suma kvadrata odstupanja

$$S(\mathbf{b}) = \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{f}(x_i, \mathbf{b})]^2 \quad (4.7)$$

ima minimum: (x_k, y_k) . Nepoznati parametri dobijaju se iz uslova:

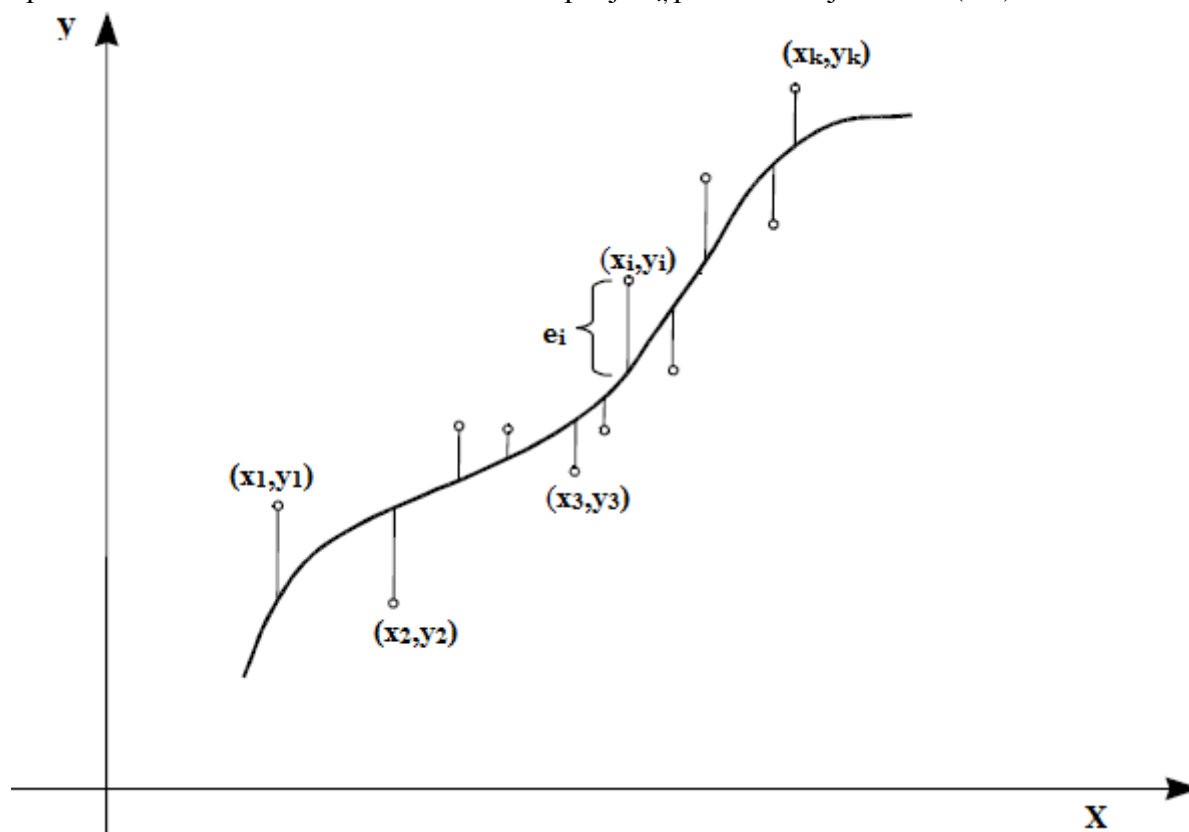
$$\frac{\partial S(\mathbf{b})}{\partial b_j} = 0 \quad (4.8)$$

odnosno:

$$\frac{\partial S(\mathbf{b})}{\partial b_j} = -2 \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{f}(x_i, b_0, b_1, \dots, b_k)] \frac{\partial \hat{f}(x_i, b_0, b_1, \dots, b_k)}{\partial b_j} = 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, k \quad (4.9)$$

Sistem jednačina (4.9) je u opštem slučaju nelinearan. U slučaju postojanja više rešenja posmatranog sistema, tj. više lokalnih minimuma funkcije $S(b_0, b_1, \dots, b_k)$, bira se ono rešenje koje daje najmanju vrednost minimuma – globalni minimum.

Geometrijski interpretirano, biraju se tako vrednosti parametara, da se kriva „provlači“ što bliže eksperimentalnim tačkama (slika 4.1.7), pri čemu je mera odstupanja krive od eksperimentalnih tačaka suma kvadrata odstupanja e_i , prikazana u jednačini (4.6).



Slika 4.1.7. Grafička interpretacija fitovanja podataka, metodom najmanjih kvadrata, koji imaju nelinearnu zavisnost

Kao mera kvaliteta fitovanja eksperimentalnih podataka, u statističkoj analizi se koristi srednja kvadratna greška (*MSE-Mean Square Error*) formule od eksperimentalnih vrednosti, definisano kao:

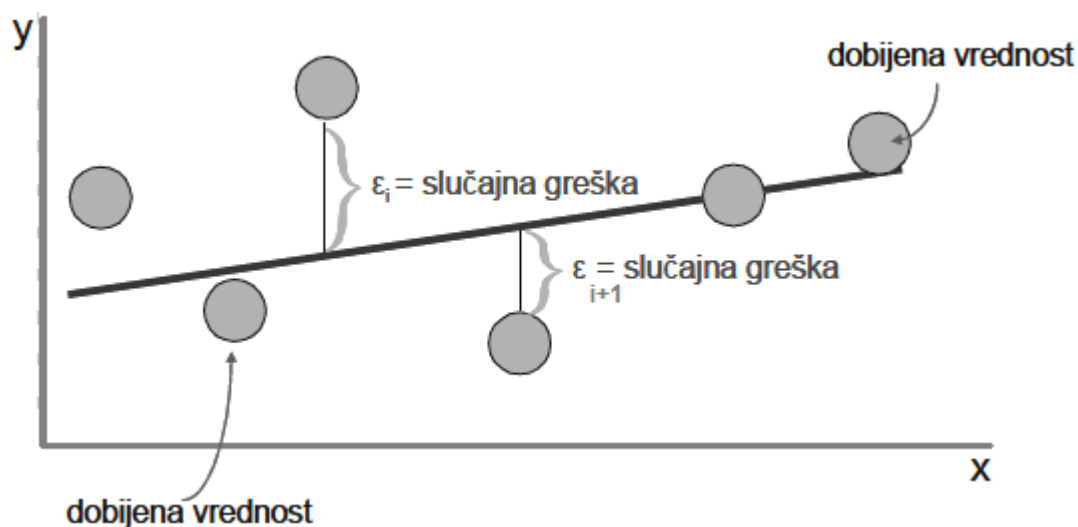
$$MSE = s = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n - (k + 1)} = \frac{\sum_{i=1}^n [y_i - \hat{f}(x_i, b)]^2}{n - (k + 1)} \quad (4.10)$$

Veličina u imeniocu, koja predstavlja razliku broja eksperimentalnih tačaka i ukupnog broja parametara u formuli, u statistici se naziva broj stepeni slobode. Ukoliko je s manje, utoliko neka empirijska formula bolje fituje eksperimentalne podatke, pa se ona koristi pri poređenju različitih empirijskih jednačina za iste eksperimentalne podatke.

Ako podaci koje je potrebno fitovati imaju linearnu zavisnost, tj. da postoji prosti linearni regresioni model za date podatke koji se izražava jednačinom prave, koja glasi:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad (4.11)$$

gde su y – zavisna varijabla, x – nezavisna varijabla, a ε – slučajna greška, koja predstavlja razliku između eksperimentalno dobijene vrednosti y i vrednosti y , izračunate iz jednačine prave.



Slika 4.1.8. Populacioni linearni regresioni model

Primenom metode najmanjih kvadrata možemo odrediti ocenjivanje regresionih koeficijenata β_j , $j = 0, 1, \dots, k$, tj. odrediti njihove približne vrednosti: b_j , $j = 0, 1, \dots, k$, tako da regresiona jednačina

$$f(x) = b_1 x + b_0 \quad (4.12)$$

predstavlja što bolju aproksimaciju regresione funkcije $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i$

U regresionoj jednačini (4.12) koeficijente b_0 i b_1 , radi lakšeg raspoznavanja predstavimo kao koeficijente a i b tako da će regresiona jednačina glasiti .

$$f(x) = a + bx \quad (4.13)$$

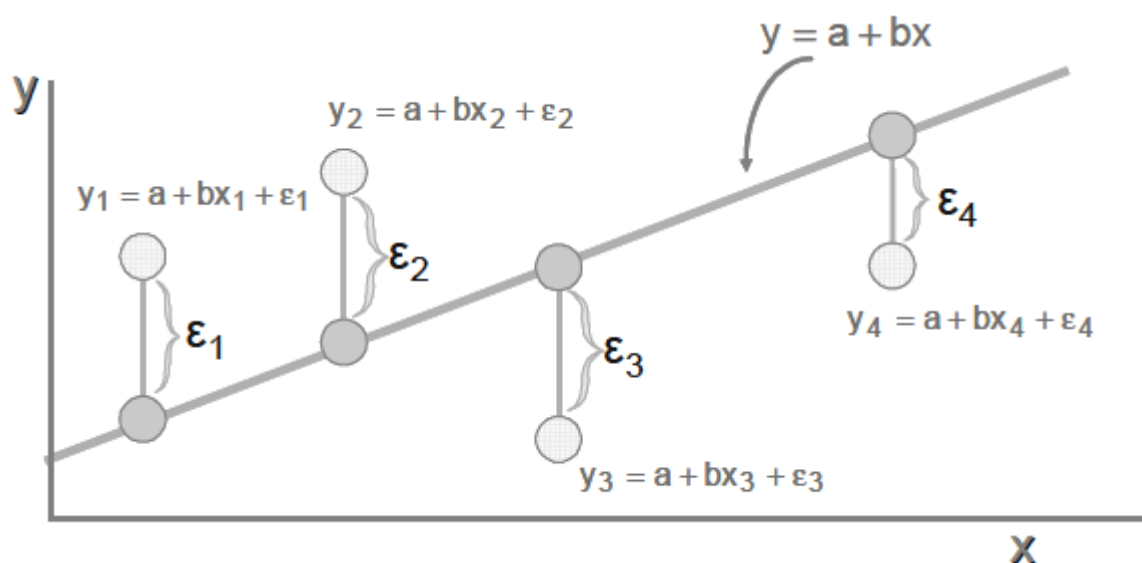
Konstanta a predstavlja vrednost y kada je $x = 0$ (vrednost u kojoj prava linija seče y -osu kada je $x = 0$) i naziva se odsečak na y -osi, a služi za procenu populacionog parametra β_0 .

Koeficijent regresije b pokazuje koliko se linearno menja vrednost zavisne varijable y ako se nezavisna varijabla x promeni (poveća ili smanji) za jedinicu mere. Koeficijent b služi za procenu populacionog koeficijenta regresije β_1 . Ovaj koeficijent ima pozitivan znak kada se sa povećanjem x povećava y (zavisnost između x i y je upravo proporcionalna), a negativan kada se sa povećanjem x smanjuje y (obrnuto proporcionalna zavisnost). Ako su obe promenljive izražene u istim dimenzijama, b predstavlja tangens ugla α koji prava linija zaklapa sa x -osom.

Metodom najmanjih kvadrata iz datih tačaka izračuna se linearna jednačina koja se bazira na tome da se minimizuje suma kvadratnih razlika:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_4^2 + \dots + \varepsilon_n^2 \quad (4.14)$$

između dobijenih i izračunatih vrednosti y . Suština je u tome da se kroz grupu tačaka može da povuče više pravih linija, a „najbolja“ je ona kod koje je zbir kvadrata odstupanja tačaka od regresione prave najmanji mogući (slika 4.1.9).



Slika 4.1.9. Metoda najmanjih kvadrata – grafički prikaz

Prava linija koja se prema kriterijumu najmanjih kvadrata najbolje uklapa u grupu tačaka naziva se regresiona linija, a jednačina koja je definiše naziva se regresiona jednačina. Regresiona jednačinama sledeće osobine:

- razlika između stvarne vrednosti y i izračunate vrednosti y je najmanja moguća,
- iz srednje vrednosti x možemo da izračunamo srednju vrednost y ,

- kada x odstupa od srednje vrednosti, možemo da očekujemo i da y odstupa od svoje srednje vrednosti.

-iz regresione jednačine može da se izračuna očekivana vrednost y iz date vrednosti x , odnosno regresiona jednačina može da se koristi za „predviđanje“ vrednosti y .

Koeficijenti regresione jednačine izračunavaju se na sledeći način: prema metodi najmanjih kvadrata, kao najverovatniju vrednost za regresionu pravu $f(x) = a + bx$ uzima se ona za koju suma kvadrata odstupanja:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = S(a, b) = \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)]^2 \quad (4.15)$$

ima minimum. Dobija se iz uslova minimuma funkcije $S(a, b)$:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)] = 0 \quad (4.16)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)] x_i = 0 \quad (4.17)$$

Na osnovu prethodnih jednačina (4.16) i (4.17) dobija se sistem jednačina:

$$na + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.18)$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (4.19)$$

Kada izraze (4.16) i (4.17) sredimo, koeficijenti a i b dobijaju vrednost:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \frac{\bar{y} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \bar{x} \sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} \quad (4.20)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i y_i \right) - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} \quad (4.21)$$

gde su $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ i $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$ aritmetičke sredine.

4.1.5. TESTIRANJE ZNAČAJNOSTI REGRESIONE VEZE

Da bi primena regresione linije uzorka pri predviđanju vrednosti zavisne promenljive y bila opravdana, neophodno je prethodno ispitati da li uopšte postoji linearno slaganje između varijacija posmatrane dve promenljive u osnovnom skupu.

Prilikom testiranja hipoteze o regresionom parametru β_1 , testiramo nultu i alternativnu hipotezu :

- **H0: $\beta_1 = 0$** – parametar $\beta_1=0$ što je ekvivalentno hipotezi da između varijacija posmatranih pojava ne postoji linearna veza, odnosno promenljiva x ne utiče na promenljivu y
- **H1: $\beta_1 \neq 0$** – parametar $\beta_1 \neq 0$ što je ekvivalentno hipotezi da između varijacija posmatranih pojava postoji linearna veza, odnosno promenljiva x utiče na promenljivu y

Ukoliko je potvrđena alternativna hipoteza, potrebno je izračunati standardnu grešku odstupanja od regresione prave:

$$S_{x,y} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2 - a \sum_{i=1}^n y_i^2 - b \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n-2}} \quad (4.22)$$

gde je:

$\sum (y_i - \hat{y})^2$ – suma kvadrata odstupanja dobijenih vrednosti y od izračunatih vrednosti \hat{y}

$n - 2$ – broj stepena slobode (n se umanjuje za dva zato što su a i b izračunati iz istih podataka).

Jaka linearna zavisnost između promenljivih x i y znači da su tačke vrlo blizu prave linije. Samim tim je suma kvadrata odstupanja dobijenih vrednosti y od izračunatih vrednosti \hat{y} mala, odnosno mala je i standardna greška $S_{y,x}$. I obrnuto, kada je linearna zavisnost između promenljivih x i y slaba, tačke su rasute oko prave, pa je suma kvadrata odstupanja tačaka od prave velika. To znači da je velika standardna greška $S_{y,x}$.

Razlika između dobijenih vrednosti y i izračunatih vrednosti \hat{y} naziva se ostatak (*rezidua*), a pošto je standardna greška $S_{y,x}$ mera za veličinu ovih ostataka, njen drugi naziv je rezidualna standardna devijacija.

4.1.6. PROSTA LINEARNA KORELACIJA

Cilj korelacione analize je da se utvrdi da li između varijacija posmatranih pojava postoji kvantitativno slaganje (korelaciona veza) i ako postoji u kom stepenu. Ako se posmatraju dve pojave reč je o prostoj korelaciji, a ako je reč o više pojava onda o višestrukoj korelaciji. Takođe moguće je ispitati da li je reč o linearnoj ili krivolinijskoj vezi. U ovom odeljku biće reči samo o prostoj linearnoj korelaciji.

Za razliku od regresione analize u korelacionoj analizi se obe posmatrane pojave tretiraju kao slučajne promenljive. Ovde nema razlike između zavisne i nezavisne promenljive. Svejedno je koja će se pojava označiti sa x , a koja sa y , jer će se dobiti identični rezultati.

Zadatak proste linearne korelacije jeste da pokaže da između varijacija dve pojave postoji prosta pravolinijska veza.

Jačinu zavisnosti među podacima opisujemo pomoću: koeficijenta determinacije, koeficijenta korelacije i njegove značajnosti.

Koeficijent determinacije

U korelacionoj analizi postoji više varijacija, čija veličina određuje značaj regresione jednačine za predviđanje, a izražavaju se odgovarajućim sumama kvadrata odstupanja:

1. Ukupna suma kvadrata (SK_T) – mera odstupanja dobijenih vrednosti y od srednje vrednosti \bar{y} :

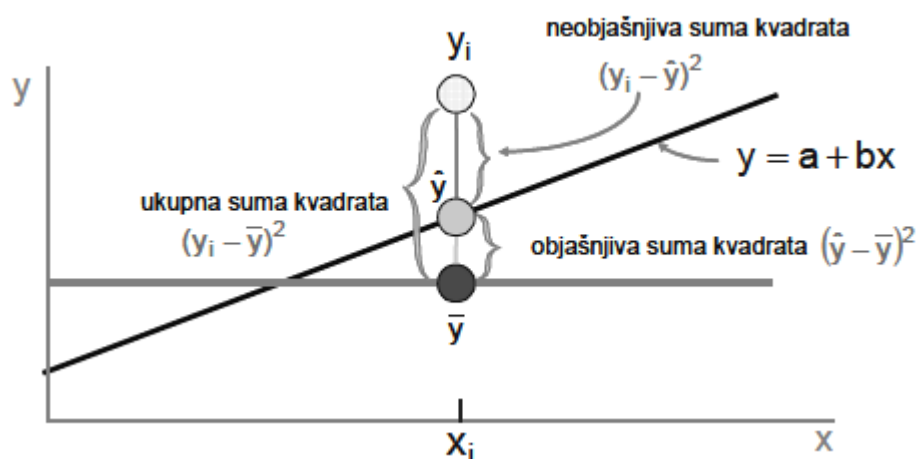
$$SK_T = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (4.23)$$

2. Suma kvadrata za koju postoji objašnjenje (objašnjiva suma kvadrata, SK_R) – mera odstupanja izračunatih vrednosti \hat{y} od srednje vrednosti \bar{y} , koja je vezana za relaciju između x i y :

$$SK_R = \sum_{i=1}^n (\hat{y} - \bar{y})^2 \quad (4.24)$$

3. Suma kvadrata za koju ne postoji objašnjenje (neobjašnjiva suma kvadrata, SK_E) – mera odstupanja dobijenih vrednosti y od izračunatih vrednosti \hat{y} koja u suštini predstavlja grešku

$$SK_E = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 \quad (4.25)$$



Slika 4.1.10. Koeficijent determinacije

Ukupna suma kvadrata (SK_T) jednaka je zbiru objašnjive (SK_R) i neobjašnjive sume kvadrata (SK_E). Odnos objašnjive i ukupne sume kvadrata je koeficijent determinacije, koji se obeležava sa r^2 :

$$r^2 = \frac{SK_R}{SK_T} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = \frac{a \sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - n\bar{y}^2} \quad (4.26)$$

Kada tačke leže na pravoj, nema neobjašnjive varijacije, pa je ukupna varijacija jednaka objašnjivoj varijaciji ($SK_T = SK_R$) i koeficijent determinacije je jednak 1. Kada su tačke rasute oko prave, postoji neobjašnjiva varijacija, pa je ukupna varijacija veća od objašnjive ($SK_T > SK_R$) i koeficijent determinacije je manji od 1. Prema tome, vrednosti koeficijenta determinacije se kreću od 0 (između varijabli x i y nema linearne zavisnosti) do 1 (između varijabli x i y postoji apsolutna linearna zavisnost). Koeficijent determinacije pokazuje koji deo varijacije u varijabli y potiče (ili je u vezi, odnosno prati) od varijacije u varijabli x i može da se izrazi i u procentima. Na primer, ako je $r^2 = 0,8$, to znači da 80% varijacije u varijabli y potiče od varijacije u varijabli x .

Koeficijent korelacije

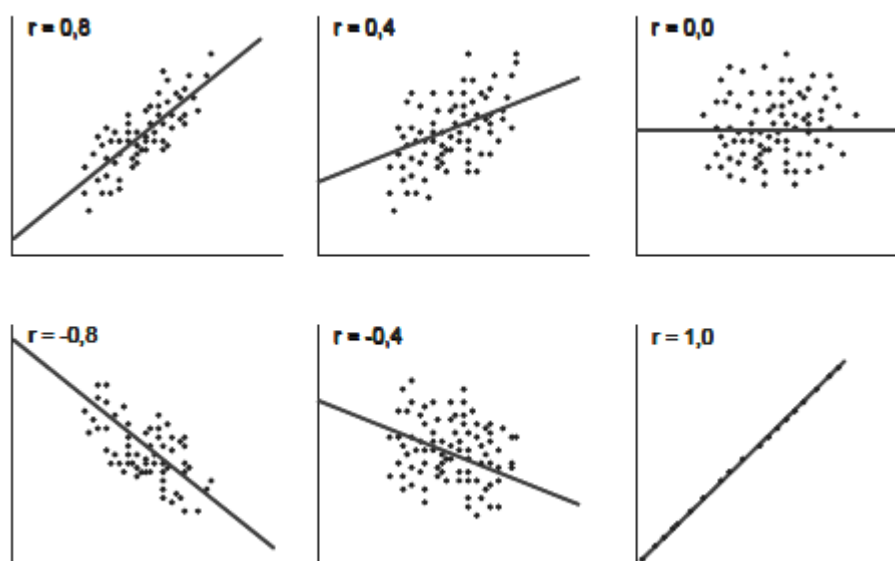
Vrsta koeficijenta korelacije zavisi od linearnosti veze između podataka. Najčešće se koriste Pirsonov (*Pearson*)² i Spearman (*Spearmanov*) koeficijent korelacije.

Za razliku od Pirsonovog koeficijenta korelacije koji podrazumeva linearnu povezanost, za Spearmanov koeficijent korelacije to nije uslov, a može se računati i na manjim uzorcima ($n < 35$). U slučaju dobijene nulte vrednosti može se zaključiti da povezanosti među varijablama x i y zaista nema.

Pirsonovim koeficijentom korelacije meri se stepen linearne zavisnosti između dve varijable. Vrlo često se naziva i populacionim koeficijentom korelacije i označava sa ρ , a njegova vrednost se procenjuje izračunavanjem koeficijenta korelacije uzorka, koji se označava malim slovom r .

Pozitivna vrednost r pokazuje da su promenljive x i y u pozitivnoj linearnoj korelaciji, što znači da se y linearno povećava kako se povećava x , i obrnuto – negativna vrednost r pokazuje da su promenljive x i y u negativnoj linearnoj korelaciji, odnosno da se y linearno smanjuje sa povećanjem x . Koeficijent korelacije r ima isti znak kao i nagib b u regresionoj jednačini (4.13).

2 Karl Pearson (1857-1936) je jedan od retkih statističara njegovog doba. Pearson se bavio biometrikom i primenjenom matematikom. Definisao je normalnu krivu i standardnu devijaciju. Autor je izvanredne rasprave „Naučni aspekti ruleta Monte Karlo“. Danas je poznat po Pearsonovoj krivoj, metodi momenta i korelaciji.



Slika 4.1.11. Modeli linearne zavisnosti na osnovu vrednosti koeficijenta korelacije

Kod izračunavanja koeficijenta korelacije r treba imati na umu da njegova visoka vrednost ne mora obavezno da znači da su promenljive x i y u uzročno-posledičnoj vezi. Može da se desi su ove promenljive u uzročno-posledičnoj vezi sa nekom trećom promenljivom, pa su na taj način i same u korelaciji. Na primer, ako se posmatra povećanje cena hleba i povećanje ličnih dohodaka, u nekom periodu može se dobiti vrlo visok stepen linearne korelacije, iako ove dve veličine nisu u zavisnosti. Visok koeficijent korelacije r u ovom primeru može biti posledica nekog trećeg faktora sa kojim su ove dve promenljive u zavisnosti, kao što je na primer, inflacija koja uslovljava da i cene hleba i lični dohoci simultano rastu.

Analitičko izvođenje koeficijenta korelacije je predstavljeno preko varijansi σ_x^2 , σ_y^2 koje predstavljaju srednji kvadrat odstupanja od osnovne linije i kovarijanse $cov(x, y)$. Kovarijansa ($cov(x, y)$) daje meru jačine korelacije između dva ili više skupova slučajnih promenljivih. Kovarijansa i varijanse za dve slučajne promenljive x i y , čiji je broj uzoraka n , definiše se kao:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4.27)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (4.28)$$

$$cov(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (4.29)$$

Formula za kovarijansu može se zapisati i u sledećim oblicima:

$$cov(X, Y) = \langle (X - \mu_x)(Y - \mu_y) \rangle = \langle XY \rangle - \mu_x \mu_y \quad (4.30)$$

Gde su $\mu_x = \langle X \rangle$ i $\mu_y = \langle Y \rangle$ srednje vrednosti, tj. mogu biti aritmetičke, geometrijske, harmonijske, ili aritmetičko-geometrijske sredine.

$$\text{cov}(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (4.31)$$

Ako je kovarijansa 0, između promjenljivih ne postoji linearna veza. Ako su promjenljive povezane na neki način, onda je njihova kovarijansa različita od nule. Ako je $\text{cov}(x, y) > 0$, onda y teži da se menja u skladu sa x i tada postoji direktna linearna povezanost. U suprotnom, kada je $\text{cov}(x, y) < 0$, tada y teži da se smanji kada x raste i obratno, i tada postoji negativna ili inverzna linearna povezanost.

Kovarijansa ne uzima u obzir različite stepene promjenljivosti pojedinačnih promjenljivih i ne registruje merenje promjenljivih u različitim jedinicama. Da bi se omogućila poređenja, kovarijansa se mora skalirati tako da daje iste numeričke vrednosti za isti stepen povezanosti dve promjenljive, bez obzira na red veličine promjenljivih i nezavisno od jedinica mere. Uobičajeno je da se to postigne deljenjem kovarijanse proizvodom standardnih devijacija promjenljivih. Tako dobijena vrednost naziva se koeficijent korelacije, i definiše se sa:

$$r = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (4.32)$$

Koeficijentom korelacije r meri se stepen linearne zavisnosti između dve promjenljive. Njegove vrednosti se kreću od -1 (kada postoji potpuna negativna ili inverzna korelacija) do +1 (kada se radi o potpunoj pozitivnoj ili direktnoj korelaciji). Vrednost $r=0$ ukazuje na odsustvo zavisnosti. Međutim, važno je napomenuti da vrednost koeficijenta korelacije 0 ne znači obavezno odsustvo svake korelacije između dve promjenljive, jer veza između njih može biti i nelinearna. Ipak, što se tiče veličine koeficijenta korelacije, važi pravilo: što je vrednost koeficijenta proste linearne korelacije po apsolutnoj vrednosti bliža jedinici, to je zavisnost među posmatranim pojavama jača. Koeficijent korelacije nikada nema vrednosti 1 ili -1, jer to bi značilo da između pojava postoji matematička, a ne statistička veza.

Skala za tumačenje koeficijenta korelacije:

1. $|r| < 0,3$ korelacija je zanemarljiva
2. $0,3 < |r| < 0,7$ srednja korelacija
3. $|r| > 0,7$ jaka korelacija

Za razliku od kovarijanse, koeficijent korelacije se ne izražava u jedinicama neke mere.

Testiranje značajnosti ocene koeficijenta proste linearne korelacije na osnovnom skupu ρ , na osnovu njegove ocene slučajnog uzorka r , zasniva se na pretpostavci o normalnoj raspodeli za promjenljive x i y . Testiranje vršimo na osnovu sledećih hipoteza:

- Nulta hipoteza $H_0: \rho = 0$ (u osnovnom skupu ne postoji linearna korelacija između dve promjenljive)
- Alternativna hipoteza $H_1: \rho \neq 0$ (u osnovnom skupu postoji linearna korelacija između dve promjenljive)

Prilikom testiranja koristimo Studentovu t raspodelu verovatnoća sa $(n - 2)$ stepena slobode i poredimo je sa statističkom veličinom koju dobijemo iz izraza:

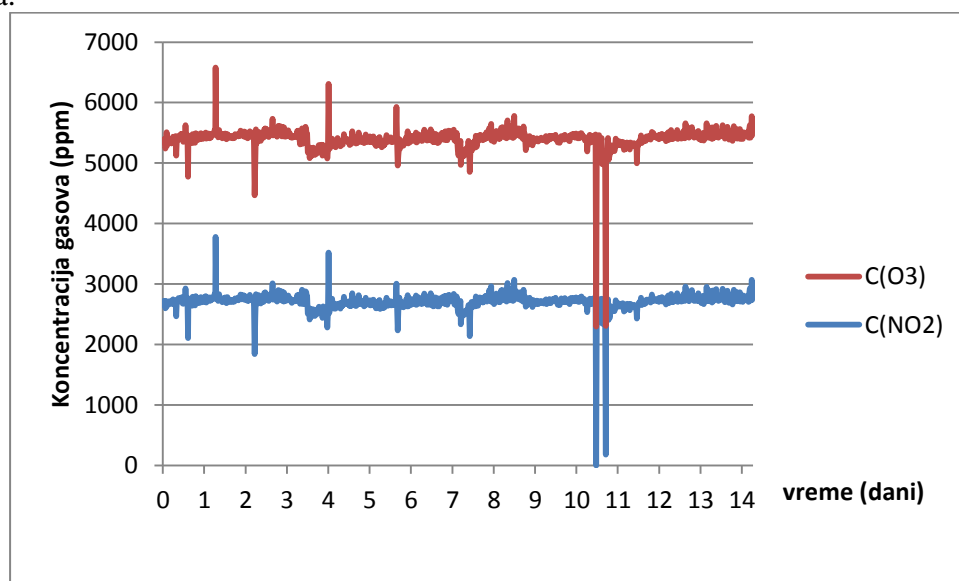
$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (4.33)$$

Ukoliko je nulta hipoteza ispravna (r je jednako nuli), izračunata vrednost t biće manja od tablične za izabrani nivo verovatnoće i broj stepena slobode $\varphi = n - 2$, što znači da između promenljivih x i y ne postoji značajna linearna korelacija. Ako je izračunata vrednost t veća od tabelarne za navedene kriterijume, prihvata se alternativna hipoteza (r različito od nule) i zaključak je da između promenljivih x i y postoji značajna linearna korelacija.

4.2. ISPITIVANJE MEĐUSOBNE ZAVISNOSTI IZMERENIH KONCENTRACIJA CO I NO₂ PRIMENOM METODA MATEMATIČKE STATISTIKE

U ovom odeljku je prikazana analiza dobijenih podataka, koji predstavljaju koncentracije gasova dobijenih sa mernih stanica. Koncentracije gasova su predstavljene grafički preko svojih vrednosti u funkciji vremena i označene sa „ $C(x)$ “, gde x predstavlja oznaku gasa. Vrednosti koncentracija gasova su predstavljani preko jedinica mg/m^3 i ppm.

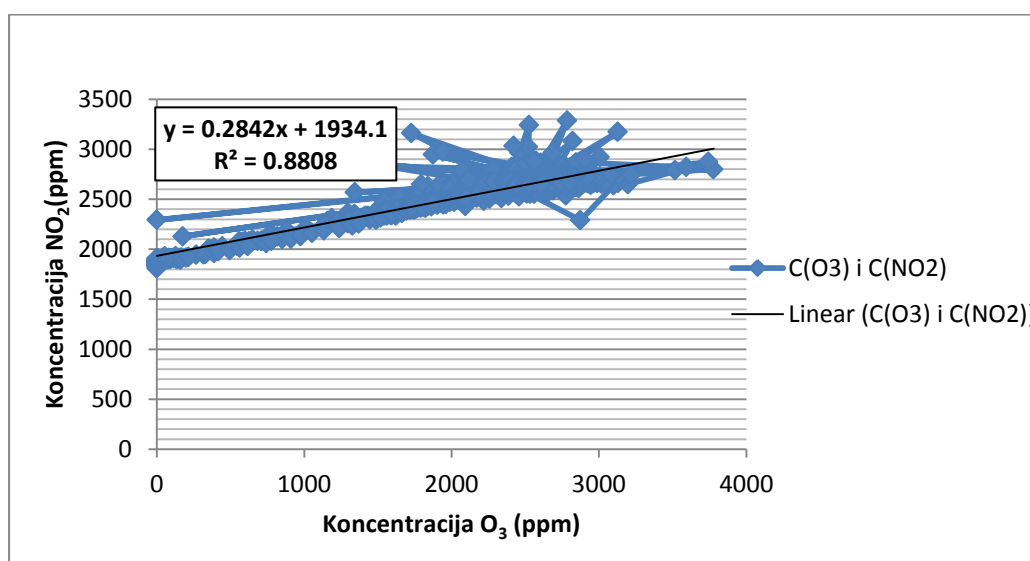
Prilikom pregleda ostvarenih rezultata i relevantnih istraživanja u radu [25] uočena je korelacija u urbanim sredinama između koncentracija O₃ i NO₂. Na osnovu podataka dobijenih sa mobilne merne stanice u Pančevu tokom perioda od 10.01. do 24.01.2013.god. nacrtan je grafik koncentracija O₃ i NO₂. Grafik može da se vidi na slici 4.2.1. Podaci su uzimani na svaki sat vremena.



Slika 4.2.1. Grafik izmerenih vrednosti koncentracija O₃ i NO₂ sa mobilne merne stanice u Pančevu tokom perioda od 10.01. do 24.01.2013.god.

Da bi se dokazala korelacija konstruisan je dijagram rasipanja. Na slici 4.2.2. pored dijagrama rasipanja može se videti linearni rastući regresioni model koji predstavlja prava, čiji je

oblik dat izrazom: $y=0,284x + 1934$. Koeficijent korelacije u ovom slučaju iznosi $r= 0,93$, čime se potvrđuje jaka korelaciona veza između koncentracija O_3 i NO_2 .



Slika 4.2.2. Dijagram rasipanja, regresioni model i koeficijent korelacije koncentracija O_3 i NO_2 . Podaci sa stacionarne merne stanice u Pančevu tokom perioda od 10.01. do 24.01.2013.god.

U dosadašnjem pregledu rezultata relevantnih istraživanja nije nađen rad koji se bavi korelacijom između koncentracije CO i NO_2 . U nastavku ovog odeljka prikazana je analiza koncentracije gasova CO i NO_2 koji su dobijeni sa mernih stanica.

Mobilne merne stanice su postavljene na autobuse GSP Pančeva [86], dok su stacionarne merne stanice postavljene na tačno određene raskrsnice u Beogradu i Novom Sadu, gde je velika koncentracija izduvnih gasova iz motornih vozila. Analizirani su podaci koji su prikupljeni na dnevnom, nedeljnom i mesečnom nivou sa sledećih mernih stanica:

- Stacionarna merna stanica S1 BG – dnevni nivo prikupljanja podataka
- Stacionarna merna stanica S2 NS– nedeljni nivo prikupljanja podataka
- Mobilna merna stanica D1 PA – višednevni nivo prikupljanja podataka
- Mobilna merna stanica N1 PA – nedeljni nivo prikupljanja podataka
- Mobilna merna stanica M1 PA – mesečni nivo prikupljanja podataka

Ispitivanje međusobne zavisnosti izmerenih koncentracija CO i NO_2 realizovano je u dva koraka. Prvo je ispitan oblik zavisnosti, pomoću regresione analize. Zatim, ispitana je jačina zavisnosti, koju određuje korelaciona analiza.

➤ Stacionarna merna stanica S1 – dnevni nivo

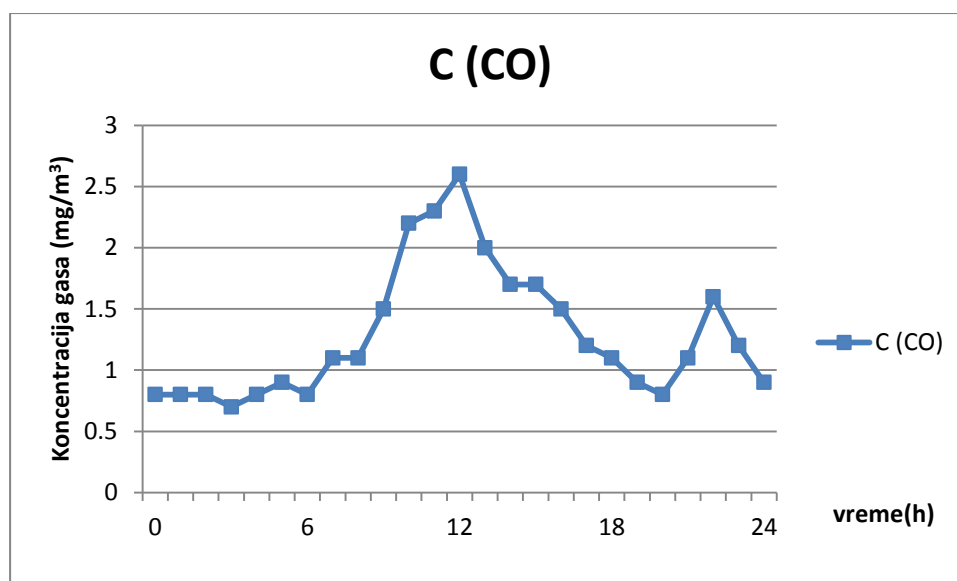
Stacionarna merna stanica postavljena je blizu raskrsnice Slavija u Beogradu da bi prikupili parametre životne sredine tokom marta 2013.god. Podaci su se uzimali na svakih 1h. Analiza ovih podataka predstavljala je početni model za dalja istraživanje. Podaci koji su upisani u bazu podataka obrađivani su u programskom jeziku *Microsoft Excel*.

Tabela 4.1 Statistička analiza koncentracija gasova CO i NO₂ dobijenih sa stacionarne stanice S1

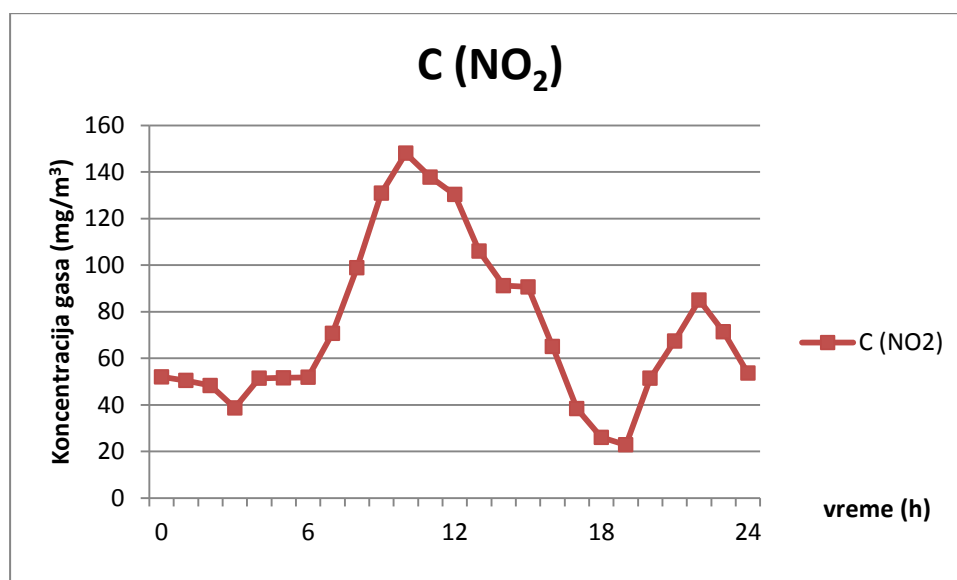
Datum i vreme	Xi=CO [mg/m ³]	Yi =NO ₂ [µg/m ³]	Xi - Xsr	Yi - Ysr	(Xi - Xsr) ²	(Yi - Ysr) ²	(Xi - Xsr) * (Yi - Ysr)
2013-03-03 - 09h	0,8	52,0	-0,484	-21,176	0,234	448,422	10,249
2013-03-03 - 10h	0,8	50,4	-0,484	-22,776	0,234	518,746	11,023
2013-03-03 - 11h	0,8	48,3	-0,484	-24,876	0,234	618,815	12,039
2013-03-03 - 12h	0,7	38,7	-0,584	-34,476	0,341	1188,594	20,133
2013-03-03 - 13h	0,8	51,4	-0,484	-21,776	0,234	474,194	10,539
2013-03-03 - 14h	0,9	51,6	-0,384	-21,576	0,147	465,523	8,285
2013-03-03 - 15h	0,8	51,8	-0,484	-21,376	0,234	456,933	10,345
2013-03-03 - 16h	1,1	70,7	-0,184	-2,4476	0,033	6,130	0,455
2013-03-03 - 17h	1,1	98,9	-0,184	25,724	0,033	661,724	-4,733
2013-03-03 - 18h	1,5	130,9	0,216	57,724	0,046	3332,060	12,468
2013-03-03 - 19h	2,2	148,0	0,916	74,824	0,839	5598,630	68,538
2013-03-03 - 20h	2,3	137,8	1,016	64,624	0,840	4176,261	65,657
2013-03-03 - 21h	2,6	130,3	1,316	57,124	0,173	3263,151	75,175
2013-03-03 - 22h	2,0	106,0	0,716	32,824	0,512	1077,414	23,501
2013-03-03 - 23h	1,7	91,2	0,416	18,024	0,173	324,864	7,497
2013-03-04 - 00h	1,7	90,6	0,416	17,424	0,173	303,595	7,248
2013-03-04 - 01h	1,5	65,0	0,216	-8,176	0,046	66,846	-1,766
2013-03-04 - 02h	1,2	38,3	-0,084	-34,876	0,007	1216,336	2,929
2013-03-04 - 03h	1,1	26,0	-0,184	-47,176	0,033	2225,574	8,680
2013-03-04 - 04h	0,9	22,8	-0,384	-50,376	0,147	2537,741	19,344
2013-03-04 - 05h	0,8	51,4	-0,484	-21,776	0,234	474,194	10,539
2013-03-04 - 06h	1,1	67,4	-0,184	-5,776	0,033	33,362	1,062
2013-03-04 - 07h	1,6	85,0	0,316	11,824	0,099	139,806	3,736
2013-03-04 - 08h	1,2	71,3	-0,084	-1,876	0,007	3,519	0,157
2013-03-04 - 09h	0,9	53,6	-0,384	-19,576	0,147	383,219	7,517
	Xsr=1,28	Ysr=73,17			Σ(Xi - Xsr)²= 6,993	Σ(Yi - Ysr)²= 29995,665	(Xi - Xsr) * (Yi - Ysr)= 390,630
					σx = 0,528	σy = 34,64	cov(x,y) = 15,625
					r = 0,85	b1 = 55,799	b0 = 1,518
					y = 55,799 * x + 1,518		

Izdvojeni su podaci dobijeni za koncentracije gasova CO i NO₂ i statističkom analizom pristupilo se dokazivanju hipoteze o mogućnosti korišćenja jednog senzora sa koga bi se mogle dobiti obe vrednosti koncentracija gasova.

U tabeli 4.1. mogu se videti vreme i datum slanja podataka, izdvojene koncentracije gasova CO i NO₂ i statistička analiza podataka. Na osnovu formula (4.27), (4.28) i (4.29) izračunate su brojne vrednosti varijanse σ_x^2 , σ_y^2 i kovarijansa $cov(x,y)$, gde x i y predstavljaju vrednosti koncentracije gasova CO i NO₂ u mg/m³. Kao krajni rezultat statističke analize predstavljaju regresioni model u vidu linerane prave i koeficijent korelacije.



Slika 4.2.3. Grafik izmerene vrednosti koncentracije gasa CO – uzorci sa stacionarne merne stanice S1 u Beogradu (uzorci mereni svakih sat vremena, tokom 3. i 4. marta 2013.god.)

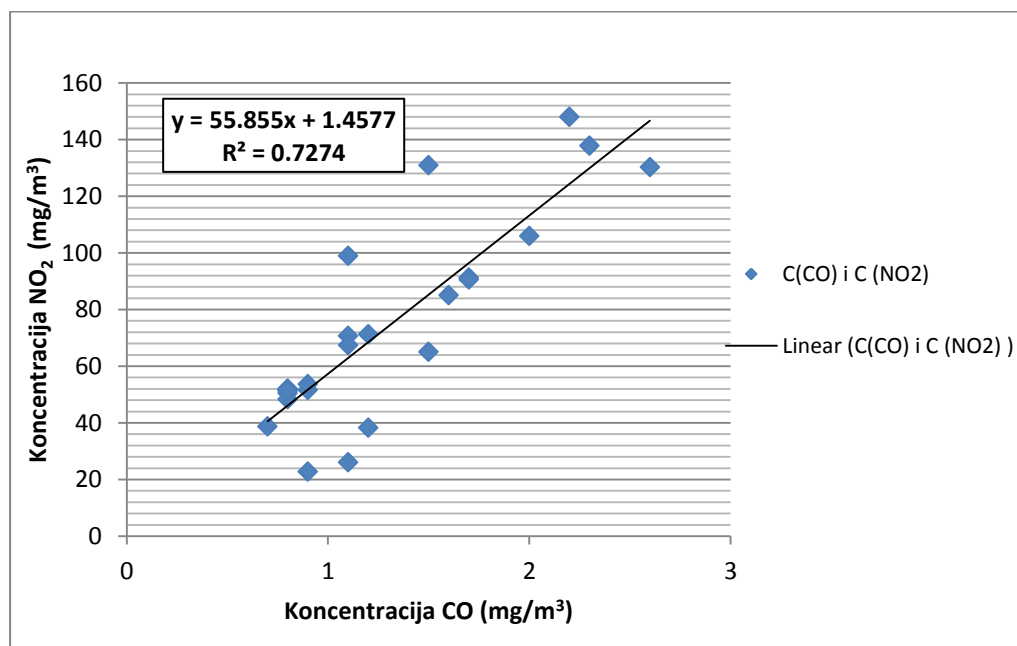


Slika 4.2.4. Grafik izmerene vrednosti koncentracije gasa NO₂ – uzorci sa stacionarne merne stanice S1 u Beogradu (uzorci mereni svakih sat vremena tokom 3. i 4. marta 2013.god.)

Kako bi se potvrdila ova računica, nacrtan je dijagram vrednosti obe koncentracije (slike 4.2.3. i 4.2.4). Očigledno je da prilikom promene vrednosti jedne koncentracije dolazi do promene vrednosti druge koncentracije, te da te dve veličine mogu biti u korelaciji.

Da bi dokazali korelaciju sledeći korak je bio konstrukcija dijagrama rasipanja i određivanje regresionog modela. Dijagram rasipanja je konstruisan u programu *Microsoft Excel* na osnovu dobijenog eksperimentalnog skupa podataka sa merne stanice i prikazuje parove vrednosti koncentracija CO i NO₂ u dvodimenzionalnom Dekartovom koordinatnom sistemu sa odabranim skalama merenja na apscisnoj i ordinatnoj osi. Na apscisnoj osi se nanose vrednosti

koncentracija NO_2 , a na ordinatnoj osi vrednosti koncentracija CO. Na slici 4.2.5. se može videti dijagram rasipanja koncentracija CO i NO_2 .



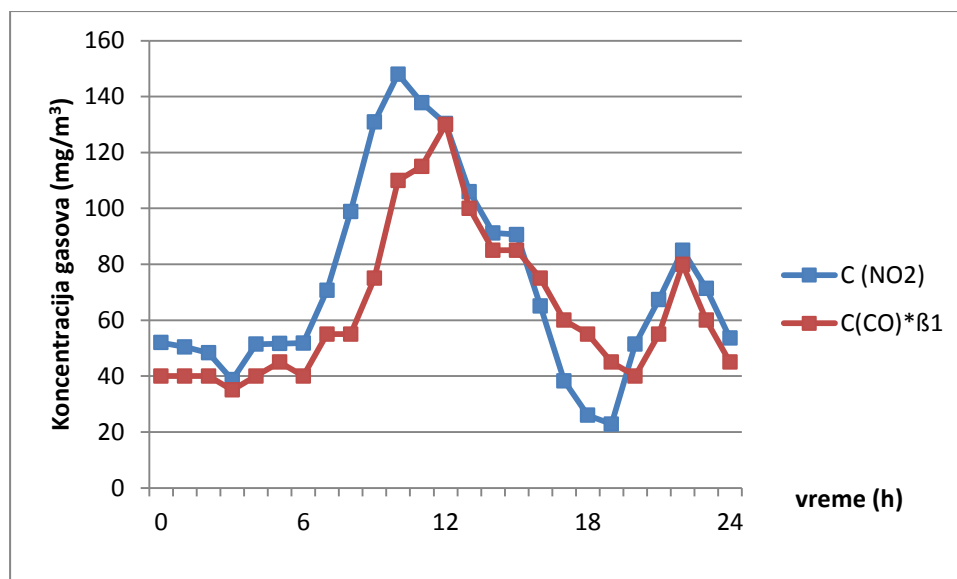
Slika 4.2.5. Dijagram rasipanja, regresioni model i koeficijent korelacije koncentracija CO i NO_2 . Podaci sa stacionarne merne stanice S1, tokom 3. i 4. marta 2013.god.

Na slici 4.2.5. pored dijagrama rasipanja može se videti linearni rastući regresioni model koji predstavlja prava, čiji je oblik dat izrazom:

$$y=55,799x + 1,5181 \quad (4.34)$$

Kako je koeficijent $\beta_1= 55,799 \neq 0$, prema alternativnoj hipotezi, koja govori o testiranju značajnosti regresione veze – jasno se dokazuje linerna zavisnost.

Stepen linearne zavisnosti određen je koeficijentom korelacije i on u ovom slučaju, prema formuli (4.32), iznosi $r=0,85$. Pošto je koeficijent korelacije veći od 0,7, u pitanju je jaka korelaciona veza. Testiranjem značajnosti koeficijenta linearne korelacije (formula (4.33)) dolazimo do zaključka da je nivo sigurnosti 99,9%, tj. verovatnoća greške $P<0,001$. Ovom statističkom analizom je jasno pokazano postojanje korelacije između koncentracija gasova CO i NO_2 .

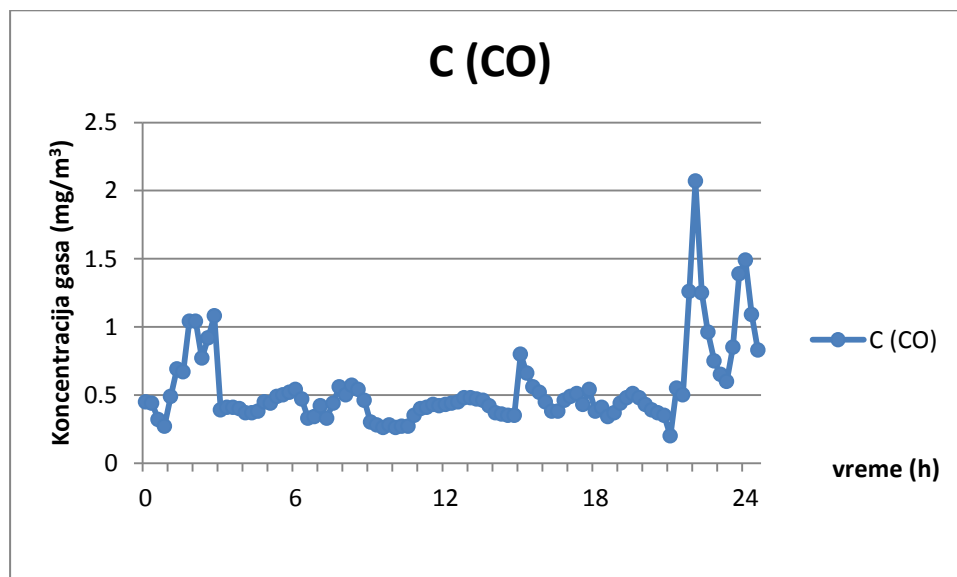


Slika 4.2.6. Grafik procenjene i izmerene vrednosti koncentracije gasa NO_2 – uzorci sa stacionarne merne stanice S1 u Beogradu (uzorci mereni svakih sat vremena, tokom 3. i 4. marta 2013.god.)

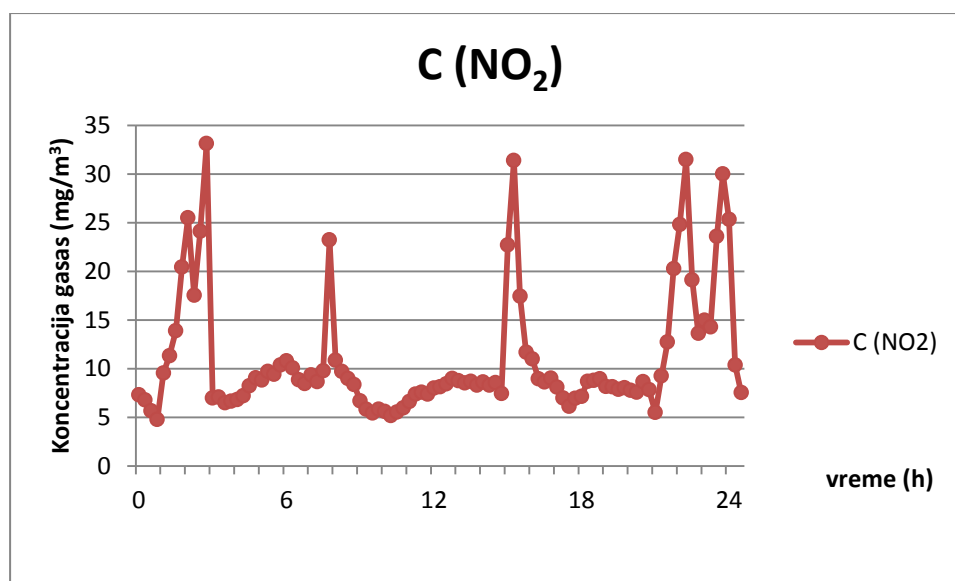
➤ Stacionarna merna stanica S2 NS – nedeljni nivo prikupljanja podataka

Stacionarna merna stanica postavljena je na Bulevaru Europe u Novom Sadu da se izmere određeni parametre životne sredine. Podaci su se uzimali tokom nedelju dana u periodu od 15.03. do 22.03.2013.god, na svakih petnaest minuta.

Na slikama 4.2.7. i 4.2.8. prikazani su uzorci koncentracije CO i NO_2 sa prvih 100 merenja. Na osnovu grafika može se pretpostaviti da postoji moguća korelacije između izmerenih vrednosti.

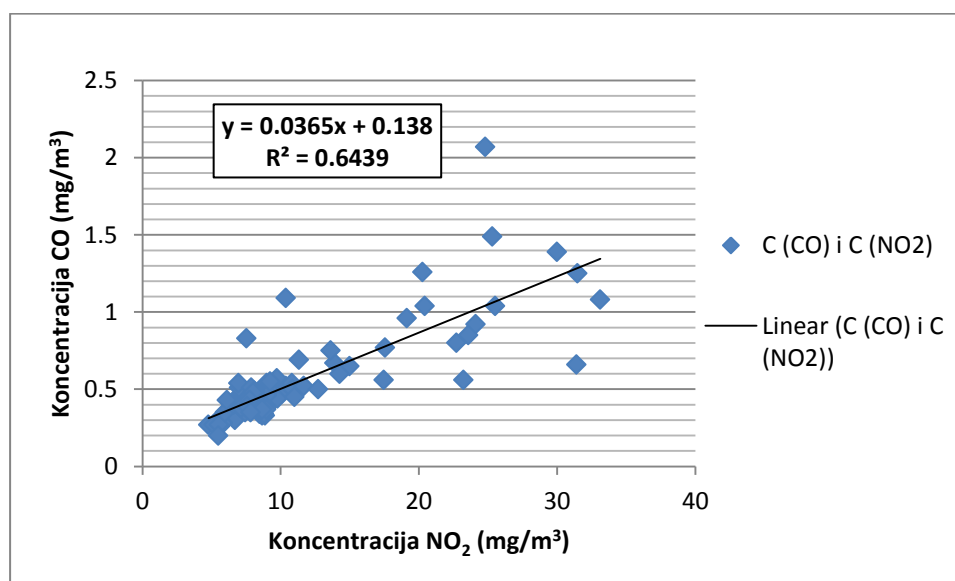


Slika 4.2.7. Grafik izmerene vrednosti koncentracije gasa CO – uzorci sa stacionarne merne stanice S2 u Novom Sadu (uzorci mereni svakih petnaest minuta)



Slika 4.2.8. Grafik izmerene vrednosti koncentracije gasa NO_2 – uzorci sa stacionarne merne stanice S2 u Novom Sadu (uzorci mereni svakih petnaest minuta)

Kako bi se dokazala korelacija konstruisan je dijagram rasipanja korišćenjem izdvojenih uzoraka. Dijagram rasipanja može se videti na slici 4.2.9.



Slika 4.2.9. Dijagram rasipanja, regresioni model i koeficijent korelacije koncentracija CO i NO_2 . Podaci sa stacionarne merne stanice S2, uzorci sa prvih sto merenja

Na osnovu dijagrama rasipanja zaključeno je da se radi o lineranoj i rastućoj zavisnosti eksperimentalnih tačaka. Kad je reč o regresionom modelu, vidi se da je u pitanju pozitivna linearna relacija. Regresiona prava je data izrazom:

$$y=0,0365x+0,138, \quad (4.35)$$

Koeficijent $\beta_1=0,0365\neq 0$ pa je zaključeno da je reč o rastućoj linearnoj zavisnosti. Koeficijent korelacije kojim se određuje stepen linearne zavisnosti u ovom slučaju iznosi:

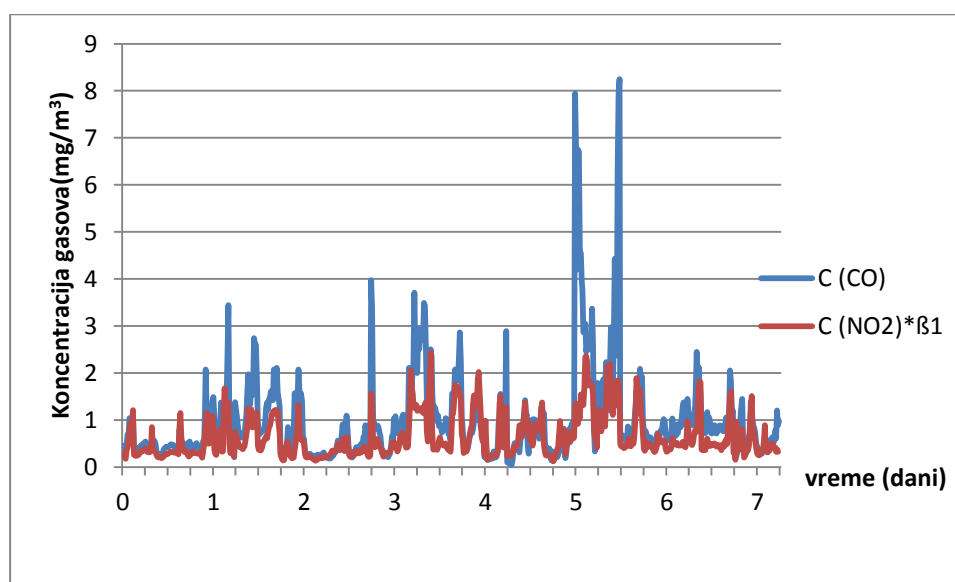
$$r=0,80. \quad (4.36)$$

Pošto je koeficijent korelacije veći od 0,7 u pitanju je jaka korelaciona veza.

Testiranjem značajnosti koeficijent linearne korelacije u ovom slučaju dolazi se do podatka da nivo sigurnosti iznosi 99,9%, tj. verovatnoća greške $P<0,001$.

Dobijena korelaciju na prvih 100 uzoraka iskorišćena je na sledeći način: izvršeno je poređenje procenjene vrednosti i izmerene vrednosti koncentracije CO. Procenjena vrednost koncentracija CO dobijena je množenjem vrednosti koncentracije NO₂ sa vrednosti β_1 koja predstavlja nagib regresione prave.

Na slici 4.2.10. je prikazan grafik procenjene vrednosti $C(\text{NO}_2) \times \beta_1$ i izmerene vrednosti $C(\text{CO})$ koncentracije gasa CO. Uzorci su uzeti tokom celog perioda merenja sa stacionarne merne stanice S2. Jasno se vidi da se procenjene vrednosti i izmerene koncentracije poklapaju tokom celog perioda merenja.

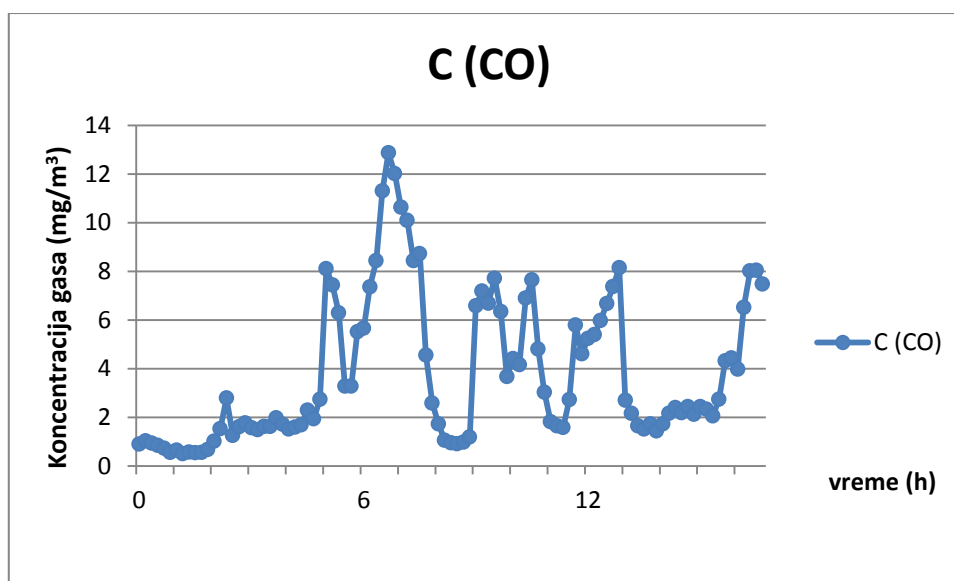


Slika 4.2.10. Grafik procenjene i izmerene vrednosti koncentracije gasa CO – uzorci sa stacionarne merne stanice S2 u Novom Sadu (uzorci mereni svakih petnaest minuta)

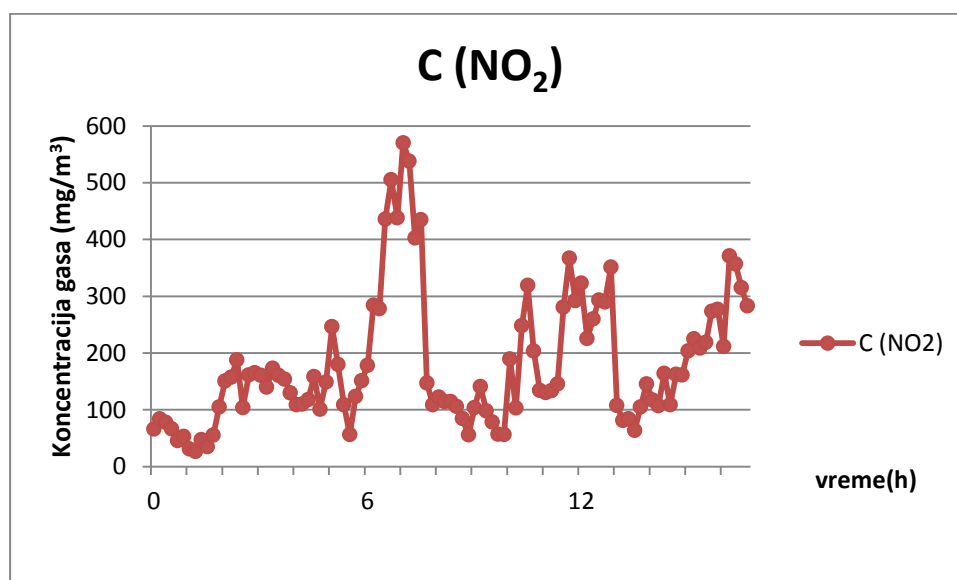
➤ Mobilna merna stanica D1 PA – višednevni nivo prikupljanja podataka

Mobilna merna stanica nalazila se na krovu jednog od gradskih autobusa koji se kretao Pančevom tokom januara 2013. godine. Podaci sa mobilne merne stanice upisivani su u bazu podataka na svakih deset minuta. U ovom slučaju uzet je uzorak pri kome je skupljanje podataka trajalo pet dana od 05.01. do 10.01.2013. godine.

Na slikama 4.2.11 i 4.2.12. prikazani je grafici koncentracija CO i NO₂ na osnovu stotinak izmerenih uzoraka. Na osnovu grafika može se pretpostaviti da postoji korelacija između izmerenih vrednosti.



Slika 4.2.11. Grafik izmerene vrednosti koncentracije gasa CO – uzorci sa mobilne merne stanice D1 u Pančevu (uzorci mereni svakih deset minuta)



Slika 4.2.12. Grafik izmerene vrednosti koncentracije gasa CO – uzorci sa mobilne merne stanice D1 u Pančevu (uzorci mereni svakih deset minuta)

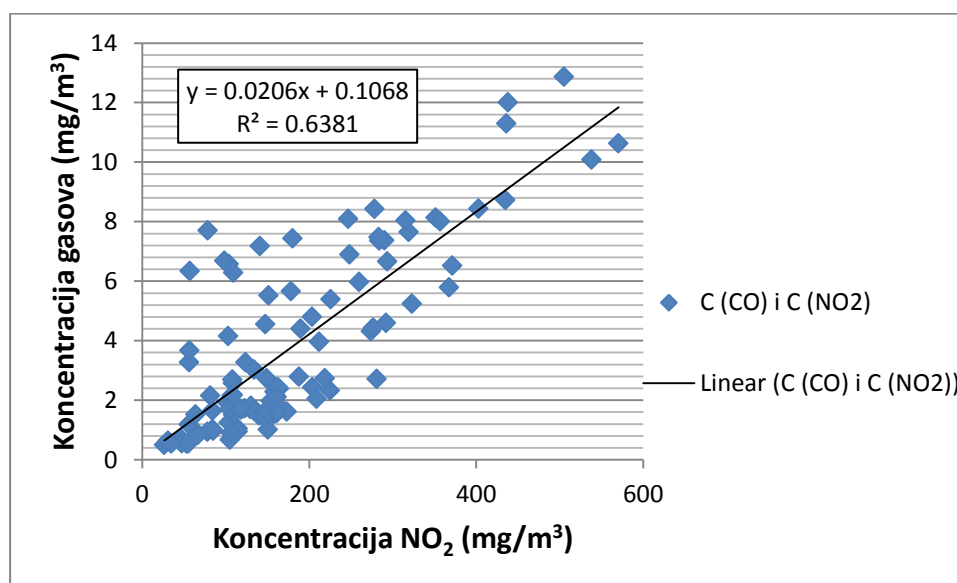
Kako bi se dokazala pretpostavljenu korelacija konstruisan je dijagram rasipanja za izdvojene podatke. Na slici 4.2.13. može se videti da se radi o linearnoj i rastućoj zavisnosti eksperimentalnih tačaka. Regresioni model je opisan pozitivnom linearnom funkcijom. Regresiona prava je data izrazom:

$$y=0,0206x+0,1068 \quad (4.37)$$

Koeficijent $\beta_1=0,0206 \neq 0$ pa je zaključeno da je reč o rastućoj linearnoj relaciji. Koeficijent korelacije kojim se određuje stepen linearne zavisnosti u ovom slučaju iznosi

$$r=0,80. \quad (4.38)$$

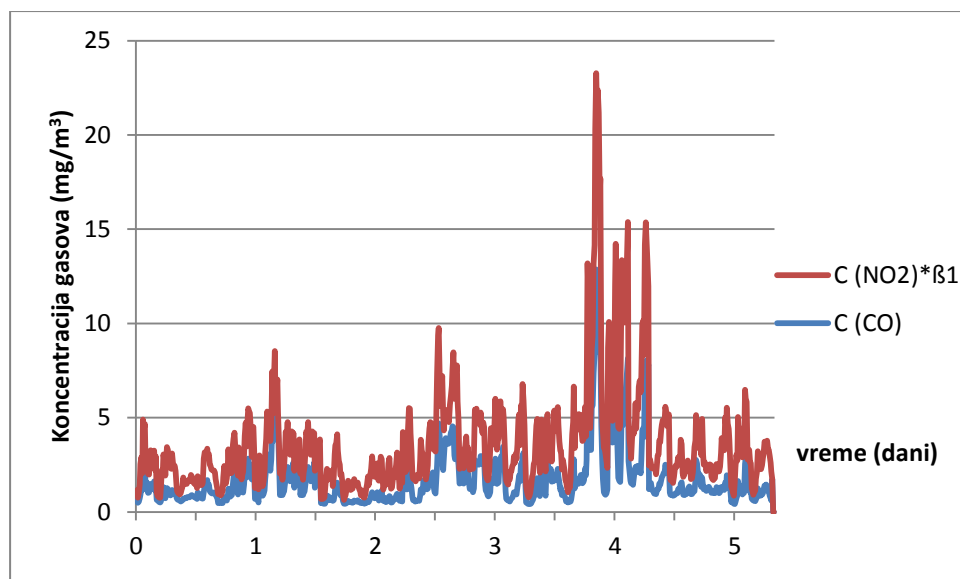
Pošto je koeficijent korelacije veći od 0,7 u pitanju je jaka korelaciona veza. Testiranjem značajnosti koeficijent linearne korelacije u ovom slučaju dolazimo do podatka da nivo sigurnosti iznosi 99,9%, tj. verovatnoća greške $P < 0,001$.



Slika 4.2.13. Dijagram rasipanja, regresioni model i koeficijent korelacije koncentracija CO i NO₂. Podaci sa mobilne merne stanice D1 Pančevo uzorci sa prvih sto merenja

Dobijena korelaciju na izdvojeni uzoraka iskorišćena je na sledeći način: izvršeno je poređenje procenjene vrednosti i izmerene vrednosti koncentracije CO. Procenjena vrednost koncentracija CO dobijena je množenjem vrednosti koncentracije NO₂ sa vrednosti β_1 , koja predstavlja nagib regresione prave.

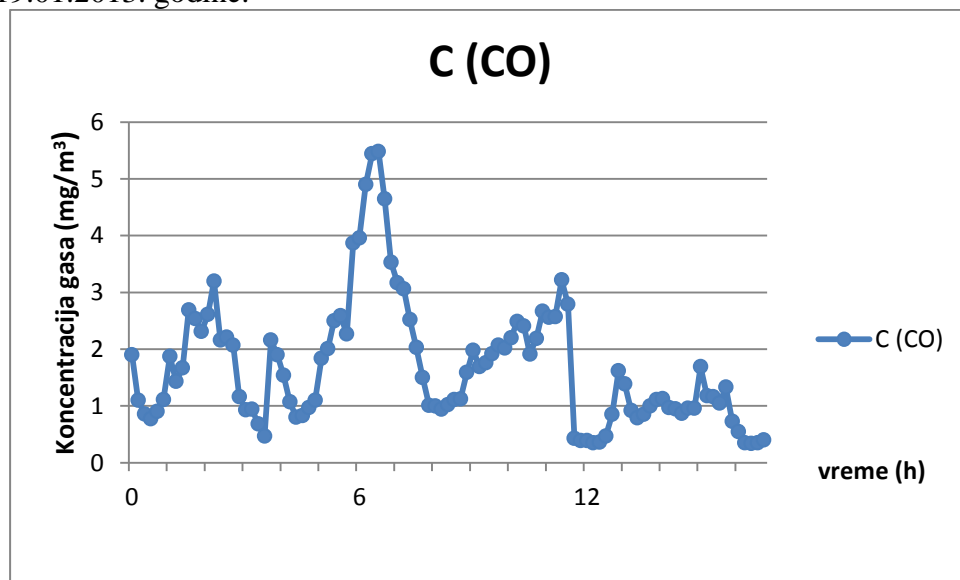
Na slici 4.2.14. je prikazan grafik procenjene vrednosti $C(\text{NO}_2) \times \beta_1$ i izmerene vrednosti $C(\text{CO})$ koncentracije gasa CO. Uzorci su uzeti tokom celog perioda merenja sa stacionarne merne stanice S1. Jasno se vidi da se procenjene vrednosti i izmerene koncentracije poklapaju tokom celog perioda merenja.



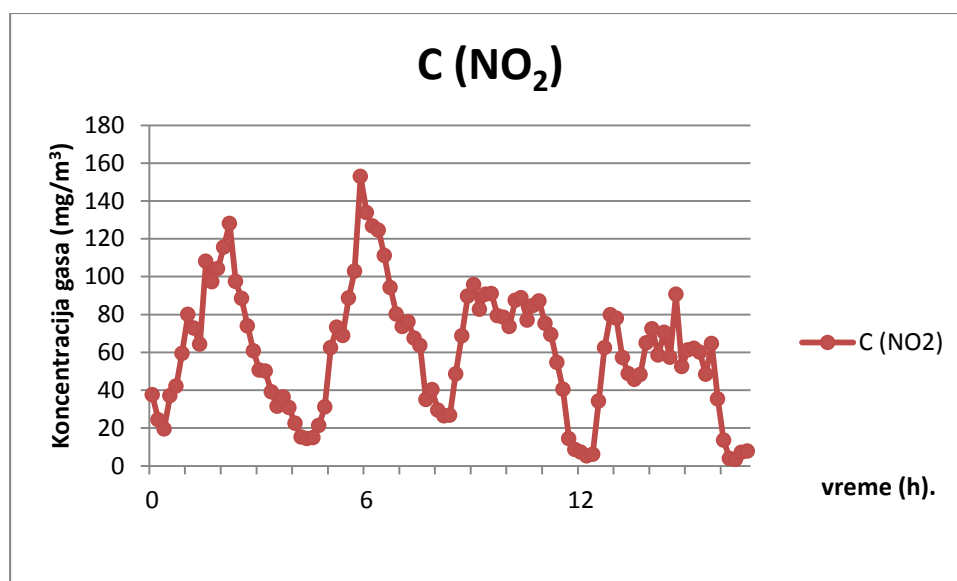
Slika 4.2.14. Grafik procenjene i izmerene vrednosti koncentracije gasa CO – uzorci sa mobilne merne stanice D1 u Pančevu (uzorci mereni svakih deset minuta)

➤ **Mobilna merna stanica N1 – nedeljni nivo prikupljanja podataka**

Mobilna merna stanica nalazila se na krovu jednog od autobusa koji se kretao Pančevom tokom januara. Podaci sa mobilne merne stanice upisivani su u bazu podataka svakih deset minuta. U ovom slučaju uzet je uzorak pri kome je skupljanje podataka trajalo nedelju dana od 12.01. do 19.01.2013. godine.



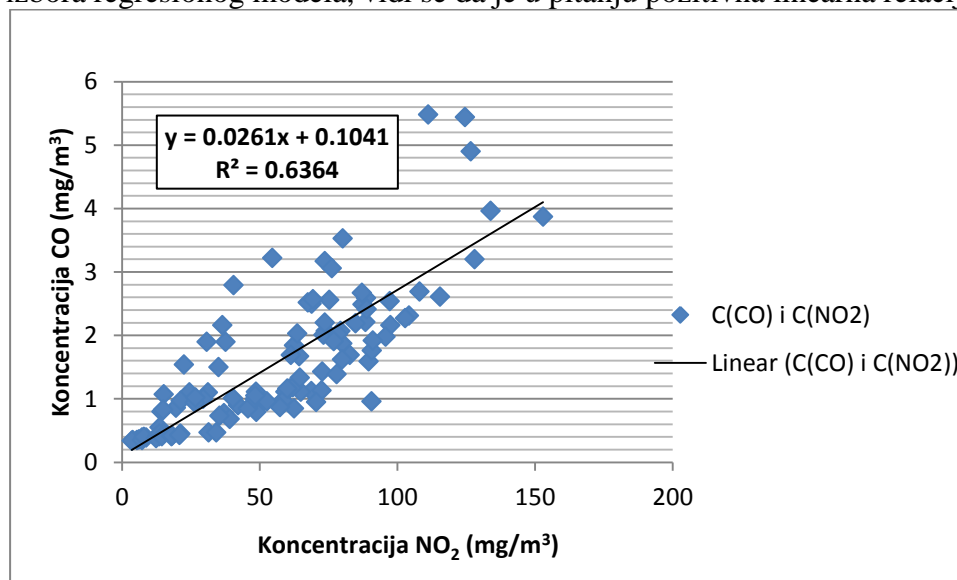
Slika 4.2.15. Grafik izmerene vrednosti koncentracije gasa CO – uzorci sa mobilne merne stanice N1 u Pančevu (uzorci mereni svakih deset minuta)



Slika 4.2.16. Grafik izmerene vrednosti koncentracije gasa NO_2 – uzorci sa mobilne merne stanice NI u Pančevu (uzorci mereni svakih deset minuta)

Na slikama 4.2.15. i 4.2.16. prikazani su grafici koncentracija CO i NO_2 na osnovu stotinak izmerenih uzoraka. Na graficima je uočljiva takva pojava da prilikom promene koncentracije jednog gasa, dolazi do promene koncentracije drugog gasa. Kako po statističkoj analizi ovo nije konačan dokaz korelacije, pristupilo se crtanju regresionog modela i ispitivanju koeficijenta korelacije.

Sledeći korak u istraživanju zavisnosti između koncentracija CO i NO_2 je crtanje dijagrama rasipanja. Na slici 4.2.17. može se videti dijagram rasipanja. Na osnovu dijagrama rasipanja može se zaključiti da se radi o lineranoj i rastućoj zavisnosti eksperimentalnih tačaka. Što se tiče izbora regresionog modela, vidi se da je u pitanju pozitivna linearna relacija.



Slika 4.2.17. Regesioni model i koeficijent korelacije konecentracija CO i NO_2 . Podaci sa mobilne merne stanice NI, uzorci sa prvih sto merenja

Na osnovu regresionog modela dobijena je regresiona prava:

$$y=0,0261 x+ 0,1041 \quad (4.39)$$

Vidi se da je parametar $\beta_1=0,0261 \neq 0$, što je ekvivalentno hipotezi da između posmatranih koncentracija postoji linearna veza, odnosno koncentracije CO i NO₂ su u korelaciji.

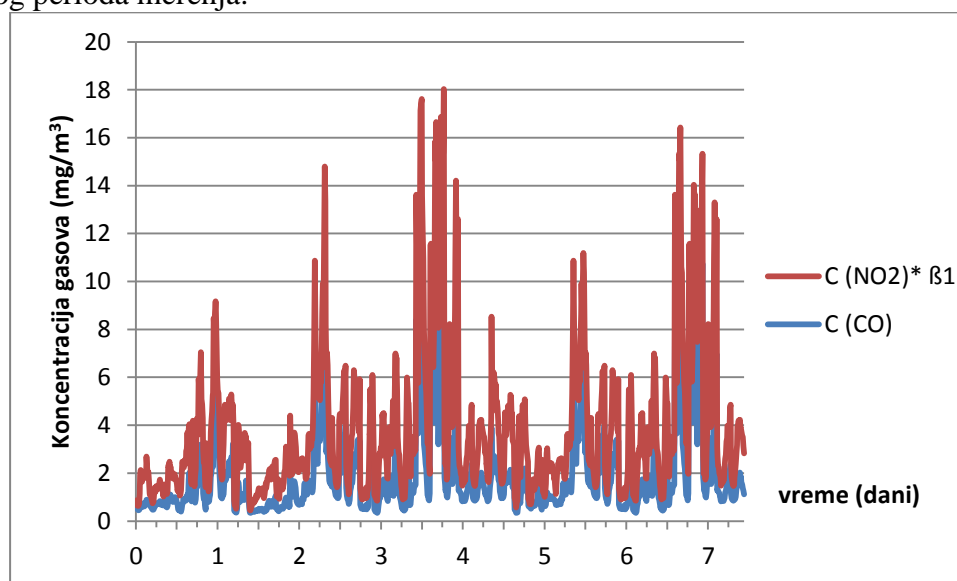
Nakon određivanja regresionih parametara određen je i koeficijent korelacije kojim se meri stepen linearne zavisnosti između dve promenljive. Koeficijent korelacije u ovom slučaju iznosi:

$$r= 0,80. \quad (4.40)$$

Kako je koeficijent korelacije veći od 0,7, to je slučaj jake linearne korelacije. Testiranjem značajnosti koeficijent linearne korelacije u ovom slučaju dolazimo do podatka da nivo sigurnosti iznosi 99,9% tj. verovatnoća greške $P<0,001$.

Dobijena korelaciju na prvih sto uzoraka iskorišćena je na sledeći način: izvršeno je poređenje procenjene vrednosti i izmerene vrednosti koncentracije CO. Procenjena vrednost koncentracija CO dobijena je množenjem vrednosti koncentracije NO₂ sa vrednosti β_1 , koja predstavlja nagib regresione prave.

Na slici 4.2.18. je prikazan grafik procenjene vrednosti $C(\text{NO}_2) \times \beta_1$ i izmerene vrednosti $C(\text{CO})$ koncentracije gasa CO. Uzorci su uzeti tokom celog perioda merenja sa stacionarne merne stanice S1. Jasno se vidi da se procenjene vrednosti i izmerene koncentracije poklapaju tokom celog perioda merenja.



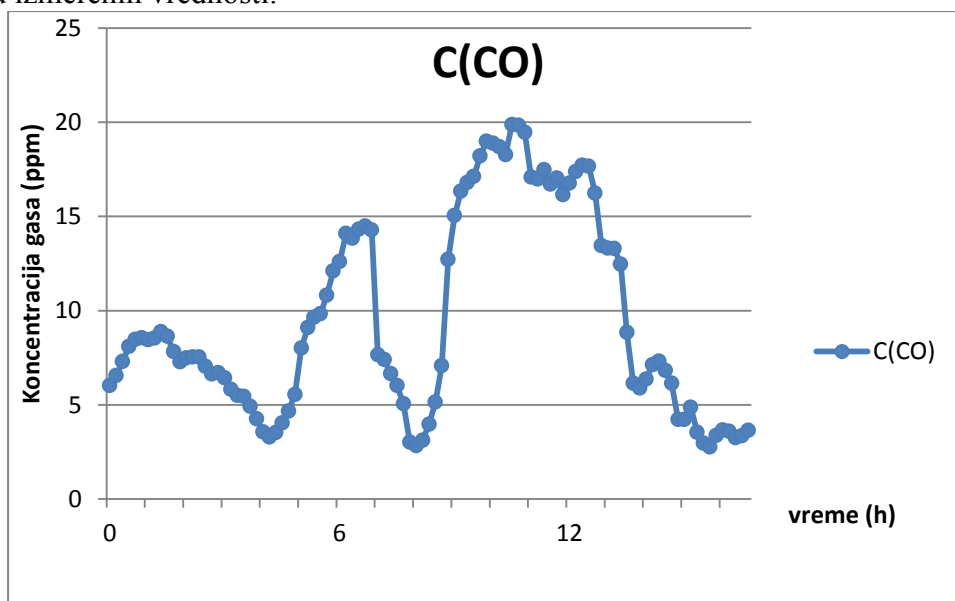
Slika 4.2.18. Grafik procenjene i izmerene vrednosti koncentracije gasa CO – uzorci sa mobilne merne stanice N1 u Pančevu (uzorci mereni svakih deset minuta)

➤ Mobilna merna stanica M1 PA – mesečni nivo

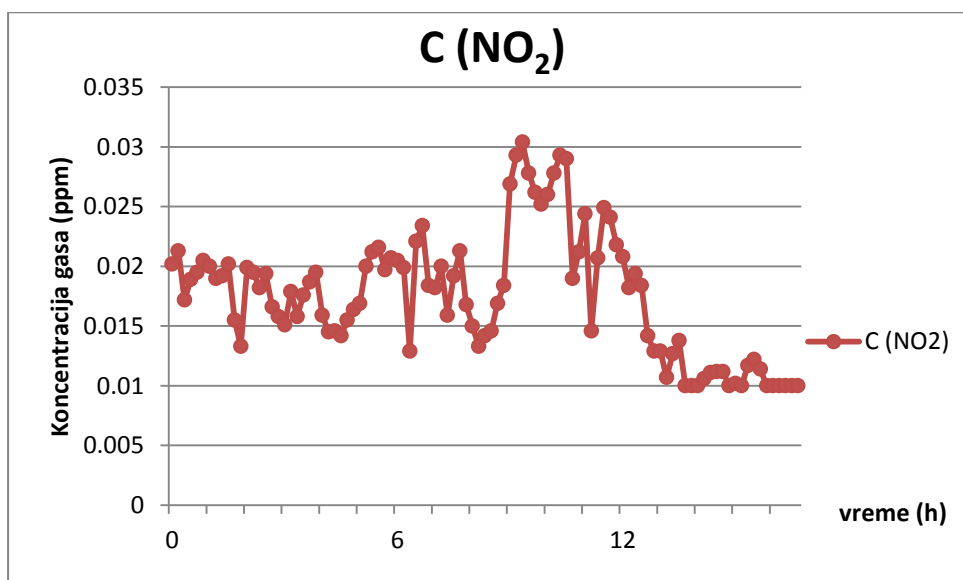
Mobilna merna stanica M1 nalazila se na krovu jednog od autobusa koji se kretao Pančevom tokom januara i februara 2013. godine. Podaci sa mobilne merne stanice upisivani su u bazu podataka svakih deset minuta. U ovom slučaju uzet je uzorak pri kome je skupljanje

podataka trajalo oko mesec dana od 12.01. do 12.02.2013. godine, a vrednosti koncentracija CO i NO₂ su prikazane u ppm.

Na slikama 4.2.19. i 4.2.20. prikazani je grafici koncentracija CO i NO₂ na osnovu stotinak izmerenih uzoraka. Na osnovu grafika može se pretpostaviti da postoji korelacija između izmerenih vrednosti.



Slika 4.2.19. Grafik izmerene vrednosti koncentracije gasa CO – uzorci sa mobilne merne stanice M1 u Pančevu (uzorci mereni svakih deset minuta)



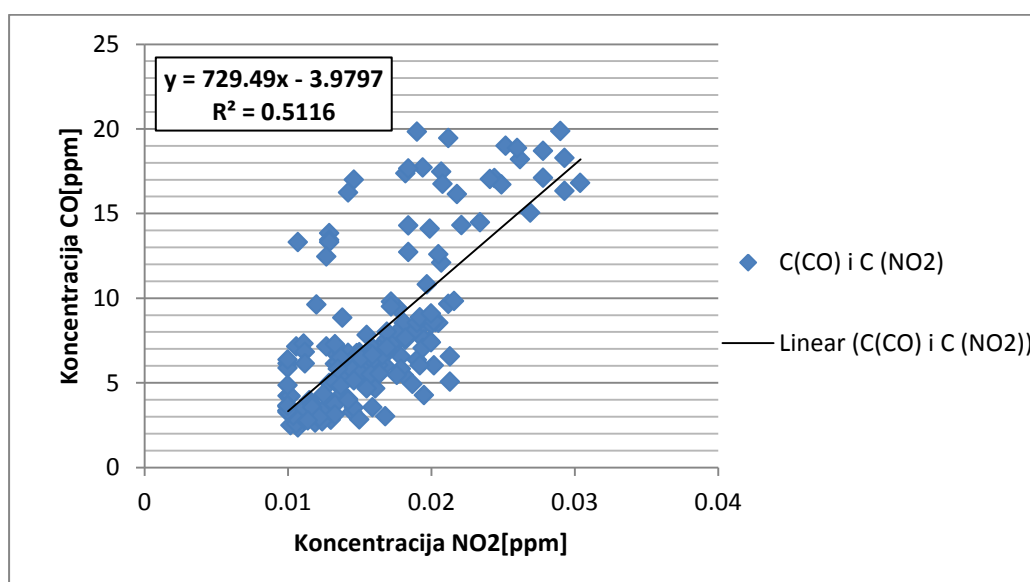
Slika 4.2.20. Grafik izmerene vrednosti koncentracije gasa NO₂ – uzorci sa mobilne merne stanice M1 u Pančevu (uzorci mereni svakih deset minuta)

Kako bi se dokazala pretpostavljena korelacija konstruisan je dijagram rasipanja za dobijene podatke. Na slici 4.2.13. može se videti da se radi o linearnoj i rastućoj zavisnosti

eksperimentalnih tačaka. Regresioni model je opisan pozitivnom linearnom funkcijom. Regresiona prava je data izrazom:

$$y=729,49 x- 3,9797 \quad (4.41)$$

Može se uočiti da je parametar $\beta_1=729,49 \neq 0$, što je ekvivalentno hipotezi da između varijacija posmatranih koncentracija postoji linearna veza, odnosno koncentracije CO i NO₂ su u korelaciji.



Slika 4.2.21. Regresioni model i koeficijent korelacije koncentracija CO i NO₂. Podaci sa mobilne merne stanice NI

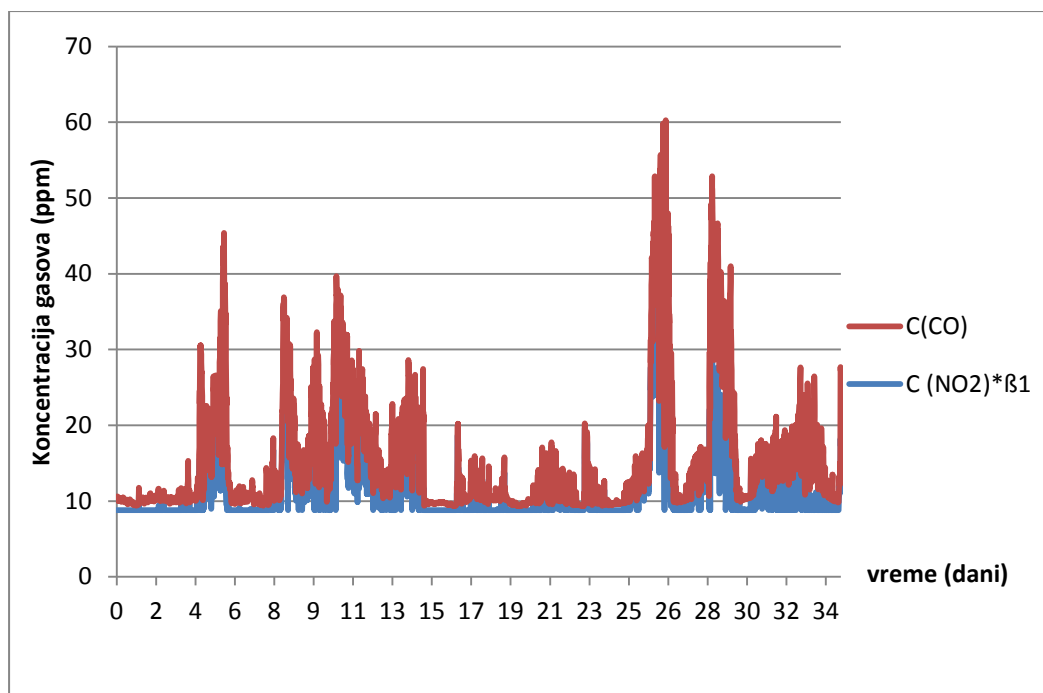
Na osnovu formula (4.27), (4.28), (4.29) i (4.32) izračunat je koeficijent korelacije:

$$r= 0,72. \quad (4.42)$$

Zato što je koeficijent korelacije veći od 0,7, imamo slučaj jake linearne korelacije. Testiranjem značajnosti koeficijent linearne korelacije pomoću formule (4.33) i Studentove t-raspodele verovatnoća dolazimo do zaključka da je nivo sigurnosti 99,9%, tj. verovatnoća greške $P<0,001$.

Dobijena korelaciju na prvih sto uzoraka iskorišćena je na sledeći način: izvršeno je poređenje predpostavljene vrednosti i izmerene vrednosti koncentracije CO. Predpostavljena vrednost koncentracija CO dobijena je skaliranjem vrednosti koncentracije NO₂ sa vrednosti β_1 , koja predstavlja nagib regresione prave.

Na slici 4.2.18. je prikazan grafik procenjene vrednosti $C(NO_2) \times \beta_1$ i izmerene vrednosti C(CO) koncentracije gasa CO. Uzorci su uzeti tokom perioda od mesec dana sa stacionarne merne stanice S1. Jasno se vidi da se procenjene vrednosti i izmerene koncentracije poklapaju tokom celog perioda merenja.



Slika 4.2.22. Grafik procenjene i izmerene vrednosti koncentracije gasa CO – uzorci sa mobilne merne stanice N1 u Pančevu (uzorci mereni svakih deset minuta)

Na osnovu prethodnih korelacionih i regresionih analiza nad skupom prikupljenih podataka nedvosmisleno se može zaključiti da postoji korelacija između izmerenih koncentracija CO i NO₂. Međutim, posmatrajući dobijene rezultate koeficijenata korelacije može se videti da na nedeljnom i višednevnom nivou merenja postoje male oscilacije, tj. koeficijent korelacije se kreće od minimalnih $r=0,72$, preko $r=0,8$, pa sve do maksimalnih $r=0,85$. Male oscilacije koeficijenta korelacije dovode do zaključka da ova metoda daje precizne podatke samo u ustaljenim i sporopromenljivim uslovima kada se ne pojavljuju nagle atmosferske promene.

4.3. PRETPOSTAVLJANJE KONCENTRACIJE GASOVA NA ODREĐENOJ TERITORIJI KORIŠĆENJEM METODA MATEMATIČKE STATISTIKE

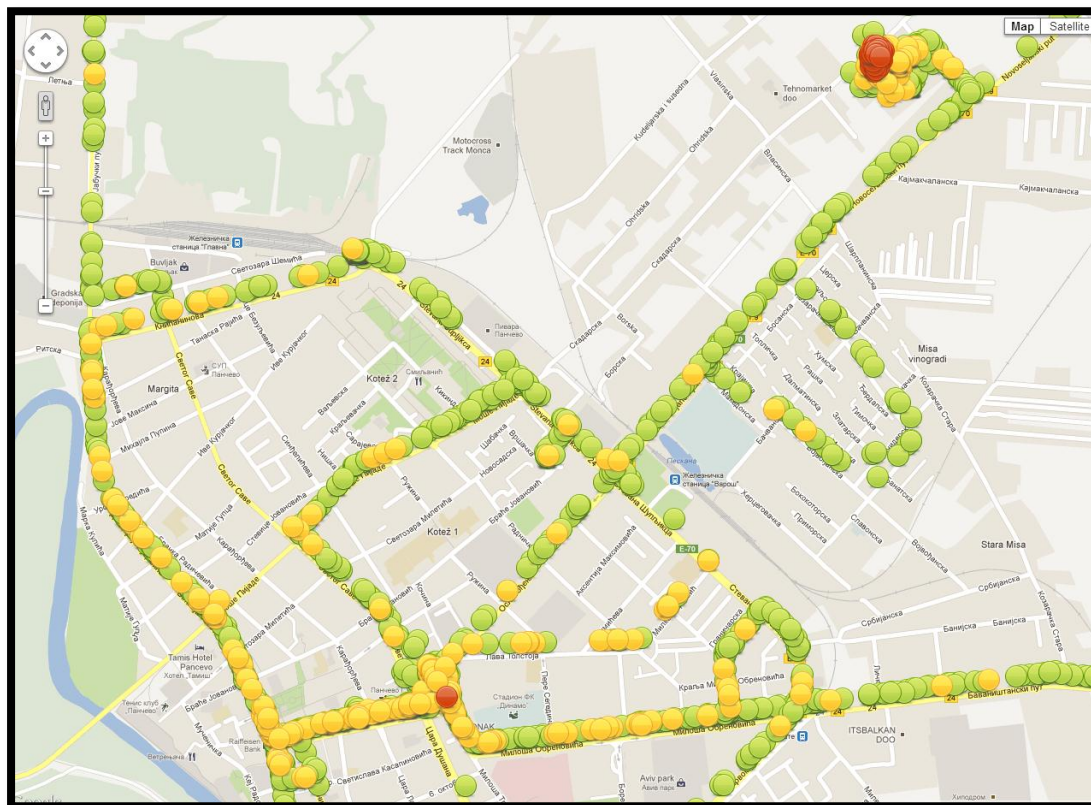
U ovom poglavlju je objašnjeno kako se mogu na teritoriji jednog grada prikazati estimacije koncentracija gasova korišćenjem interpolacionih krivih na osnovu podataka sa pokretne merne stanice.

Jedna od funkcija mobilnih mernih stanica je slanje trenutnih GPS koordinata na server kako bi se utvrdila trenutna lokacija stanice. Na osnovu dobijenih rezultata tokom 05.01.2013.god. u Pančevu odlučeno je da se na geografskoj karti ucrtaju lokacije i izmerene vrednosti koncentracija baš onih gasova kod kojih je dokazano postojanje korelacijam CO i NO₂.

Napisan je program u programskom jeziku *PHP* [87] koji na osnovu podataka o koncentraciji gasova i GPS koordinata obeležava na geografskoj mapi lokacije i vrednosti koncentracija. Izvorni HTML-kod je dat u *PRILOGU 2*.

Na slici 4.3.1. prikazana je geografska mapa grada Pančeva sa označenim mestima slanja izmerenih koncentracija gasa CO. Koncentracije su podeljene u tri grupe :

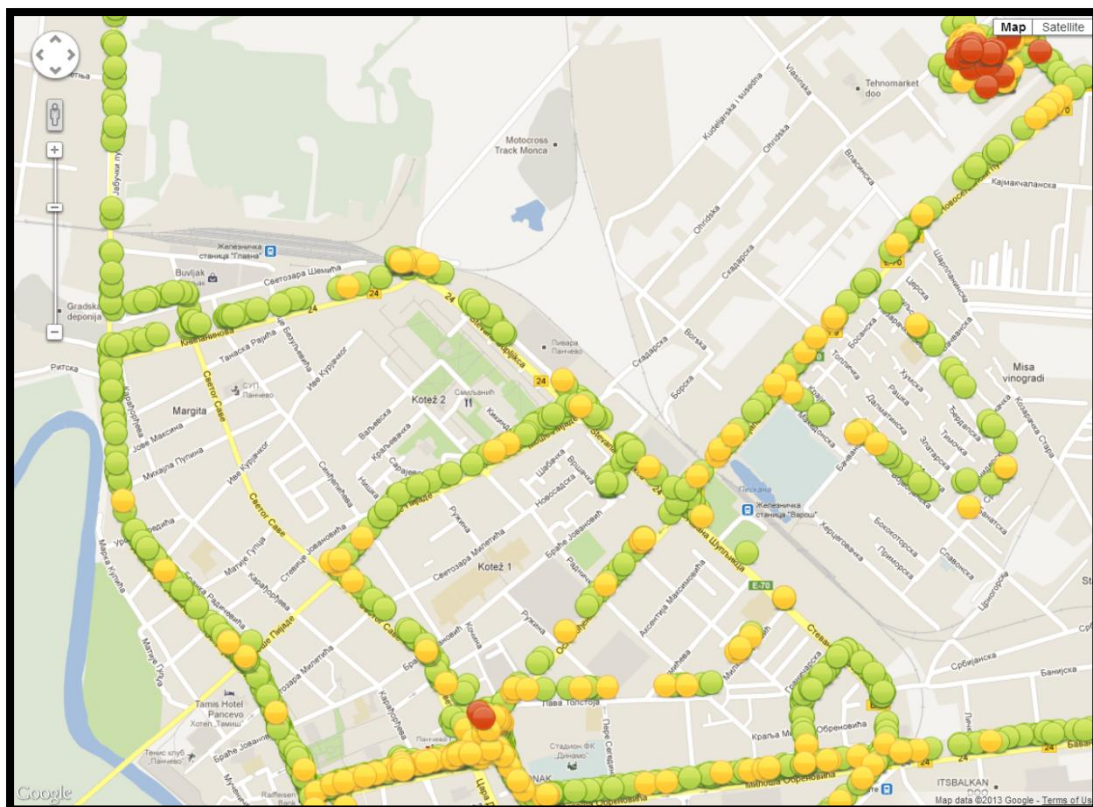
1. zelene–koncentracija gasa je manja od 60% maksimalne izmerene koncentracije,
2. žute–koncentracija gasa je između 60% i 90% maksimalne izmerene koncentracije,
3. crvene–koncentracija gasa je preko 90% maksimalne izmerene koncentracije.



*Slika 4.3.1. Prikaz izmerene vrednosti koncentracije CO sa tačnom GPS lokacijom merenja
Datum merenja :05.januar.2013.god.*

Na slici 4.3.1. može se uočiti mesta koja su označena crvenom bojom, gde je koncentracija gasa CO veća u odnosu na druge oblasti. To su lokacije: centar grada (gde se nalazi i autobuska stanica) i autobusko stajalište.

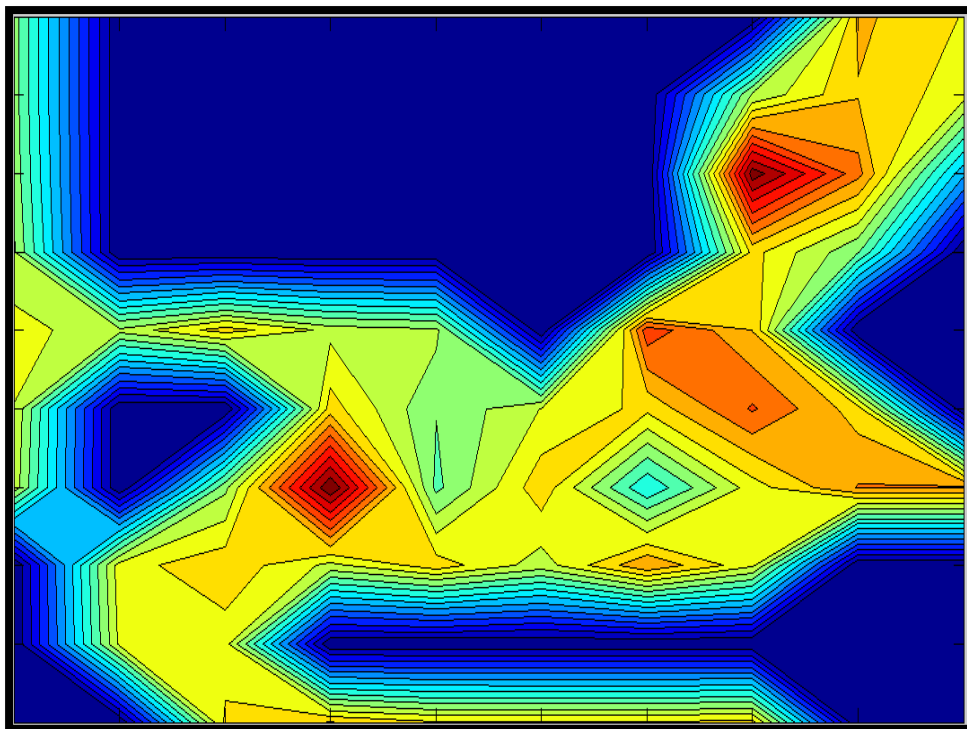
Na isti način je na slici 4.3.2. prikazana vrednost izmerenih koncentracija sa lokacijama merenja za gas NO₂. Prikazane koncentracije su izmerene u istom vremenskom periodu. Može se uočiti velika podudaranja u koncentracijama gasova na više oblasti grada što samo potvrđuje prethodno dobijene rezultate prilikom koleracione analize podataka.



Slika 4.3.2. Prikaz vrednosti izmerene koncentracije NO_2 sa tačnom lokacijom merenja. Datum merenja :05.januar.2013.god.

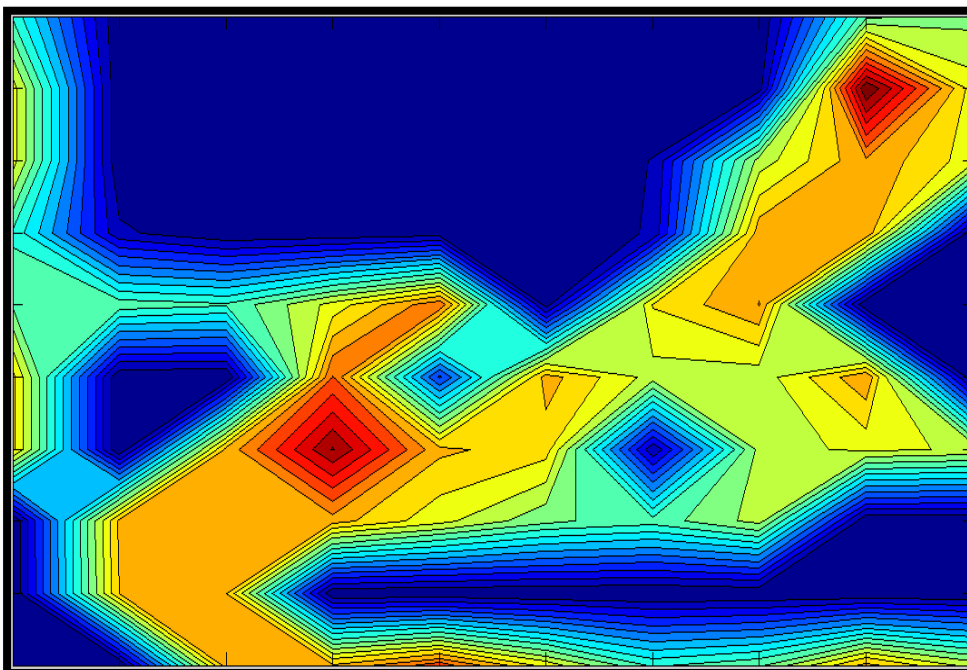
Интерполација у пољу нумеричке математике означава методу конструкције нових тачака унутар распона дискретног скупа познатих тачака. У инжињерском смислу интерполација често има много тачака прикупљених узorkовањем или експериментирањем, те се њоме покушава конструисати функција која приближно одговара тим тачкама података.

На основу резултата добијених приликом мерења концентрација и на основу корелационе и регресионе анализе података у програмском језику *Matlab* [88], написан је програм за исцртавање области са истим концентрацијама. На слици 4.3.3. истом су бојом повезане области са истом концентрацијом NO_2 . За разлику од слика са тачним локацијима мерења, овде имамо више различитих нивоа.



Slika 4.3.3. Prikaz oblasti sa istom koncentracijom NO_2 . Datum merenja :05.januar.2013.god.

Oblast koja je prikazana tamnoplavom bojom su oblasti gde nije merena koncentracija gasa ili je zanemarljivo mala. Oblasti prikazane crvenom bojom su oblasti sa najvećom koncentracijom gasa. Na slici 4.3.4 prikazane su oblasti sa istom koncentracijom CO .



Slika 4.3.4. Prikaz oblasti sa istom koncentracijom CO . Datum merenja :05.januar.2013.god.

Ako se uporede slike 4.3.3. i 4.3.4. može se uočiti da su sličnim nijansama obeležene iste lokacije. To je još jedan dokaz da se jedan od senzora pod određenim uslovima može izostaviti prilikom merenja koncentracija.

4.4. PREDIKCIJA PARAMETARA ŽIVOTNE SREDINE KORIŠĆENJEM ARMA MODELA

Predikcija u ovom kontekstu podrazumeva analizu istorijskih podataka i ekstrapolaciju istih u budućnosti, uz upotrebu odgovarajućeg matematičkog modela. Da bi se omogućio stohastički karakter budućih vrednosti, pogodno je da se prepostavi da je vrednost vremenskog niza u trenutku t —realizacija slučajne promenljive X_t . U tom kontekstu vremenski niz je realizacija familije slučajnih promenljivih, koja se zove stohastički proces. Modeli linearnih vremenskih serija predstavljaju vrlo moćno sredstvo za predviđanje i donošenje odluka u različitim oblastima ljudske delatnosti. U praksi se pokazalo da veliki broj vremenskih pojava može da se modeluje pomoću linearnih procesa. Rasprostranjenost i atraktivnost ovih modela je posledica njihove same strukture koja je lako razumljiva. Za razliku od regresionih modela, koji razmatraju vezu između dve ili više različitih pojava, modeli vremenskih serija ispituju uticaj istorijskih vrednosti jedne pojave na njenu sadašnju i buduću vrednost. Ovakav pristup omogućava proučavanje ponašanja date pojave u vremenu i daje dobre rezultate, posebno ako je dostupan veliki broj istorijskih podataka.

ARMA (Autoregresioni model pomičnih sredina sa spoljašnjom pobudom) je svaki model koji generiše izlazni niz na osnovu zbira funkcija prethodnih vrednosti izlaza i vrednosti ulaza. Ako su te funkcije linearne, u pitanju je linearni autoregresivni model pokretnog usrednjavanja, koji se u diskretnom slučaju vremena t može zapisati kao:

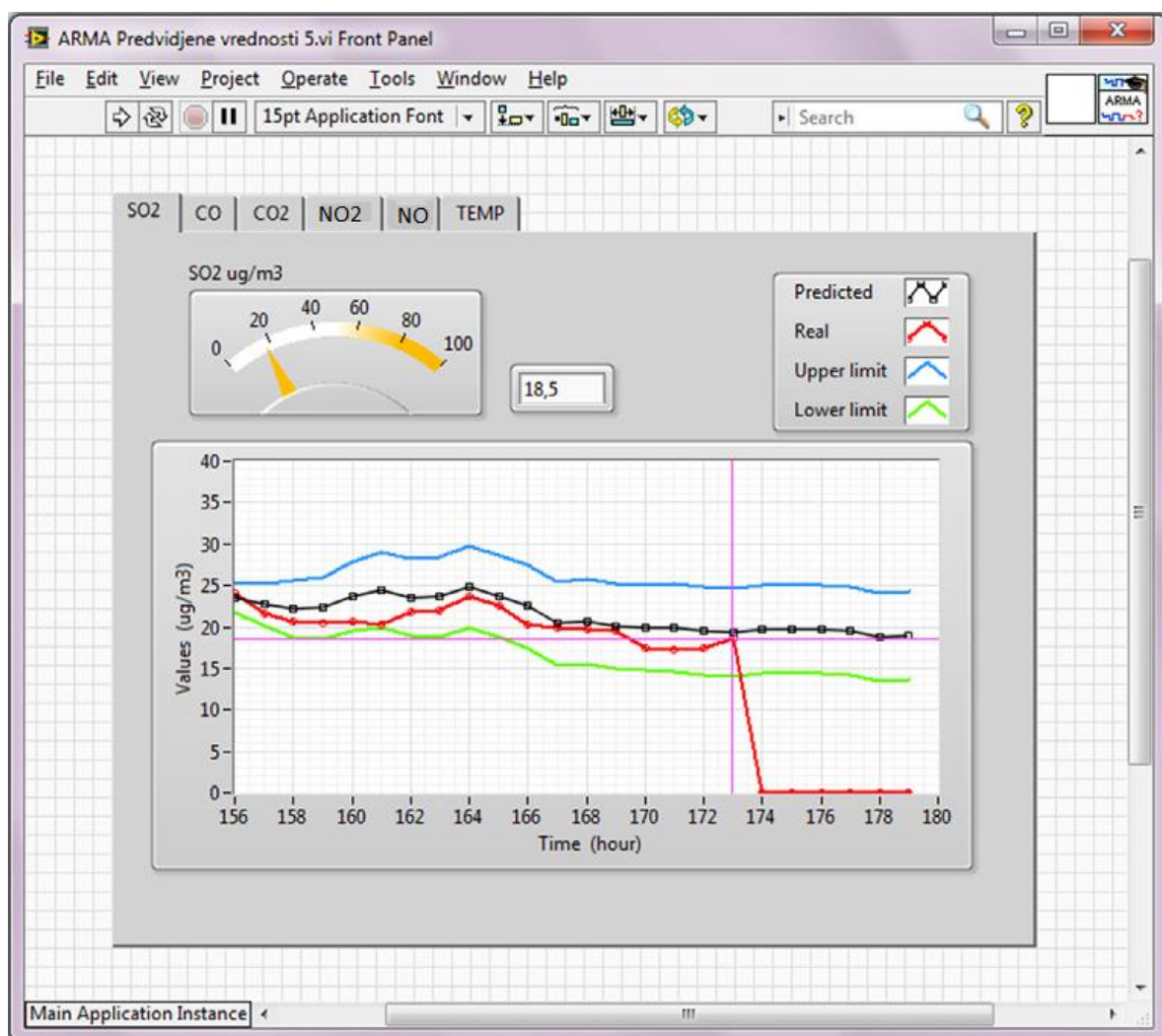
$$y(t) = \sum_{k=0}^n a_{k+1}x(t-k) - \sum_{l=1}^m b_{l+1}y(t-l) + \varepsilon(t) \quad (4.43)$$

gde je n red MA (*eng. moving-average*) dela modela, m red AR (*eng. auto-regression*) dela modela, a $\varepsilon(t)$ nekorelisana greška modelovanja izlaza filtra. Uslov fizičke realizacije je ispunjen, jer rezultat zavisi od istorije već dobijenih ulaza i izlaza [89].

U ovom slučaju program za prihvatanje podataka sa mernih stanica i statističku analizu mernih vrednosti realizovan je u *LabVIEW* [90] programskom paketu na PC računaru pod *Windows* operativnim sistemom. Na slici 4.4.1. prikazan je izgled razvijenog HMI (*eng. Human Machine Interface*) panela na ekranu serverskog računara. Na njemu su date izmerene vrednosti parametara životne sredine u numeričkom i grafičkom obliku. Na grafiku su prikazane četiri krive. Crvenom bojom je grafički prikazana koncentracija SO_2 gasa u poslednjih 18 sati, kao i trenutna vrednost u numeričkom obliku i na pokazivaču sa skalom. Crnom bojom je prikazana numerički sračunata predikcija koncentracije SO_2 gasa u poslednjih 18 sati, kao i predikcija vrednosti koncentracije gasa u narednih 6 sati. Zelenom i plavom bojom su grafički prikazane, numerički sračunate, očekivane donje i gornje granične vrednosti u periodu od 24 sata. Predviđanje koncentracije gasa u narednom periodu urađeno je korišćenjem ARMA modela, koji je realizovan u *LabVIEW* programu, a podaci su dobijeni sa mernih stanica. Verovatnoća da su izračunati podaci tačni iznosi 95,75% (2σ).

U radu [91] opisana je predikcija u realnom vremenu i realizacija android aplikacije na mobilnom telefonu. Na ovaj način, ukoliko bi se pojavile neke neočekivane visoke koncentracije

zagađujućih materija u vazduhu, korisnici bi bili u stanju da preduzmu određene aktivnosti. Te aktivnosti se sastoje od izbegavanja tih lokacija, kao i u korišćenju zaštitnih sredstava prilikom boravka na istim.



Slika 4.4.1. Izgled panela na ekranu serverskog računara za predviđanje vrednosti parametara životne sredine. Crvenom bojom je grafički prikazana izmerena koncentracija gasa u poslednjih 18h. Crnom bojom je prikazana numerički sračunata predikcija koncentracije SO_2 gasa u poslednjih 18 sati, kao i predikcija vrednosti koncentracije gasa u narednih 6 sati. Zelenom i plavom bojom su grafički prikazane, numerički sračunate, očekivane donje i gornje granične vrednosti u periodu od 24 sata

4.5. DISKUSIJA DOBIJENIH REZULTATA

Na početku ovog poglavlja u odeljku 4.1, opisan je matematički aparat na kom se zasnivaju dokazi hipoteze o postojanju funkcionalne zavisnosti između koncentracija CO i NO₂ i hipoteze o korišćenju interpolacionih krivih radi prikaza procene koncentracija gasova na osnovu podataka sa pokretne merne stanice na teritoriji jednog grada. Zatim je opisana primena matematičkog aparata na dobijenim podacima sa mernih stanica radi dokaza hipoteza. Merenje je vršeno u sredinama u kojima motorna vozila predstavljaju glavne zagađivače životne sredine.

Ispitivanje međusobne zavisnosti izmerenih koncentracija gasova realizovano je u dva koraka. Prvo je ispitan oblik zavisnosti na osnovu dela uzoraka, pomoću regresione analize. Zatim je ispitana jačina zavisnosti istih uzoraka, pomoću korelacione analize. Na kraju je dat dokaz o mogućoj pretpostavci koncentracije jednog gasa na osnovu izmerenih vrednosti drugog gasa. Dokaz se zasniva na pokalapanju izmerenih vrednosti i vrednosti koje su izračunate na osnovu korelacione i regresione analize.

Pre samog određivanja oblika zavisnosti nacrtan je grafik izmerenih podataka na osnovu uzoraka sa svake stanice kako bi se videlo da li postoji moguća korelacija izmerenih koncentracija gasova.

U [25], uočena je korelacija u urbanim sredinama između koncentracija O₃ i NO₂. Slično, u ovoj disertaciji je analizirano postojanje korelacije između koncentracija pomenutih gasova, C(O₃) i C(NO₂). Posmatrani su podaci dobijeni sa mobilne merne stanice u Pančevu, tokom perioda od 10.01. do 24.01.2013. godine. Grafik je prikazan na slici 4.2.1. Jasno se može videti da postoji sličnost između ovih koncentracija tokom celog perioda merenja. Konstrukcijom dijagrama rasipanja (slika 4.2.2) dobijen je linearni rastući regresioni model. Izračunat koeficijent korelacije, $r = 0,93$, dokaz je jake korelacione veze između koncentracija O₃ i NO₂. Slični rezultati su dobijeni u [25] sa stacionarne merne stanice, dok su u ovoj disertaciji prikazana merenja dobijena sa mobilne merne stanice.

Analiza koncentracija CO i NO₂ prvo je rađena na osnovu podataka sa stacionarne merne stanice S1 koja je postavljena blizu raskrsnice Slavija u Beogradu tokom marta 2013. godine. Na slikama 4.2.3. i 4.2.4. gde su predstavljene C(CO) i C(NO₂) vidi se isti oblik krive na oba grafika. Ovo je bio jasan znak da postoji moguća korelacija između ovih gasova. Konstrukcijom dijagrama rasipanja (slika 4.2.5) dobijen je linearni rastući regresioni model koji predstavlja prava. Izračunat koeficijent korelacije, $r = 0,85$, dokaz je jake korelacione veze između koncentracija CO i NO₂. Broj analiziranih uzoraka je bio 25. Ovaj rezultat je dao ideju da se analizira korelacija koncentracija CO i NO₂ na taj način što će se na osnovu jednog dela uzoraka ispitati postojanje i jačina korelacije, a zatim na osnovu dobijenih rezultata proceniti jedna od koncentracija i uporediti sa stvarno izmerenim koncentracijama. Podaci su se uzimali sa stacionarnih i mobilnih mernih stanica postavljenih na različite lokacije.

Na slikama 4.2.7. i 4.2.8. prikazani su grafici C(CO) i C(NO₂) na osnovu dela uzoraka dobijenih sa stacionarne merne stanice S2 postavljene na Bulevaru Europe u Novom Sadu. Na graficima je vidljiva sličnost između krivih, ali može se primetiti i neka odstupanja koja ne bi trebala da dovode u pitanje korelaciju. Ova odstupanja predstavljaju izolovane tačke koje mogu da se okarakterišu kao greške prilikom merenja.

Crtanjem dijagrama rasipanja (slika 4.2.9) dobijen je očekivani linearni rastući regresioni model koji predstavlja prava(4.35). Na dijagramu su takođe uočljive izolovane tačke, ali njihov

broj je znatno manji u odnosu na broj uzoraka. Izračunavanjem koeficijenta korelacije $r = 0,8$ dokazana je hipoteza o postojanju jake korelacione veze. Testiranjem značajnosti koeficijent linearne korelacije u ovom slučaju dolazi se do podatka da je verovatnoća greške $P < 0,001$.

Na osnovu dobijene korelacije izvršeno je poređenje procenjene vrednosti i izmerene vrednosti koncentracije CO. Procenjena vrednost koncentracija CO dobijena je množenjem vrednosti koncentracije NO₂ sa vrednošću $\beta_1 = 0,0365$ koja predstavlja nagib regresione prave (4.35). Na slici 4.2.10. je prikazan grafik procenjene vrednosti $C(\text{NO}_2) \times \beta_1$ i izmerene vrednosti C(CO). Uzorci su uzeti tokom celog perioda merenja sa stacionarne merne stanice S2. Jasno se vidi da se procenjene vrednosti i izmerene koncentracije poklapaju tokom celog perioda merenja od 7 dana.

Isti model ispitivanja realizovan je i na osnovu podataka dobijenih sa mobilnih mernih stanica. Korišćenjem mobilnih mernih stanica ostvarena je ušteda u broju stacionarnih stanica i postignuta je veća prostorna pokrivenost. Prednost mobilnih mernih stanica u odnosu na stacionarne je i u niskoj ceni i jednostavnijem načinu održavanja.

Na slikama 4.2.11. i 4.2.12. prikazani su grafici C(CO) i C(NO₂) na osnovu dela uzoraka dobijenih sa mobilne merne stanice D1 postavljene na gradski autobus u Pančevu. Na graficima je vidljiva sličnost između krivih, ali mogu se primetiti i odstupanja koja ne dovode u pitanje korelaciju.

Konstrukcijom dijagrama rasipanja (slika 4.2.13) dobijen je očekivani linearni rastući regresioni model koji predstavlja prava (4.37). Na dijagramu rasipanja su takođe uočljive izolovane tačke, ali njihov broj je znatno manji u odnosu na broj uzoraka. Izračunavanjem koeficijenta korelacije $r = 0,80$ koji je isti kao u prethodnom slučaju dokazana je hipoteza o postojanju jake korelacione veze. Testiranjem značajnosti koeficijent linearne korelacije dolazi se do podatka da je verovatnoća greške $P < 0,001$.

Na osnovu dobijene korelacije izvršeno je poređenje procenjene vrednosti i izmerene vrednosti koncentracije CO. Procenjena vrednost koncentracija CO dobijena je množenjem vrednosti koncentracije NO₂ sa vrednošću $\beta_1 = 0,0206$, koja predstavlja nagib regresione prave (4.37). Na slici 4.2.14. je prikazan grafik procenjene vrednosti $C(\text{NO}_2) \times \beta_1$ i izmerene vrednosti C(CO). Uzorci su uzeti tokom celog perioda merenja. Jasno se vidi da se procenjene vrednosti i izmerene koncentracije poklapaju tokom celog perioda merenja od 5 dana.

Na slikama 4.2.15. i 4.2.16. prikazani su grafici C(CO) i C(NO₂) na osnovu dela uzoraka dobijenih sa mobilne merne stanice N1 postavljene na gradski autobus u Pančevu. Na graficima je vidljiva sličnost između krivih, ali su uočljiva i manja odstupanja koja ne dovode u pitanje korelaciju.

Konstrukcijom dijagrama rasipanja (slika 4.2.17) dobijen je očekivani linearni rastući regresioni model koji predstavlja prava (4.39). Na dijagramu rasipanja su takođe uočljive izolovane tačke, ali njihov broj je znatno manji u odnosu na broj uzoraka. Izračunavanjem koeficijenta korelacije $r = 0,80$ koji je isti kao u prethodnom slučaju dokazana je hipoteza o postojanju jake korelacione veze. Testiranjem značajnosti koeficijent linearne korelacije dolazi se do podatka da je verovatnoća greške $P < 0,001$.

Na osnovu dobijene korelacije izvršeno je poređenje procenjene vrednosti i izmerene vrednosti koncentracije CO. Procenjena vrednost koncentracija CO dobijena je množenjem vrednosti koncentracije NO₂ sa vrednosti $\beta_1 = 0,0261$, koja predstavlja nagib regresione prave (4.39).

Na slici 4.2.18. je prikazan grafik procenjene vrednosti $C(\text{NO}_2) \times \beta_1$ i izmerene vrednosti $C(\text{CO})$. Uzorci su uzeti tokom celog perioda merenja. Jasno se vidi da se procenjene vrednosti i izmerene koncentracije poklapaju tokom celog perioda merenja od 7 dana.

Ako se uporede analize podataka sa stacionarne merne stanice S2 i mobilne merne stanice D1 i mobilne merne stanice N1, gde su u sva tri slučaja podaci uzimani na višednevnom nivou u sličnim vremenski intervalima, može se primetiti postojanje identične vrednosti koeficijenta korelacije od 0,80. Ovaj podatak govori o tome da je svejedno, što se jačine korelacije tiče, da li se uzorci uzimaju sa stacionarne ili mobilne merne stanice.

Na slikama 4.2.19 i 4.2.20. prikazani su grafici $C(\text{CO})$ i $C(\text{NO}_2)$ na osnovu dela uzoraka dobijenih sa mobilne merne stanice M1 postavljene na gradski autobus u Pančevu. Merenje je trajalo mesec dana, a uzorci su uzimani na svakih deset minuta. U ovom slučaju vrednosti koncentracija nisu predstavljeni u mg/m^3 nego u ppm. Na graficima je vidljiva sličnost između krivih, ali su uočljiva i odstupanja u pojedinim intervalima merenja koja ne dovode u pitanje korelaciju.

Konstrukcijom dijagrama rasipanja (slika 4.2.21) dobijen je očekivani linearni rastući regresioni model koji predstavlja prava (4.41). Na dijagramu rasipanja može se videti da u ovom slučaju postoji više odstupanja nego u ostalim slučajevima, ali korelacija nije narušena. Odstupanja se mogu objasniti postojanjem nagle promene vremenski uslova (jak vetar, oluje i sl.) u nekom periodu jer vremenski period ovog merenja iznosi više od mesec dana.

Izračunavanjem koeficijenta korelacije $r = 0,72$ koji je nešto manji u odnosu na prethodne slučajeve dokazana je hipoteza o postojanju jake korelacione veze. Testiranjem značajnosti koeficijent linearne korelacije dolazi se do podatka da je verovatnoća greške $P < 0,001$.

Na osnovu dobijene korelacije izvršeno je poređenje procenjene vrednosti i izmerene vrednosti koncentracije CO. Procenjena vrednost koncentracija CO dobijena je množenjem vrednosti koncentracije NO_2 sa vrednosti $\beta_1 = 729,49$, koja predstavlja nagib regresione prave (4.41). Na slici 4.2.22. je prikazan grafik procenjene vrednosti $C(\text{NO}_2) \times \beta_1$ i izmerene vrednosti $C(\text{CO})$. Uzorci su uzeti tokom celog perioda merenja. Jasno se vidi da su procenjene vrednosti i izmerene koncentracije poklapaju tokom celog perioda merenja od mesec dana.

Tokom analize podataka sa mernih stanica pokazano je da se mogu proceniti vrednosti jednog gasa na osnovu izmerenih vrednosti drugog gasa. Na osnovu analize podataka sa merne stanice S1 rađena je procena koncentracije NO_2 na osnovu izmerene koncentracije CO. Na osnovu analize podataka sa ostalih mernih stanicama rađena je procena koncentracije CO na osnovu izmerene koncentracije NO_2 . U oba slučaja evidentno je poklapanje procenjenih vrednosti sa izmerenim vrednostima. Međutim, posmatrajući dobijene rezultate koeficijenata korelacije može se videti da na nedeljnom i višednevnom nivou merenja postoje male oscilacije, tj. koeficijent korelacije se kreće od minimalnih $r=0,72$, preko $r=0,8$, pa sve do maksimalnih $r=0,85$. Male oscilacije koeficijenta korelacije može da dovode do zaključka da ova metoda daje precizne podatke u ustaljenim i sporopromenljivim uslovima kada se ne pojavljuju nagle atmosferske promene.

Strogo se oslanjajući na rezultate vezane za korelaciju koncentracija ugljen-monoksida i azot-dioksida i činjenicu da ovi štetni gasovi potiču od istog izvora zagađenja, može se detektovati slučaj naglog povećanja koncentracije jednog od gasova. To je situacija kada dolazi do zagađenja prirodne sredine od strane novog izvora koji ispušta u atmosferu veću količinu jednog od ovih gasova. Tada se narušava korelacija jer dolazi do naglog povećanja koncentracije jednog gasa, dok se koncentracija drugog gasa ne menja. U sistemu opisanom u disertaciji ova

pojava bi se manifestovala kao smanjenje koeficijenta korelacije na mestima gde je došlo do naglog povećanja koncentracije jednog od gasova.

U poglavlju 4.3. objašnjeno kako se mogu na teritoriji jednog grada prikazati estimacije koncentracija gasova korišćenjem interpolacionih krivih na osnovu podataka sa pokretne merne stanice. Pošto mobilna stanica pored parametara životne sredine šalje i trenutnu GPS lokaciju omogućeno je praćenje koncentracije gasova na teritoriji jednog grada. U ovom slučaju uzet je grad Pančevo pošto su tamo već postojale mobilne merne stanice i analizirane su koncentracije gasova CO i NO₂. Na slikama 4.3.1. i 4.3.2. prikazana je geografska mapa grada Pančeva sa označenim mestima slanja izmerenih koncentracija CO i NO₂. Vidi se u oba slučaja da je koncentracija oba gasa najveća u centru grada i na glavnom stajalištu za autobuse. Očigledno je da i izduvni gasovi autobusa predstavljaju izvor merenih gasova. Međutim, korelacija je pokazana i u drugim oblastima grada. Na slikama 4.3.3. i 4.3.4. prikazane su oblasti sa istom koncentracijom CO i NO₂ na osnovu podatka dobijenih sa pokretnih mernih stanica u istom vremenskom periodu i programskog jezika *Matlab*. Ako se uporede slike 4.3.3. i 4.3.4. može se uočiti da su sličnim nijansama obeležene iste lokacije. To je još jedan dokaz da se jedan od senzora pod određenim uslovima može izostaviti prilikom merenja koncentracija.

U poglavlju 4.4 objašnjena je predikcija parametara životne sredine. Predikcija u ovom kontekstu podrazumeva analizu istorijskih podataka i procenu istih u budućnosti, uz upotrebu ARMA matematičkog modela. Za razliku od regresionih modela, koji razmatraju vezu između dve ili više različitih pojava, modeli vremenskih serija ispituju uticaj istorijskih vrednosti jedne pojave na njenu sadašnju i buduću vrednost. Ovakav pristup omogućava proučavanje ponašanja date pojave u vremenu i daje dobre rezultate, posebno ako je dostupan veliki broj istorijskih podataka. Na osnovu podatka sa mernih stanica i napisanog programa u *LabVIEW* u koji je uključen ARMA model, procenjena je koncentracija jednog parametra (za slici 4.4.1 je uzet primer koncentracija gasa SO₂ gde je procena urađena za narednih 6h) i upoređena je sa izmerenim vrednostima. Verovatnoća tačnosti u ovom slučaju iznosi 95,75% (2σ). Na osnovu ove tačnosti možemo reći da postoji mogućnost predviđanja koncentracije štetnih gasova bazirane na ranije dobijenim podacima.

5. ZAKLJUČAK

Životna sredina predstavlja skup prirodnih i stvorenih vrednosti čiji kompleksni međusobni odnosi čine okruženje, odnosno prostor i uslove za život, dok kvalitet životne sredine predstavlja stanje životne sredine koje se iskazuje fizičkim, hemijskim, biološkim, estetskim i drugim indikatorima. Upravo iz tog razloga je pitanje zagađenja životne sredine, odnosno utvrđivanja nivoa zagađenja komplikovan i istovremeno značajan proces. Činjenica je da se u savremenom svetu tehnologije parametri životne sredine menjaju i sve češće nisu u skladu sa propisanim vrednostima, pogotovo u industrijski razvijenim gradovima i njihovim pojedinim industrijskim zonama.

U ovoj tezi metodom obrade podataka koje se zasnivaju na matematičkoj statistici, dokazane su sledeće pretpostavke:

- Postojanje funkcionalne zavisnosti između koncentracija CO i NO₂ koji potiču iz istog izvora sa koeficijentom korelacije preko 0,7.
- Korišćenjem metoda predikcije, pomoću regresionog modela – interpolacije i ekstrapolacije, moguće je smanjiti broj mernih stanica. Naime, korišćenjem interpolacionih krivih, moguće je na teritoriji jednog grada proceniti koncentracije gasova na osnovu podataka sa pokretne merne stanice.
- Korišćenjem ARMA modela, koji koristi istorijske podatke koncentracija gasova na određenoj teritoriji moguće je predvideti vrednosti istih u budućnosti.

Rekonstrukcija stanja koncentracija gasova na određenoj teritoriji grada, na osnovu podataka sa pokretne merne stanice predstavlja jedan od značajnih faktora uštede pri projektovanju sistema za praćenje štetnih gasova.

U dostupnoj naučnoj literaturi postoji više predloženih arhitektura uređaja koji rade slične procese, ali sami procesi se završavaju na prikupljanju i prikazu podataka. Zbog multidisciplinarnosti procesa u vidu: praćenja parametara životne sredine preko stacionarne i mobilne merne stanice, predviđanje parametara životne sredine na određenoj teritoriji i utvrđenoj korelacije koncentracija CO i NO₂ – ovaj rad se značajno razlikuje od radova sa sličnom tematikom. Tokom istraživanja ove teme nisu nađeni naučni radovi koji su se sa metodološkog

aspekta, kao i sa aspekta implementacije bavili ovom multidisciplinarnom temom. Ovaj sistem za praćenje parametara životne sredine i metode obrade podataka predstavljaju jedinstvenu celinu čiji opis dosada nije pronađen u načnim radovima. Glavne hipoteze su dokazane kako na metodološkom tako i u praktičnom smislu.

Primenjena metoda ima i određene nedostatke, tako da je neophodno prvobitno identifikovati najveće zagađivače kao i tipove zagađenja na teritoriji koja se posmatra. Takođe, metoda daje precizne podatke samo u ustaljenim i sporopromenljivim uslovima kada se ne pojavljuju nagle atmosferske promene. Međutim, prikupljanjem mernih podataka u dužem vremenskom intervalu, od više godina, i ovaj problem bi se mogao rešiti.

Strogo se oslanjajući na rezultate vezane za korelaciju koncentracija ugljen-monoksida i azot-dioksida i činjenicu da ovi štetni gasovi potiču od istog izvora zagađenja, može se detektovati slučaj naglog povećanja koncentracije jednog od gasova. To je situacija kada dolazi do zagađenja prirodne sredine ispuštanjem u atmosferu jednog od ovih gasova u velikoj količini. Tada se narušava korelacija jer dolazi do naglog povećanja koncentracije jednog gasa, dok se koncentracija drugog gasa ne menja. U sistemu opisanom u disertacije ova pojava bi se manifestovala kao smanjenje koeficijenta korelacije na mestima gde je došlo do naglog povećanja koncentracije jednog od gasova.

Što se tiče budućeg rada u ovoj oblasti, on će se najviše odnositi na sledeće:

1. poboljšanje performansi uređaja, unapređenjem hardverskog dela uređaja,
2. smanjivanje potrošnje uređaja,
3. analiza više podataka sa većeg broja mernih stanica.

Hardverska struktura, čiji razvoj sam po sebi predstavlja jedan veliki naučni i tehnički doprinos, može se i dalje usavršavati zamenom mikrokontrolera sa boljim performansama, senzora sa većom osetljivošću i umrežavanjem većeg broja mernih stanica. Smanjivanje potrošnje uređaja može se realizovati dodavanjem solarnog panela i punjača baterije koji bi služili kao izvor napajanja u letnjim, sunčanim mesecima. Na ovaj način uređaj bi mogao samostalno da radi koristeći sunčevu energiju.

Analizom većeg broja podataka sa većeg broja umreženih mernih stanica mogli bi doći do tačnijih rezultata, a i u samu analizu bi trebalo uključiti više parametara. Dalja istraživanja išla bi u pravcu dobijanja tačnih vrednosti i u slučajevima naglih promena atmosferskih uslova i velikih promena koncentracija gasova. Samo uključivanje većeg broja parametara dovodi do razmišljanja o drugim matematičkim modelima i drugačijim analizama.

Trenutno, uređaj opisan u ovom doktoratu koristi se za merenje parametara životne sredine u Pančevu, Novom Sadu i Beogradu, a testiranje sistema sa pojedinim dodacima se obavlja u više istraživačkih centara i na više univerziteta u zemlji i inostranstvu.

6. PRILOZI

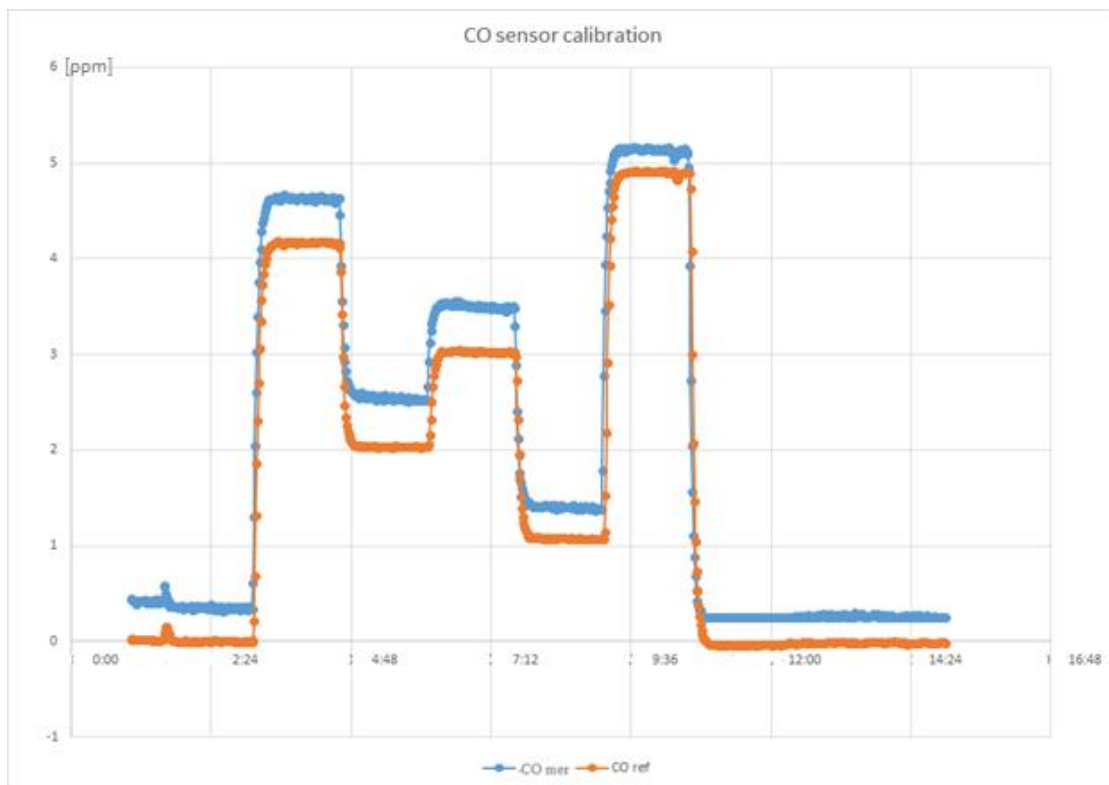
6.1. PRILOG 1: KALIBRACIJA SENZORA

Kalibracija u suštini predstavlja usklađivanje mernog uređaja sa uređajem veće tačnosti ili etalonom. Provere instrumenta u celom opsegu promene merene veličine uz pomoć nekog etalona radi smanjivanja grešaka jedna je od najčešćih metoda u praksi [92]. Senzori koji su korišćeni za merenje koncentracije gasova nisu bili kalibrisani prilikom kupovine. Samim tim neophodno je bilo izvršiti kalibraciju senzora nakon realizacije merne stanice. Kalibracija senzora urađena u Norveškom naučnom institutu NILU – *Norwegian Institute for Air Research*.

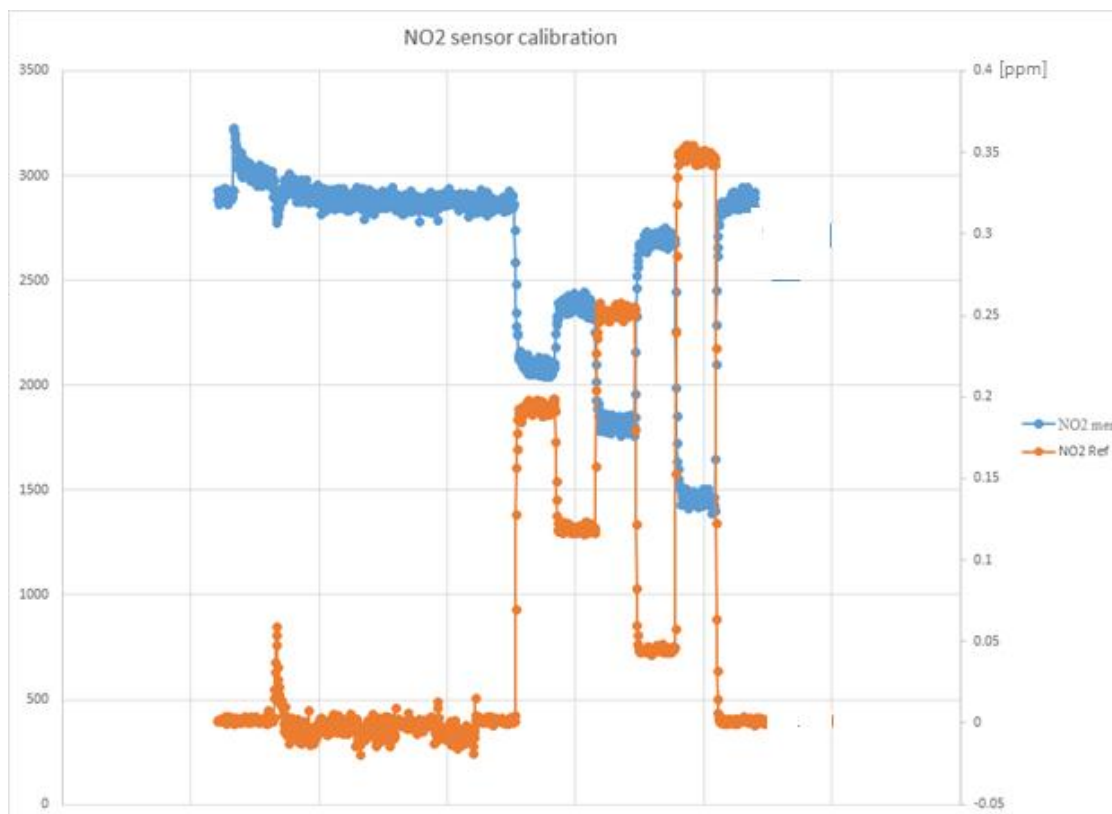
Kako je u disertaciji najviše reči bilo o sensorima za merenje koncentracije CO i NO₂ prikazana je kalibracija ovih senzora. Na slikama 6.1. i 6.2. mogu se videti izmerene vrednosti i referentne vrednosti koncentracija gasa. Plavom bojom su prikazane izmerene vrednosti, a narandžastom referentne vrednosti.

Na slici 6.1 se vidi testiranje senzora za CO prilikom kojeg se posmatra odziv senzora na unapred poznatu zadatu promenu koncentracije u vremenu. Vidi se da merena veličina prati zadatu referentnu vrednost. Pošto je u pitanju linearan sistem, kalibracija senzora se radi linearnim pomeranjem izmerene vrednosti koja treba da se poklopi sa referentnom.

Na slici 6.2 takođe postoji referentna i izmerena vrednost predstavljena narandžastom i plavom bojom, respektivno. Međutim, u ovom slučaju zbog samog prikaza podataka izmeren signal iz senzora je pojačan, invertovan i dodat mu je ofset. Samim tim ovo je slučaj da sa povećanjem koncentracije gasa, tj. porastom referentnog signala mereni signal opada i sa smanjenjem koncentracije gasa tj. opadanjem referentnog signala – mereni signal raste. Mereni i referentni signal su u protiv-fazi, tj. ponašaju se kao likovi u ogledalu. Pošto je i ovaj sistem linearan moguće je izvršiti kalibraciju, tj. dobijanje podudarnosti referentnog i merenog signala pomoću određenih operacija iz skupa linearnih operacija.



Slika 6.1. Testiranje i kalibracija senzora za merenje koncentracije CO



Slika 6.2. Testiranje kalibracije senzora za merenje koncentracije NO₂

6.2. PRILOG 2: HTML KOD PRIKAZA KONCENTRACIJA GASOVA NA GEOGRAFSKOJ MAPI

Napisan je program u PHP-u koji na osnovu podataka o koncentraciji gasova i GPS kordinata obeležava na geografskoj mapi lokaciju i vrednost koncentracije. Izvorni HTML kod je:

```
<html>
  <head>
    <title>Vladimir Rajs - Google Maps </title>
    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0, user-
scalable=no">
    <meta charset="utf-8">
    <!-- Le styles -->
    <link href="css/bootstrap.css" rel="stylesheet">
    <style type="text/css">
      body {
        padding-top: 40px;
        padding-bottom: 40px;
        background-color: #f5f5f5;
      }

      .form-signin {
        max-width: 300px;
        padding: 19px 29px 29px;
        margin: 0 auto 20px;
        background-color: #fff;
        border: 1px solid #e5e5e5;
        -webkit-border-radius: 5px;
        -moz-border-radius: 5px;
        border-radius: 5px;
        -webkit-box-shadow: 0 1px 2px rgba(0,0,0,.05);
        -moz-box-shadow: 0 1px 2px rgba(0,0,0,.05);
        box-shadow: 0 1px 2px rgba(0,0,0,.05);
      }

      .form-signin .form-signin-heading,
      .form-signin .checkbox {
        margin-bottom: 10px;
      }
      .form-signin input[type="text"],
      .form-signin input[type="password"] {
        font-size: 16px;
        height: auto;
```



```
        margin-bottom: 15px;
        padding: 7px 9px;
    }

</style>
<link href="css/bootstrap-responsive.css" rel="stylesheet">
</head>
<body>
<div class="container">
<h1>Unesite podatke</h1>
<form name="form1" method="post" action="visualize.php">
    <textarea name="data" cols="90" rows="15" id="data" style="width:700px;
height:300px;"></textarea>
    <br>
    Prva Granica: <input name="PrvaGranica" type="text" id="PrvaGranica"
value="0.3" size="4">
    <br>
    Druga Granica: <input name="DrugaGranica" type="text" id="DrugaGranica"
value="0.6" size="4">
    <br>
    Ikonice:
    <select name="ikonice" id="ikonice">
    <option value="3d">3D Ikonice</option>
    <option value="gradient">Gradient</option>
    </select><br>
    <input type="submit" name="Posalji" id="Posalji" value="Posalji">

</form><br><br><br>

<a href="latlongtomatlab.php">Konverzija LatLong kolona u Matlab matrice</a> </div>
</body>
</html>
```

7. LITERATURA

1. Anđelka Mihajlov „Osnove analitičkih instrumenata u oblasti životne sredine“, monografija, mart 2009. Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije
2. *Osnovne odredbe zakona o zaštiti životne sredine*, Republika Srbija. Dostupno na: <http://www.fb.bg.ac.rs/download/Download/Zakon%20o%20zivot.sredini.pdf>; maj 2015
3. Katarina Kanjevac, Milovanović, Jovan Milivojević, Aleksandra Kokić Arsić; Metode za vrednovanje i monitoring kvaliteta životne sredine; *Nacionalna konferencija o kvalitetu života*, Kragujevac, maj, 2006,
4. Zaštita životne sredine – uslov za održivi razvoj, Beograd 2009, Rep. Srbija. Dostupno na: <http://www.cpes.org.rs/Publikacije/Zastita%20zivotne%20sredine%20%20uslov%20za%20o%20drzivi%20razvoj.pdf>; maj 2015.
5. Prof. Dr D Mitar Lakušić, „*Osnovi ekologije*“, Biološki fakultet Univerzitet u Beogradu, Beograd 2009.
6. mr Dragica Kovačević „*Globalni problemi vezani za životnu sredinu*“. Dostupno na: http://www.zuns.me/prosvjetnirad/broj1-2_08g/14.htm; maj 2015.
7. Izveštaj o kontroli kvaliteta vazduha na teritoriji gradova u toku 2013. Zavod za javno zdravlje, Republika Srbija; Dostupno na: <http://www.zjzvranje.org.rs/docs/2013.pdf>;maj 2015
8. J. Tomić, M. Živanov, M. Kušljević „*Realizacija udaljene merne stanice za praćenje parametara životne sredine*“, 56. Konferencija ETRAN, 2012
9. *Air Quality Guidelines for Europe*, 2. edition, WHO Regional Publications, European Series, No. 91. Dostupno na: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf
10. Ryszard J. Katulski, Jacek Namieśnik, Jacek Stefański, Jarosław Sadowski, Waldemar Wardencki, Krystyna Szymańska; „*Mobile monitoring system for gaseous air pollution; Metrology and measurement systems*“, Vol. XVI (2009), No 4, pp. 677-682
11. Nihal Kularatna, Senior Member, IEEE, and B. H. Sudantha, Member, IEEE, „*An Environmental Air Pollution Monitoring System Based on the IEEE 1451 Standard for Low Cost Requirements*“, IEEE Sensors Journal, vol. 8, No. 4, april 2008
12. Anuj Kumar, I. P. Singh, and S. K. Sud, „*Energy Efficient and Low-Cost Indoor Environment Monitoring System Based on the IEEE 1451*“, Standard IEEE Sensors Journal, Vol. 11, No. 10, October 2011

13. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa LM35CZ, *Texas Instruments*. Dostupno na: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/8873/NSC/LM35CZ.html>; maj 2015.
14. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa senzorom vlažnosti HIH-4000, *Honeywell Sensing and Control* Dostupno na: <http://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-hih4000%20series-product-sheet-009017-5-en.pdf>; maj 2015.
15. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa senzorom za ugljen-monoksid CO-CF, *Membrapor AG*. Dostupno na: <http://www.membrapor.ch/sheet/CO-CF-200.pdf>;maj 2015
16. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa senzorom za ugljen-dioksid CO-DIN, *Texas Instruments*; Dostupno na: <http://www2.vernier.com/booklets/co2.pdf>; maj 2015.
17. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa senzorom za sumpor-dioksid SO₂-D4, *Alphasense*, Dostupno na: <http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2013/07/SO2D4.pdf> ;maj 2015.
18. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa senzorom za kiseonik O₂-A2, *Alphasens.*; Dostupno na: <http://www.alphasense.com/index.php/products/oxygen/>;maj 2015
19. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa senzorom NO₂-AE, *Alphasense*. Dostupno na: <http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2013/07/NO2AE.pdf>
20. Chan H. See, Kirill V. Horoshenkov, Raed A. Abd-Alhameed, Yim Fun Hu, Senior Member, IEEE, and Simon J. Tait; „A Low Power Wireless Sensor Network for Gully Pot Monitoring in Urban Catchments“, IEEE Sensors Journal, Vol. 12, No. 5, May 2012.
21. Zhi-qin LIU, Xiu-feng JIANG, Hai-hao WANG, Kai ZHANG: „An on-line Monitor System on Off-gases of Vehicles with WSN's Design Based on Zigbee Technology“ Eighth IEEE International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, , 978-0-7695-3929-4, 2009.
22. Philip Angove, Michael O'Grady, Senior Member, IEEE, Jer Hayes, Member, IEEE, Brendan O'Flynn, Member, IEEE, Gregory M. P. O'Hare, and Dermot Diamond „A Mobile Gateway for Remote Interaction With Wireless Sensor Networks“, IEEE Sensors Journal, Vol. 11, No. 12, December 2011.
23. A. R. Al-Ali, Imran Zualkernan, Fadi Aloul: „A Mobile GPRS-Sensors Array for Air Pollution Monitoring“, IEEE Sensors Journal, Vol. 10, No. 10, October 2010.
24. Y. Wang¹, J. W. Munger, S. Xu¹, M. B. McElroy, J. Hao¹, C. P. Nielsen, and H. Ma : „CO₂ and its correlation with CO at a rural site near Beijing: implications for combustion efficiency in China“; *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 10, 12665–12712, 2010.
25. Werner SCHOLZ & Peter RABL; „Unexpectedly low decrease of NO₂ air pollution – Correlation with ozone concentration and altered exhaust emissions“; 2nd conf. Environment & Transport, incl. 15th conf. Transport and Air Pollution. Reims, France, 12-14 June 2006. Proceedings n^o107, Vol. 2, Inrets ed., Arceuil, pp. 264-269, France, 2006.
26. Panida Lorwongtragool, Chatchawal Wongchoosuk, Teerakiat Kerdcharoen, „Portable Electronic Nose for Beverage Quality Assessment“ Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) Association of Thailand Paper ID 1027 str.163-166, Conference 2011.
27. R. Hajovsky, M.; Complex, „Measuring System for Longtime Monitoring and Visualization of Temperature and Toxic Gases“, *Elektronika Ir Elektrotehnika*, 1392 – 1215 Vol. 12, No. 6, March 2012.
28. WANG Hui-feng, HU Zhong-ze, Qin Tian: „Design and Accuracy Improvement of Organic Gases Monitor for Cultural Relics Protection“, International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, IEEE 978-0-7695-3962-1 , 2010
29. Duk-Dong Lee, Dae-Sik Lee: Environmental Gas Sensors, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 1, No. 3, pp 214-224, October 2001.
30. Wan-Young Chunga, Sung-Ju Ohb „Remote monitoring system with wireless sensors module for room environment“, *Sensors and Actuators B*, 64–70 Vol. 12, No. 6, Mart 2005.

31. Stephen Beirne, Breda M. Kierman, Cormac Fay, Colum Foley, Brian Corcoran: „Autonomous greenhouse gas measurement system for analysis of gas migration on landfill sites“, University of Wollongong *Research Online*, 2010.
32. Maurizio Rossi, Davide Brunelli: „Ultra low power Wireless Gas Sensor Network for environmental monitoring applications“, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 12 ISSN 978-1-4673-2738-1, Dec.2012.
33. Hui Yang, Yong Qin, Gefei Feng, and Hui Ci, „Online Monitoring of Geological CO₂ Storage and Leakage Based on Wireless Sensor Networks“, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 13, No. 2, February 2013.
34. Donglin Wang, Member, *IEEE*, Renlun He, Jiangqiu Han, Michel Fattouche, and Fadhel M. Ghannouchi, Fellow, *IEEE*, „Sensor Network Based Oilwell Health Monitoring and Intelligent Control“, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 12, No. 5, May 2012.
35. Stefano Abbate, Student Member, *IEEE*, Marco Avvenuti, Member, *IEEE*, and Janet Light, Member, *IEEE*, MIMS: „A Minimally Invasive Monitoring Sensor Platform“, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 12, No. 3, March 2012.
36. Nikolaos P. Preve, Emmanuel N. Protonotarios: „An Integrated SensorWeb Grid Cyberimplementation for Environmental Protection“, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 11, No. 9, September 2011.
37. Kevin Benjamin Mayer: „Over the Air Programmable Stand-Alone Controllers Using GPRS Technology“, Australian National University, June, 2002.
38. Breda M. Kiernan, Cormac Fay, Stephen Beirne, Dermot Diamond: „Development of an Autonomous Greenhouse Gas Monitoring System“, *Proceedings Of World Academy Of Science, Engineering And Technology* ISSN 2070-3740, Volume 34, October 2008.
39. Peng Jiang, Hongbo Xia, Zhiye He, Zheming Wang :“Design of a Water Environment Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks“, *Sensors*, pp. 6411-6434, August 2009.
40. Mette Christophersen, Peter Kjeldsen: „Factors governing lateral gas migration and subsequent emission in soil adjacent to and old landfill“, *Intercontinental Landfill Research Symposium*, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden, pp.11-13 December 2000.
41. A. Kumar, G. P. Hancke: „An Energy-Efficient Smart Comfort Sensing System Based on the IEEE 1451 Standard for Green Buildings“, *IEEE Sensors Journal*, DOI 10.1109/JSEN.2014.2356651.
42. Y. Ning, W. Zhong-qin, R. Malekian, W. Ru-chuan, A. H. Abdullah: „Design of Accurate Vehicle Location System Using RFID“, *Elektronika Ir Elektrotehnika*, pp.1392 – 1215, Vol. 19, No. 8, March 2013.
43. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa SMAJ40A, *STMicroelectronics*. Dostupno na: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/84908/FAIRCHILD/SMBJ40A.html>;maj 2015
44. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa BT152; *NXP Semiconductors*. Dostupno na: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/BT152_SERIES.pdf;maj 2015.
45. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa LM317, *Texas Instruments*. Dostupno na: <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/LM/LM317.pdf>;maj 2015.
46. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa LM2576, *Texas Instruments*. Dostupno na: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/167375/MOTOROLA/LM2576-ADJ.html>
47. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa 1N5822, *Texas Instruments*. Dostupno na: <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/1N/1N5822.pdf>;maj 2015.
48. V.Rajs, Ž. Mihajlović, V. Milosavljević, L. Nađ, M. Živanov: „Podešljivi stabilizator napona na autobusima gradskog prevoza“, *Energija, ekonomija, ekologija*, 2012, No 3–4, pp. 311–314, ISSN 0354-8651, UDK: 629.114.53.02/.07.
49. Tehnička dokumentacija i uputstvo za GPRS protokol. Rad sa modemima, *Telit* .Dostupno na http://www.tutorialspoint.com/gprs/gprs_protocol_stack.htm;maj 2015.

50. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa dsPIC30F4013; *Microchip*. Dostupno na: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70138c.pdf>; maj 2015
51. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa EEPROM memorijom SST25VF016B, *Microchip*. Dostupno na: <https://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en548647>, februar 2014
52. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa GPRS/GPS modemom GM862, *Telit*. Dostupno na: http://biakom.com/pdf/GM862_Prod_Descr_r4.pdf; maj 2015
53. Tehnička dokumentacija „*Fundamentals of RS232 Serial Communications*“, Dallas Semiconductor. Dostupno na : <http://www.pacontrol.com/download/RS232.pdf>; maj 2015
54. Tehnička dokumentacija „*Fundamentals of Serial Peripheral Interface, SPI*“, Motorola. Dostupno na http://ee.hawaii.edu/~tep/EE491E/Notes/HC11A8/HC11A8_SPI.pdf; maj 2015.
55. Tehnička dokumentacija: „*Introduction of Inter-Integrated Circuit I2C*“ Philips. Dostupno na http://www.embeddedlibrary.com/Embedded_Protocols/I2C_Inter_Integrated_Circuit/I2C_Inter_Integrated_Circuit_I2C_Bus_Protocol.html; maj 2015.
56. V. Rajs , V. Milosavljević, Ž. Mihajlović, G. Tanasić, M. Živanov: „Univerzalni algoritam za rad sa EEPROM memorijom velikog memorijskog kapaciteta“, Međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA, Jahorina, 28–30 mart, 2014, str. 34–38, ISBN 978-99955-763-3-2
57. Igor Janošević, *Pozicioniranje u prostoru – GPS; Gorska služba spasavanja Srbije*. Dostupno na: <http://www.mojaplaneta.net/GPS.php>; maj 2015
58. Tehnička dokumentacija i uputstvo: „*AT Commands Reference Guide*“, Telit. Dostupno na: https://www.sparkfun.com/datasheets/Cellular%20Modules/AT_Commands_Reference_Guide_r0.pdf; maj 2015.
59. Tehnička dokumentacija „*Osnovni principi detekcije gasova-Katalitički senzori*“, SVECOM [SVC]. Dostupno na <http://www.gasdetekcija.rs/sites/default/files/pdf/kataliticki.pdf>; maj 2015
60. Tehnička dokumentacija: „*Osnovni principi Detekcija gasova- Elektrohemijski senzori*“, SVECOM [SVC]. Dostupno na <http://www.gasdetekcija.rs/sites/default/files/pdf/elektrohemijski.pdf>; maj 2015
61. Tehnička dokumentacija: „*Osnovni principi Detekcija gasova-Infracrveni senzori*“, SVECOM [SVC]. Dostupno na: <http://www.gasdetekcija.rs/sites/default/files/pdf/infracrveni.pdf>; maj 2015.
62. Tehnička dokumentacija: „*Osnovni principi Detekcija gasova-Poluprovodnički senzori*“ SVECOM [SVC] Dostupno na <http://www.gasdetekcija.rs/sites/default/files/pdf/poluprovodnicki.pdf>; maj 2015.
63. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa senzorom SHT71. Dostupno na: http://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity/Sensirion_Humidity_SHT7x_Datasheet_V5.pdf; maj 2015.
64. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa senzorom pritiska MPX4115; *Freescale Semiconductor*; Dostupno na: http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPX4115.pdf; maj 2015.
65. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa senzorom CO, TGS2442; *Figaro*; Dostupno na: http://www.soselectronic.com/a_info/resource/c/figaro/TGS2442.pdf; maj 2015
66. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa senzorom CO₂, TGS4161; *Figaro*; Dostupno na: http://www.sos.sk/a_info/resource/c/figaro/tgs4161.pdf; maj 2015.
67. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa senzorom NO₂, MiCS-2710; *E2V*; Dostupno na: <http://www.cdiweb.com/datasheets/e2v/mics-2710.pdf>; maj 2015.
68. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa senzorom SO₂, *Aplhasense*. Dostupno na: <http://www.alphasense.com/index.php/products/sulfur-dioxide/>; maj 2015.
69. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa senzorom NO, *Aplhasense*. Dostupno na: <http://www.alphasense.com/index.php/products/nitric-oxide/>; maj 2015

70. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa senzorom O₃, *Aplhasense*. Dostupno na: <http://www.alphasense.com/WEB1213/wp-content/uploads/2013/11/O3B4.pdf>; maj 2015.
71. M. Bošković: “*Meteorološka stanica – merenje temperature, pritiska i vlažnosti vazduha*”, diplomska teza, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, maj 2010.
72. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa operacionim pojačavačem TLC277; *Texas Instruments* : Dostupno na: http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/T/L/C/2/TLC277.shtml; maj 2015.
73. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa prekidačem MAX890, *Maxim Dalas*. Dostupno na: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX890-MAX890L.pdf>; maj 2015
74. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa regulatorom napona MCP1700, *Microchip* Dostupno na: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20001826C.pdf>; maj 2015.
75. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad satranzistorom IRF9530; *Vishay Siliconix*; Dostupno na: <http://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/2271/IRF9530-pdf.php>; maj 2015.
76. Tehnička dokumentacija i uputstvo za rad sa LMP91000. *Texas Instruments*. Dostupno na: <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/lmp91000.pdf>; maj 2015.
77. Vladimir Rajs, Živorad Mihajlović, Vladimir Milosavljević, Miloš Živanov: „*Određivanje sumpor dioksida SO₂ u vazduhu na principu elektrohemijske detekcije*“, 11. Međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA, Jahorina, 21-23 Mart, 2012, pp. 21-24, ISBN 978-99938-624-8-2
78. Ž. Mihajlović, V. Milosavljević, V. Rajs, M. Živanov: “*Remote Environmental Monitoring System for Application in Industry and Landfill Sites*”, Mediterranean Conference on Embedded Computing – MECO, Budva: University of Montenegro, pp. 64–67, 2013, ISBN 978-8840-9436-1-5.
79. J.A.McCleverty: „*Chemistry of Nitric Oxide Relevant to Biology*“, University of Bristol, Bristol BS8 1TS, England, Chem. Rev. 2004, 104, 403–418. Dostupno na: <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/cr020623q>.
80. Pal Pacher, Joseph S. Beckman, Lucas Liaudet: „*Nitric Oxide and Peroxynitrite in Health and Disease*“, *Physiol.Rev.* 87, 2007, pp. 315–424.
81. Tehnička dokumentacija softverskog paketa MPLAB X firme *Microchip*. Dostupno na <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/mplabx>; maj 2015
82. Spisak komandi i uputstvo za upotrebu za rad sa GPRS/GPS modemom GM862: *AT Commands Reference Guide, Telit*. Dostupno na: https://www.sparkfun.com/datasheets/Cellular%20Modules/AT_Commands_Reference_Guide_r0.pdf
83. Zagorka Lozanov-Cvetković : „*STATISTIKA*“, Prirodno matematički fakultet-Univezitet u Novom Sadu 2012.
84. S. Spasić: *Statistika u Farmaciji*, 2009/10. Dostupno na: <https://www.google.rs/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=83.+S.+Spasi%C4%87%3A+Statistika+u+Farmaciji%2C>; maj 2015
85. Klefsjo B.: „*Statistical quality control: Using Excel*“. *Qual Prog.* 1999 Nov;32(11):121–+
86. Postavljanje mobilnih mernih stanica na gradske autobuse u Pančevu; *Telekom Srbija*; Dostupno na: <http://www.telekom.rs/telekomeng/Contents/ContentTitleText.aspx?sid=1238&cid=50781>; maj 2015.
87. Kevin Tatroe, Peter MacIntyre, Rasmus Lerdorf: *Programming PHP*, ISBN: 978-1-449-39277-2 Dostupno na: <http://www.amazon.com/Programming-PHP-Kevin-Tatroe/dp/1449392776>.
88. Programski jezik *Matlab*. Dostupno na :<http://www.mathworks.com/products/matlab/>; maj 2015.

89. Ivana Kostić Kovačević, „Analiza jedne klase rekurzivnih stohastičkih algoritama *Gauss-Newtonovog* tipa sa primenama u parametarskoj identifikaciji FIR i IIR digitalnih sistema“, Doktorska disertacija, Kosovska Mitrovica, 2008 godine.
90. *LabView*; Programsko okruženje firme *National Instruments*. Dostupno na: <http://www.ni.com/labview/>; maj 2015.
91. J. Tomić, M. Kušljević, M. Vidaković, V. Rajs: „*Smart SCADA system for urban air pollution monitoring*“, *Measurement*, vol. 58, pp 138–146, December 2014, ISSN: 0263-2241
92. Dr Mladen Popović „*Senzori i merenja*“ Zavod za udžbenike i nastavna sredstva srpsko Sarajevo 2004.