Ispitivanje kakvoće zraka mjerenjem imisijskih koncentracija SO2, NO2 i CO na području grada Splita

Čelan, Mihaela

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Chemistry and Technology / Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:167:803646

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of chemistry and technology - University of Split

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

ISPITIVANJE KAKVOĆE ZRAKA MJERENJEM IMISIJSKIH KONCENTRACIJA SO_2, NO_2 I CO NA PODRUČJU GRADA SPLITA

ZAVRŠNI RAD

MIHAELA ČELAN

Matični broj: 1050

Split, rujan 2016.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

PREDDIPLOMSKI STUDIJ KEMIJSKE TEHNOLOGIJE

KEMIJSKO INŽENJERSTVO

ISPITIVANJE KAKVOĆE ZRAKA MJERENJEM IMISIJSKIH KONCENTRACIJA SO_2, NO_2 I CO NA PODRUČJU GRADA SPLITA

ZAVRŠNI RAD

MIHAELA ČELAN

Matični broj: 1050

Split, rujan 2016.

UNIVERSITY OF SPLIT

FACULTY OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

UNDERGRADUATE STUDY OF CHEMICAL TECHNOLOGY

CHEMICAL ENGINEERING

INVESTIGATION OF AIR QUALITY BY MEASURING THE IMMISSION CONCENTRATIONS OF SO_2, NO_2 AND CO IN THE CITY OF SPLIT

BACHELOR THESIS

MIHAELA ČELAN

Parent number: 1050

Split, September 2016

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

ZAVRŠNI RAD

Sveučilište u Splitu

Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu

Studij: Preddipolomski studij Kemijske tehnologije

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Kemijsko inženjerstvo

Tema rada je prihvaćena na 4. sjednici Fakultetskog vijeća Kemijsko tehnološkog fakulteta od 09.12.2015.

Mentor: Dr. sc. Marin Ugrina, poslijedoktorand

Pomoć pri izradi: Dr. sc. Marin Ugrina, poslijedoktorand

ISPITIVANJE KAKVOĆE ZRAKA MJERENJEM IMISIJSKIH KONCENTRACIJA SO_2, NO_2 I CO NA PODRUČJU GRADA SPLITA

Mihaela Čelan, 1050

Sažetak:

Cilj ovog istraživanja bio je ispitati kakvoću zraka na tri odabrane mikrolokacije na području grada Splita mjerenjem imisijskih koncentracija SO_2, NO_2 i CO u periodu od šest mjeseci. Odabrana je lokacija u neposrednoj blizini prometnice te u gradskom i prigradskom području. Izmjerene imisijske koncentracije na lokacijama 2 i 3 (gradsko i prigradsko područje) su ispod graničnih i tolerantnih vrijednosti, dok su na lokaciji 1 (prometnica) prekoračene za NO_2. Utvrđeno je da kakvoća zraka na području grada Splita prve kategorije, a u neposrednoj blizini izvora emisije, prometnice, treće kategorije.

Ključne riječi: emisija, imisija, SO_2, NO_2, CO, kakvoća zraka

Rad sadrži: 53 stranice, 10 slika, 31 tablica, 1 priloga, 16 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za obranu:

1. Prof. dr. sc. Marina Trgo - predsjednik
2. Doc. dr. sc. Ivana Smoljko - član
3. Dr. sc. Marin Ugrina, poslijedoktorand - član-mentor

Datum obrane: 29. rujna 2016.

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Kemijsko-tehnološkog fakulteta Split, Ruđera Boškovića 35.

BASIC DOCUMENTATION CARD

BACHELOR THESIS

University of Split

Faculty of Chemistry and Technology Split

Study: Undergraduate Study of Chemical Technology

Scientific area: Technical Sciences

Scientific field: Chemical Engineering

Thesis subject was approved by Faculty Council of Faculty of Chemistry and Technology session no. 4 from 9 December 2015

Mentor: Ph. D. Marin Ugrina, Research Associate

Technical assistance: Ph. D. Marin Ugrina, Research Associate

INVESTIGATION OF AIR QUALITY BY MEASURING THE IMMISSION CONCENTRATIONS OF SO_2, NO_2 AND CO IN THE CITY OF SPLIT

Mihaela Čelan, 1050

Abstract

The aim of this study was to investigate the air quality at three selected micro-locations in the city of Split by measuring the immission concentration of SO_2, NO_2 and CO in the period of six months. The selected location is near the road and in urban and suburban area. The measured immission concentration of the Locations 2 and 3 (urban and suburban areas) are below the limit and tolerance values, while at the Location 1 (roads) exceeded for NO_2. It was found that the air quality in the city of Split belongs in first category, while near sources of emission, roads, air quality belongs in third category.

Keywords: emission, immission, SO_2, NO_2, CO, air quality

Thesis contains: 53 pages, 10 figures, 31 tables, 1 supplement, 16 references

Original in: Croatian

Defence committee:

1. Ph. D. Marina Trgo, , Full professor - chair person
2. Ph. D. Ivana Smoljko, Assistant profesor - member
3. Ph. D. Marin Ugrina, Research Associate - supervisor

Defence date: 29 September 2016

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposed in Library of Faculty of Chemistry and Technology Split, Ruđera Boškovića 35.

Rimski zakon: Aerem corrumpere non licet – Nije dozvoljeno onečišćenje zraka

Završni rad je izrađen u Zavodu za inženjerstvo okoliša, Kemijsko-tehnološkog fakulteta u Splitu pod mentorstvom dr. sc. Marina Ugrine, poslijedoktoranda u razdoblju od siječnja do srpnja 2016. godine.

Zahvaljujem se mentoru dr. sc. Marinu Ugrini na predloženoj temi, savjetima i velikoj pomoći tijekom izrade završnog rada.

Također se zahvaljujem svojoj obitelji, Kristianu i prijateljima na podršci i razumijevanju iskazanom tijekom mog studiranja.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

- Na tri odabrane lokacije na području grada Splita odrediti kakvoću zraka mjerenjem imisijskih koncentracija CO, NO_2 i SO_2 u zraku.
- Na odabranoj lokaciji izvršiti tri uzastopna mjerenja pojedinog odabranog parametra kakvoće te izračunati srednju vrijednost. Rezultate mjerenja prikazati tablično.
- Dobivene vrijednosti odabranih parametara kakvoće usporediti sa zakonski propisanim vrijednostima.
- Izvesti zaključke o kakvoći zraka na pojedinim lokacijama te utvrditi da li kakvoća zraka zadovoljava uvjetima graničnih i tolerantnih vrijednosti imisija prema Uredbi o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku.
- Na temelju dobivenih rezultata odrediti kategoriju zraka.

SAŽETAK

Cilj ovog istraživanja bio je ispitati kakvoću zraka na tri odabrane mikrolokacije na području grada Splita mjerenjem imisijskih koncentracija SO_2, NO_2 i CO u periodu od šest mjeseci. Odabrana je lokacija u neposrednoj blizini prometnice te u gradskom i prigradskom području. Izmjerene imisijske koncentracije na lokacijama 2 i 3 (gradsko i prigradsko područje) su ispod graničnih i tolerantnih vrijednosti, dok su na lokaciji 1 (prometnica) prekoračene za NO_2. Utvrđeno je da kakvoća zraka na području grada Splita prve kategorije, a u neposrednoj blizini izvora emisije, prometnice, treće kategorije.

Ključne riječi: emisija, imisija, SO_2, NO_2, CO, kakvoća zraka

SUMMARY

The aim of this study was to investigate the air quality at three selected micro-locations in the city of Split by measuring the immission concentration of SO_2, NO_2 and CO in the period of six months. The selected location is near the road and in urban and suburban area. The measured immission concentration of the Locations 2 and 3 (urban and suburban areas) are below the limit and tolerance values, while at the Location 1 (roads) exceeded for NO_2. It was found that the air quality in the city of Split belongs in first category, while near sources of emission, roads, air quality belongs in third category.

Keywords: emission, immission, SO_2, NO_2, CO, air quality

SADRŽAJ

UVOD..... 1
1. OPĆI DIO..... 2
1.1. Zrak..... 3
1.2. Onečišćenje zraka..... 5
1.2.1. Izvori onečišćenja zraka..... 5
1.2.2. Podjela onečišćavala zraka..... 8
1.2.2.1. Anorganski plinovi..... 9
1.2.2.2. Organski plinovi……...…….. 10
1.2.2.3. Onečišćavala u obliku krutih čestica……..…… 11
1.2.2.4. Ostali uzročnici onečišćenja zraka…….. 11
1.2.3. Posljedice onečišćenja zraka……..... 12
1.3. Zakonski propisi vezani za onečišćenje zraka u Republici Hrvatskoj….. 14
1.4. Osvrt na antropološke izvore onečišćenja zraka na području Splitsko-dalmatinske županije …… 19
2. EKSPERIMENTALNI DIO..... 21
2.1. Lokacije mjernih mjesta……..……..….. 22
2.1.1. Odabir lokacije pozadinskih mjerenja……. 22
2.1.2. Odabir makrolokacija…….……. 23
2.1.3. Odabir mikrolokacija……..…… 24
2.2. Mjerenje koncentracija emisija CO, NO_2 i SO_2..... 24
2.2.1. Izračunavanje koncentracije plina..... 26
2.2.2. Postupak mjerenja..... 28
3. REZULTATI…….....……... 29
4. RASPRAVA..... 39
4.1. Analiza rezultata mjerenja koncentracija SO_2, NO_2 i CO u zraku…… 40
4.2. Ocjena kakvoće zraka..... 43
4.3. Opće stanje kakvoće zraka..... 45
5. ZAKLJUČAK..... 48
6. PRILOG……..... 50
7. LITERATURA..... 52

UVOD

Sastav zraka mijenjao se usporedo s razvitkom života na Zemlji, a sačinjavaju ga komponente koje su rezultat prirodnih procesa. Promjene sastava zraka imaju neposredan utjecaj na život biljaka, životinja i ljudi. Odrastao čovjek dnevno izmjenjuje 16 kg zraka pa je razumljiva važnost kakvoće zraka. Iako postoje i veći prirodni izvori onečišćenja zraka poput vulkanskih erupcija i šumskih požara, potrebno je spriječiti dodatno smanjivanje kakvoće zraka što ga uzrokuju tvari koje dolaze u zrak kao posljedica ljudskog djelovanja. Na njih se može utjecati, a promjene kakvoće zraka izazvane na ovaj način mnogo su brže od prirodnih promjena kojima se okoliš može prilagoditi. Ukoliko dođe do promjene u koncentraciji plinova koje sačinjavaju sastav čistog zraka, ili do pojave novih tvari, dolazi do narušavanja ravnoteže u ekosustavu. Posljedica onečišćenja zraka očituje se u vidu kvalitativne i kvantitativne izmjene fizikalnih, kemijskih i bioloških pokazatelja zraka. Onečišćenje zraka nastaje djelovanjem izvora onečišćenja. Izvori onečišćenja su objekti ili procesi koji emitiraju onečišćujuće tvari u atmosferu najčešće iz industrije, energetskih postrojenja i prometa. Sagorijevanjem različitih vrsta goriva emitiraju se primarna onečišćivala, oksidi sumpora i dušika uz metalne okside, čađu i lebdeće čestice. U troposferi ove tvari brzo mijenjaju oblik, tako da već poslije nekoliko sati ili najviše nekoliko dana mijenjaju morfološki i kemijski oblik. Prisutnost vlage i metalnih oksida ima ulogu katalizatora u kemijskim reakcijama nastajanja sekundarnih onečišćivala. Posljedice onečišćenja zraka uvjetovale su potrebu redovitog praćenja onečišćujućih tvari u zraku na temelju kojih se može dati uvid u ocjenu kakvoće zraka.

U ovom radu ispitana je kakvoća zraka na tri odabrane lokacije grada Splita na temelju šestomjesečnog mjerenja koncentracija SO_2, NO_2 i CO.

1. OPĆI DIO

1.1. Zrak

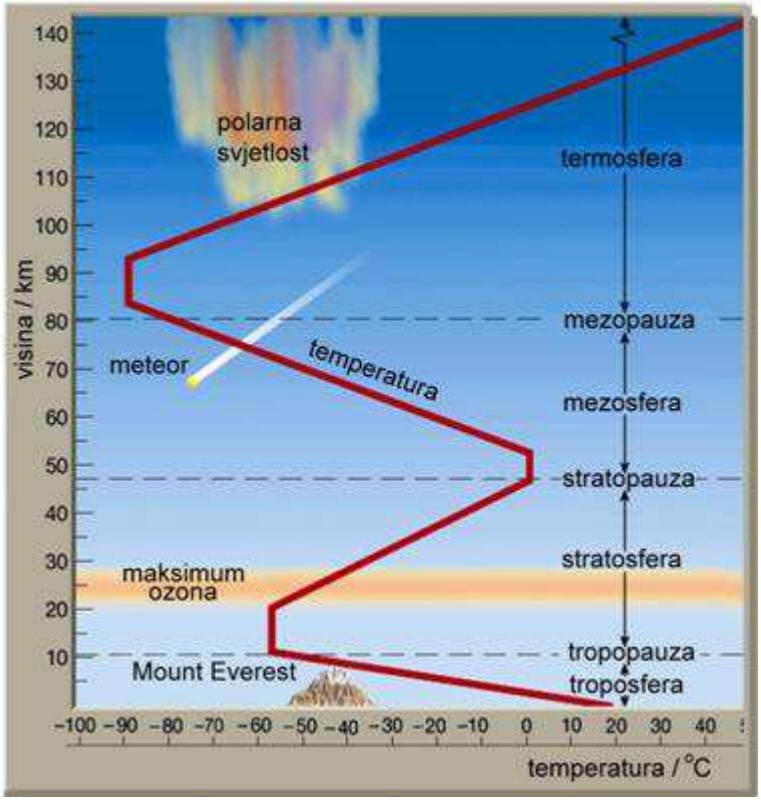
Zrak je plinoviti omotač koji okružuje Zemlju i tvori atmosferu. U tablici 1.1. naveden je prosječan sastav čistog zraka. Zrak se sastoji približno od 78% dušika, 21% kisika i 0,93% argona, dok se ostali spojevi uglavnom nalaze u tragovima. Dušik se akumulirao u atmosferi tijekom geološkog vremena te postao najzastupljeniji sastojak atmosfere što se objašnjava njegovom kemijskom inertnošću, netopljivošću u vodi i svojstvu da ne kondenzira pri uobičajenim atmosferskim uvjetima. Na koncentraciju vodene pare u atmosferi utječu procesi isparavanja i precipitacije, a njena koncentracija dostiže vrijednost i do 3%. Plemeniti plinovi poput argona, neona, helija, kriptona i ksenona također su vrlo inertni i ne sudjeluju u atmosferskim procesima.[1-4]

Tablica 1.1. Prosječni sastav čistog zraka[5]

Plinovita tvar	Volumna koncentracija, ppm	Volumna koncentracija, %
Dušik	208000	78.09
Kisik	209500	20.95
Argon	9300	0.93
Ugljikov dioksid	320	0.032
Neon	18	0.0018
Helij	5,2	0.00052
Metan	1,5	0.00015
Kripton	1,0	0.0001
Vodik	0,5	0.00005
Dušikov(I) oksid	0,2	0.00002
Ugljikov(II) oksid	0,1	0.00001
Ksenon	0,08	0.000008
Ozon	0,02	0.000002
Amonijak	0,006	0.0000006
Dušikov(IV) oksid	0,001	0.0000001
Dušikov(II) oksid	0,0006	0.00000006
Sumporov (IV) oksid	0,0002	0.00000002
Ugljikov disulfid	0,0002	0.00000002

Atmosfera predstavlja plinoviti omotač planeta Zemlje koji doseže visinu od oko 100 km, a razrijeđena i do 500 km. Sastoji od smjese različitih plinova (O_2, N_2, CO_2,

$H_2O_{(g)}$) koju nazivamo zrakom. Podijeljena je u nekoliko slojeva, koji se znatno razlikuju po svojim fizikalnim i kemijskim svojstvima (troposfera, stratosfera, mezosfera i termosfera). Podjela atmosfere prema temperaturi i visini prikazana je na slici 1.1.[2,6,7]



Slika 1.1. Slojevi atmosfere.[8]

Troposfera je najniži i najtopliji sloj Zemljine atmosfere, prosiječne visine od 10 do 12 km i u njoj se zbivaju vremenske promjene, kao naoblaka, kiša, snijeg ili sunčana razdoblja. Slijedeći sloj je **tropopauza** u kojoj temperatura varira ovisno o geografskoj širini i dobu godine. Iznad tropopauze nalazi se **stratosfera** na visini od 30 do 50 km. Ona sadrži 90% atmosferskog ozona. Na visini između 50 i 80 km nalazi se **mezosfera**. Temperatura u mezosferi opada s porastom visine pa je granica ili mezopauza najhladniji dio, gdje se temperature spuštaju ispod -100°C. Iznad mezosfere nalazi se **termosfera** koja predstavlja najdebji sloj u Zemljinoj atmosferi. Nalazi se na visini od 90 do 500 km. Temperatura u termosferi raste čak do 1500°C radi ionizacije zraka. **Egzosfera** kao sloj je smješten iznad termosfere od koje ga odvaja termopauza na visini od 800 do 3 000 km. U njoj se nalaze plinovi, vodik i helij te ona predstavlja kontakt Zemlje i svemira, a temperatura u dostiže vrijednosti do 1500°C.[2,3]

Prva tri sloja, troposfera, tropopauza i stratosfera, sastoje od 78% dušika, 21% kisika, 0,9% argona i drugih plinova, a predstavljaju 99,9% zračne mase atmosfere. Ova tri sloja atmosfere predstavljaju složen dinamički sustav u kojem se neprestano odvijaju fizikalne i kemijske reakcije, a mnogi procesi u noj se nalaze u stanju dinamičke ravnoteže. Svakodnevna ljudska djelatnost, posebice u razvijenim dijelovima svijeta sve više dovodi do promjena sastava atmosfere, a time i do kakvoće zraka. Kao posljedica toga, u sastavu zraka mogu biti uključena razna plinovita onečišćavala, krute čestice i soli organskog i anorganskog porijekla.[1]

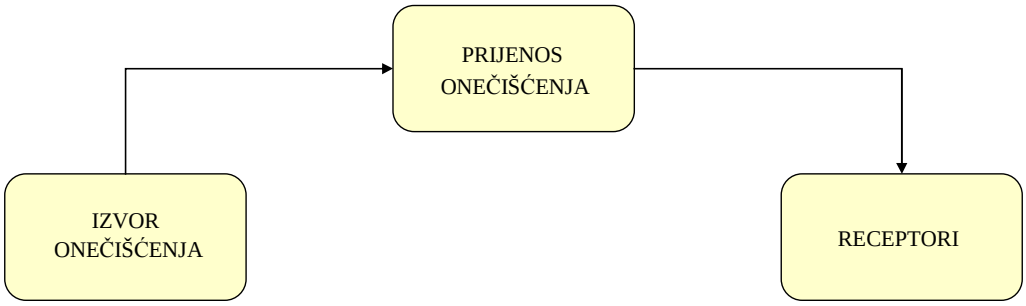
1.2. Onečišćenje zraka

Onečišćenje zraka definira se kao prisutnost jednog ili više onečišćavala u atmosferi u dostatno visokoj koncentraciji koja štetno ili opasno djeluje na zdravlje i dobrobit ljudi i/ili na okoliš i izaziva neželjene posljedice u okolišu.[1]
Onečišćujuća tvar ili onečišćivalo je svaka tvar ispuštena/unesena u atmosferu ljudskim djelovanjem ili prirodnim procesima, koja štetno djeluje na ljudsko zdravlje, vegetaciju, materijalna i kulturna dobra, smanjuje vidljivost i utječe na globalne procese u okolišu (učinak staklenika, nastajanje troposferskog ozona, smanjenje stratosferskog ozona ili oštećenje ozonskog sloja, globalno zagrijavanje) s nesagledivim posljedicama.[4]

Za razliku od onečišćenja zraka, koje se definira kao odstupanje od normalnog sastava zraka bez obzira čime je uzrokovano, zagađenjem zraka naziva se unos prirodnih ili sintetskih tvari u atmosferu u štetim količinama kao izravna ili neizravna posljedica ljudskog djelovanja. To su plinovi, pare, kapljice i čestice čija se prisutnost u zraku može pripisati ljudskom faktoru. Takve tvari nazivaju se zagađivalima, a izvori iz kojih se emitiraju zagađivačima.[6]

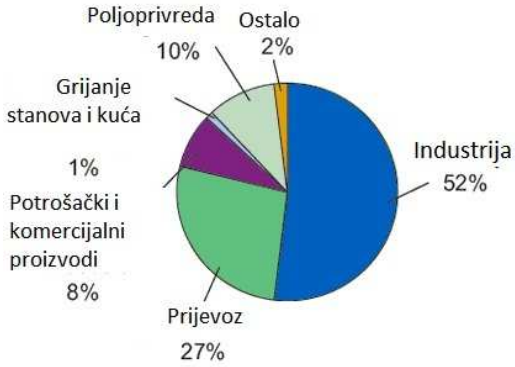
1.2.1. Izvori onečišćenja zraka

Izvor onečišćenja označava mjesto ispuštanja onečišćivala u atmosferu. Osnovni preduvjeti neophodni za nastajanje problema vezanih uz onečišćenje zraka su izvor onečišćenja, prijenos onečišćenja u okoliš i prisutnost odgovarajućeg receptora (slika 1.2).[1]



Slika 1.2. Onečišćenje zraka: izvori, prijenos i receptori onečišćenja.[1]

Na slici 1.3. prikazani su pojedini oblici izvora onečišćenja i njihov doprinos pri čemu najveći doprinos u onečišćenju zraka potječe iz industrije i prometa.



Slika 1.3. Izvori onečišćenja zraka.[9]

U tablici 1.2. prikazan je pregled godišnjih emisija štetnih tvari iz različitih izvora.

Tablica 1.2. Pregled godišnjih emisija štetnih tvari iz različitih izvora[5]

Izvor štetne tvari	**Vrsta štetne tvari, milijuni tona/godišnje**					
	CO	**Krutnine**	**SO_X**	**HC**	**NO_X**	**Ukupno**
Transport	69,1	1,4	0,9	7,8	9,1	88,3
Izgaranje goriva iz stacionarnih izvora	2,1	1,4	19,0	0,2	10,6	33,3
Spaljivanje otpada	5,8	3,7	3,8	10,8	0,7	24,8
Industrijski procesi	2,2	0,4	0,0	0,6	0,1	3,3
Spaljivanje biomase	6,2	0,9	0,0	2,4	0,2	9,7
Ukupno	85,4	7,8	23,7	21,8	20,7	159,4

Postoji nekoliko podjela izvora onečišćenja zraka, a najčešća je prema izvoru emisije i prema vrsti emisija u zrak.[1,6]

Prema položaju odnosno mobilnosti izvora u prostoru, izvori emisija mogu biti stacionarni (nepokretni) i nestacionarni (pokretni, mobilni).[4]

Stacionarni (nepokretni) izvori odnose se na postrojenja, tehnološke procese, različite industrijske pogone i uređaje, građevine i površine iz kojih se onečišćivala ispuštaju u zrak. S obzirom na jačinu izvora i intenzitet disperzije onečišćivala u okolišu stacionarni izvori dijele se na:[1,4]

- *Točkaste*: onečiščujuće tvari se ispuštaju u zrak u značajnim količinama kroz posebno oblikovane ispuste ili mjesta ispuštanja, npr. dimnjaci (postrojenja, tehnološki procesi, industrijski pogoni, uređaji, građevine i sl.).
- *Fugitivne (difuzne)*: onečiščujuće tvari se ispuštaju u zrak bez određenog ispusta, tj. dimnjaka (uređaji, razna propuštanja iz pumpi, ventila, brtvenica, cjevovoda, površina i drugih mjesta).
- *Površinske*: odnose se na izvore koji emitiraju male količine zagađivala.

Nestacionarni (pokretni) izvori su prijevozna sredstva koja ispuštaju onečišćujuće tvari u zrak (motorna vozila, lokomotive, plovni objekti, zrakoplovi).

Sljedeća podjela onečišćenja zraka dijeli prema vrsti emisija u atmosferu a obuhvaća prirodne ili biogene izvore i antropogene izvore.

Prirodni izvori emisija u zrak su različiti procesi anaerobne mikrobiološke razgradnje tla, vulkanske erupcije, atmosferska električna izbijanja, sagorijevanje biomase, šumski požari i slično. Spojevi kao što su CO_2, CH_4 i N_2O mogu u većoj količini nastati prirodnim procesima.

Antropogeni izvori emisija izazvani su ljudskom aktivnošću, a uglavnom obuhvaćaju procese sagorijevanja fosilnih goriva, procese sagorijevanja goriva u motornim vozilima te različitim industrijskim postrojenjima (uporaba organskih kemikalija, otapala, boja, obrada i odlaganje otpada).[4]

Prema trajanju boravka u atmosferi onečišćivala mogu biti:[1]

- ***kratkotrajnog učinka*** - ne odlaze dalje od 100 km od izvora emisije, lokalnog su karaktera.
- ***dugotrajnog učinka*** - odlaze dalje od 100 km od izvora emisije te utječu na promjenu koncentracija sastava zraka i na globalne efekte onečišćenja (npr. kisele kiše, efekt staklenika).

1.2.2. Podjela onečišćivala zraka

Onečišćivala zraka prema fizikalnom obliku mogu biti u obliku plina, pare ili disperznih sustava. Disperzni sustav je izraz koji se odnosi na sustav s dvije faze, od kojih je glavna faza plinovita, a u njoj može biti raspršena kapljevita ili kruta faza. Nastaje raspršivanjem sitnih krutih ili tekućih čestica u zraku. Primjeri disperznih sustava su prašina, dim, magla, sprej itd.[1]

Glavna podjela onečišćivala zraka je prema nastanku i prema kemijskom sastavu.[1,4,5,10]

Prema nastanku:

- ***Primarna onečišćivala*** - dolaze u atmosferu direktno iz izvora emisije (ugljikov(II) oksid (CO), ugljikov(IV) oksid (CO_2), ugljikovodici (RH), dušikovi oksidi (NO_x), sumporovi oksidi (SO_x), hlapljivi organski spojevi (VOC), teški metali, lebdeće čestice.)
- ***Sekundarna onečišćivala*** - nastaju u atmosferi kemijskim ili fotokemijskim reakcijama primarnih onečišćivala s prirodnim sastojcima atmosfere (aldehidi i ketoni, ozon, organski nitrati, sulfati, fotokemijski smog, NO_2, CO_2, organske kiseline) i često štetniji od primarnih onečišćivala.

Prema kemijskom sastavu: - anorganski plinovi (SO_X, NO_X, CO_X, O_3)
- organski plinovi
- čestice
- ostala onečišćavala (pelud, mikroorganizmi, teški metali i dr.)[1]

1.2.2.1. Anorganski plinovi

Anorganski plinovi nastaju tijekom procesa sagorijevanja goriva i uglavnom sadrže sumporove okside (SO_2 i SO_3), dušikove okside (NO i NO_2) te ugljikove okside (CO i CO_2).[1]

Sumporovi oksidi

Svi sumporovi oksidi, SO_x su štetni za okoliš, a u prvom redu se pri tome misli na sumporov(IV) oksid, SO_2, a u manjoj mjeri na sumporov(VI) oksid, SO_3. Više od 90% sumpora iz goriva emitira se u obliku SO_2, a svega 10% u obliku SO_3, koji u kontaktu s vodenom parom prelazi u sumpornu kiselinu, H_2SO_4.[6]

Prirodni izvori SO_x u atmosferi su mikrobiološka razgradnja organskih tvari (H_2S), vulkanske erupcije (H_2S, SO_2), biološke aktivnosti (vjetar iznad mora nosi sitne kapljice koje nakon isparavanja sadržavaju sulfate). Antropogeni izvori obuhvaćaju procesi sagorijevanja fosilnih goriva (ugaljen, nafta), industriju i promet.[1]

Dušikovi oksidi

Dušikovi oksidi, NO_x (NO, NO_2, N_2O_3, N_2O_4, N_2O_5) su vrlo reaktivni plinovi stoga se kratko zadržavaju u atmosferi, manje od 5 dana. Nastaju sagorijevanjem dušika i kisika iz zraka pri visokoj temperaturi, produkti sagorijevanja goriva u automobilima. Pri temperaturi većoj od 1000°C, dio se dušika iz zraka oksidira u dušikov(II) oksid, prema reakciji:

$$N_2 + O_2 \leftrightarrow 2NO \qquad (1\text{-}1)$$

Iako NO nije štetan jer je slabo topljiv u vodi i tkivima, važan je u onečišćenju zraka jer u atmosferi fotokemijskim reakcijama lako oksidira u štetan dušikov(IV) oksid, NO_2, koji je sekundarno onečišćivalo, prema reakciji:

$$2NO + O_2 \leftrightarrow 2NO_2 \qquad (1\text{-}2)$$

Prirodni izvori NO_x su gorenje biomase, šumski požari, električna izbijanja, oksidacija amonijaka, anaerobni procesi, a antropogeni promet, procesi sagorijevanja fosilnih goriva, industrija.[1,5]

Ugljikovi oksidi

Od ukupne količine CO koja dolazi u atmosferu, ljudske djelatnosti pridonose približno s udjelom od 10% i to kao rezultat nepotpunog sagorijevanja fosilnih goriva, prvenstveno iz automobilskih motora, što je prikazano reakcijom:

$$2C + O_2 \leftrightarrow 2CO \qquad (1\text{-}3)$$

Ostalih 90% CO dolazi u atmosferu iz prirodnih izvora gdje se CO pojavljuje zajedno s metanom u močvarnim i drugim plinovima prilikom razgradnje organske tvari. Nastaje i prilikom šumskih požara, erupcije vulkana, fotokemijskom oksidacijom ugljikovodika i dr. [1,6]

Ugljikov(IV) oksid, CO_2, prirodni je sastojak atmosfere u koncentraciji od 0,03% i ima bitnu ulogu u kruženju ugljika u prirodi. U atmosferu dolazi 10% CO_2 iz prirodnih izvora (požari, vulkanske aktivnosti, respiracija biljaka, životinja i ljudi, biološko raspadanje i oslobađanje iz oceana). Kao posljedica ljudskih aktivnosti 90% CO_2 dolazi u atmosferu, najčešće sagorijevanjem fosilnih goriva u različitim djelatnostima (proizvodnja električne energije, promet, proizvodnja cementa, energetika, procesi potpunog sagorijevanja fosilnih goriva, zbrinjavanje otpada itd.).[1,5,6]

1.2.2.2. Organski plinovi

Najznačajniji predstavnici organskih spojeva koji predstavljaju velik problem u zaštiti zraka su hlapljivi organski spojevi, *engl.* Volatile Organic Compounds (VOC) koji se ponekad ubrajaju u skupinu ugljikovodika, a mogu se prikazati općom formulom, C_xH_y. Također, u ovu skupinu spada grupa spojeva koja osim atoma ugljika i vodika može sadržavati i atome dušika i sumpora te imaju temperaturu vrelišta između 50°C i 260°C. To su aceton, metan, etan, metilni kloroform, metilen klorid,

klorofluorougljici (CFC), fluorougljici (FC) i hidroklorofluorougljici (HCFC). Glavni izvor navedenih spojeva je nepotpuno sagorijevanje organskih spojeva.[1]

1.2.2.3. Onečišćivala u obliku krutih čestica

Oblik onečišćenja zraka koji se svrstava pod zajedničko ime „čestice“, čini približno 5% mase svih onečišćenja. Veličina čestica može biti od 0,005 do oko 100 mikrometara. Prirodni izvori krutih čestica su prašina i pijesak iz suhih predjela, čestice pepela prilikom erupcije vulkana, čestice maritimnog porijekla (ioni natrija, kalcija, sulfata) koji uzrokuju salinizaciju tla. Antropogeni izvori obuhvaćaju izgaranje fosilnih goriva i biomase, promet i industrijski procese.[1]

1.2.2.4. Ostali uzročnici onečišćenja zraka

Ozon

Ozon je najvažnije sekundarno onečišćivalo. Pravog izvora ozona zapravo i nema, jer je za nastanak ozona potrebno proizvesti kisikove radikale. U troposferi nastaje pod djelovanjem sunčevih zraka (ultraljubičastih) i dušikovih oksida (NO_x) te radikala ugljikovodika i drugih organskih spojeva.[6] Ozon je onečišćivalo u nižim slojevima atmosfere, dok u višim formira ozonski sloj. U atmosferi nastaje sljedećim reakcijama:

$$O_2 \xrightarrow{h\nu} O\cdot + O\cdot \qquad (1\text{-}4)$$

$$O\cdot + O_2 \leftrightarrow O_3 \qquad (1\text{-}5)$$

Razaranje ozonskog sloja je prikazano sljedećim reakcijama:

$$CFCl_3 \xrightarrow{h\nu} CFCl_2 + Cl\cdot \qquad (1\text{-}6)$$

$$Cl\cdot + O_3 \rightarrow ClO\cdot + O_2 \qquad (1\text{-}7)$$

Teški metali

Teški metali (Fe, Zn, Cu, Hg, Pb, Cd, Ni, Sn, As, Se) su svrstani u najopasnija onečišćivala okoliša jer se mogu nakupljati u vitalnim organima živih bića uzrokujući čitav niz štetnih promjena kod ljudi i životinja. Teški metali mogu se emitirati u okoliš u elementarnom obliku ili u spojevima (organski i anorganski). U velikoj mjeri nalaze se u raspršenom obliku u stijenama. Industrijalizacija i urbanizacija imaju povećan antropogen doprinos teških metala u biosferi.

Glavni izvor emisija olova je cestovni promet korištenjem visoko-oktanskog benzina. Do emisije kadmija dolazi najviše pri sagorijevanju goriva, posebice loživog ulja, a u znatno manjoj mjeri pri termičkoj obradi otpada te iz prometa. Glavni izvor zagađenja zraka živom je zbog otplinjavanja iz zemljine kore (25 000 do 125 000 tona godišnje), a ostale emisije uzrokuju termoelektrane (sagorijevanje ugljena) te poljoprivredne djelatnosti.[1]

1.2.3. Posljedice onečišćenja zraka

Posljedice onečišćenja zraka mogu se s obzirom na prostor u kojem se opaža njihovo djelovanje promatrati na lokalnoj, regionalnoj i globalnoj razini. Lokalni problemi odnose se na neposredan utjecaj na zdravlje ljudi i vegetaciju te na materijalna i kulturna dobra (gradovi i veća industrijska područja). U tablici 1.3. i 1.4. navedeni su najvažniji utjecaji pojedinih štetnih plinova na okoliš i zdravlje.

Tablica 1.3. Utjecaj onečišćujućih tvari na ljudsko zdravlje[1]

Onečišćujaća tvar	Učinak
SO_x	iritiraju gornji dio dišnog sustava
NO_x	iritiraju oči i gornji dio dišnog sustava
CO	uzrokuje glavobolju, slabost, apsorbira se u krv
ozon	iritira oči, nos i grlo, uzrokuje slabost, utječe na rad pluća
ugljikovodici	potencijalno kancerogene tvari
čestice	povećavaju tegobe dišnog sustava

Antropogeni izvori onečišćenja zraka i njihovi štetni utjecaji prikazani su u tablici 1.4.

Tablica 1.4. Utjecaj onečišćujućih tvari na okoliš i predmete u okolišu[1]

Onečišćujaća tvar	Učinak
SO_x	oštećuju lišće, drveće, premaze, tekstil, uzrokuju koroziju metala
NO_x	oštećuju lišće i rast drveća, uzrokuju koroziju metala
ozon	uništava pigment lišća, tekstilne i gumene materijale
ugljikovodici	usporavaju rast biljaka
čestice	ubrzavaju kemijske reakcije, uzrokuju koroziju metala i nakupljanje prašine i nečistoća

Problemi regionalnog tipa odnose se na fotokemijski smog, pojavu kiselih kiša (zakiseljavanje tla i podzemnih voda), te eutrofikaciju, dok se globalni problemi odnose na troposferski ozon, razgradnju ozonskog sloja, učinak staklenika i globalne klimatske promjene (porast razine mora i saliniteta voda, smanjenje bioraznolikosti, erozija tla, dezertifikacija, promijenjena hidrologija i dr.).[1]

Fotokemijski smog

Fotokemijski smog je mješavina primarnih i sekundarnih onečišćivala, CO, NO_x, O_3 i C_xH_y. Proces formiranja fotokemijskog smoga odvija se preko složenih kemijskih rakcija oksdiacije, a rezultirajuća mješavina se sastoji od preko 100 spojeva među kojima su najvažniji ozon, peroksiacetilnitrat (PAN), dušikovi oksidi, aldehidi, ketoni i dr.[11]

Kisele kiše

Kisela kiša je padalina zagađena s SO_x, NO_x, CO_x i drugim kemijskim spojevima. Ovi spojevi u vlažnoj atmosferi s vodenom parom formiraju odgovarajuće kiseline. Normalna "čista" kiša ima pH od 5,5 do 6 dok kisela kiša ima pH od 3 do 5.[1]

Staklenički plinovi

Staklenički plinovi apsorbiraju toplinu emitiranu sa Zemljine površine te je ponovno zrače na Zemlju. Na taj način uzrokuju zagrijavanje površine zemlje i nižih slojeva atmosfere. Povećana koncentracija stakleničkih plinova uzrokovana ljudskim aktivnostima uzrokuje povećanu apsorpciju topline u atmosferi, odnosno dovodi do pojave poznate pod nazivom učinak staklenika ili globalno zagrijavanje. Najznačajniji predstavnici su vodena para, CO_2, CH_4, N_2O, O_3 i klorofluorougljikovodici (CFC).[1]

1.3. Zakonski propisi vezani za onečišćenje zraka u Republici Hrvatskoj

Pitanja vezana uz praćenje i utvrđivanje kakvoće zraka, izvora emisija i mjerenja emisija u zraku u Republici Hrvatskoj utvrđena su brojnim zakonskim i podzakonskim aktima. Temeljni dokument je Zakon o zaštiti zraka (NN 178/04 i NN 60/08), a iz njega proizlaze i ostali podzakonski dokumenti. Zakonom se određuju mjere, način organiziranja, provođenja i nadzora zaštite i poboljšanja kakvoće zraka, kao dijela okoliša od općeg dobra.[1]

Osnovne skupine onečišćivala zraka određene su podzakonskim aktima od kojih su najznačajniji:[7,10,11,12]

- Uredba o tvarima koje oštećuju ozonski sloj (NN 90/14)
- Ureda o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku (NN 133/05)
- Pravilnik o praćenju kakvoće zraka (NN 155/05)
- Uredba o kritičnim razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 133/05).

Uredba o tvarima koje oštećuju ozonski sloj propisuje tvari koje oštećuju ozonski sloj, a obuhvaća u najvećoj mjeri klorofluorougljikovodike, halogenirane klorofluorougljikovodike i halone (CF_2BrCl, CF_3Br, $C_2F_4Br_2$).

Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku propisuje granične, tolerantne i ciljne vrijednosti razina različitih tvari u zraku, a odnosi se na sljedeće skupne spojeva: SO_{2x}, NO_x, dim, CO, lebdeće čestice, sadržaj teških metala poput Pb, Cd, As, Mn, Ni i Hg, benzen, H_2S, merkaptane, NH_3, fenole i dr.

Pravilnik o praćenju kakvoće zraka propisuje način praćenja kakvoće zraka i prikupljanja podataka, mjerne postupke, način provjere kakvoće mjerenja i podataka, kao i način obrade i prikaza rezultata, način dostave podataka za potrebe informacijskog sustava kakvoće zraka te način redovitoga obavještavanja javnosti.

Uredba o kritičnim razinama onečišćujućih tvari u zraku propisuje kritične razine SO_x, NO_x i O_3 u zraku te posebne mjere zaštite zdravlja ljudi i okoliša koje se pri njihovoj pojavi moraju poduzeti.

Stupanj onečišćenja zraka prati se:

1. mjerenjem promjena onečišćenja zraka u nenaseljenim područjima (pozadinsko onečišćenje zraka),
2. mjerenjem promjena koje su posljedica regionalnog i prekograničnog prijenosa onečišćujućih tvari u zraku i oborina na teritoriju države,
3. mjerenjem onečišćenja zraka i oborina u gradovima i industrijskim područjima,
4. mjerenjem onečišćenja zraka u okolici industrijskih pogona, tehnoloških procesa, uređaja i difuznih izvora koje mogu utjecati na kakvoću zraka,
5. mjerenjem fizikalnog stanja atmosfere, odnosno meteoroloških uvjeta na lokacijama gdje se mjeri kakvoća zraka,
6. mjerenjem i opažanjem promjena na biljkama, građevinama i biološkim nalazima koje ukazuju na učinak onečišćenja zraka (posredni pokazatelji kakvoće zraka).[1]

Razina onečišćenosti odnosno *ocjena kakvoće zraka* temeljem izmjerenih, izračunatih ili procijenjenih veličina (parametara), ocjenjuje se na temelju sljedećih kriterija:

Granična vrijednost (GV) je propisana vrijednost, koncentracija i/ili razina emisije, izražena posebnim pokazateljima, koja u jednom ili tijekom više vremenskih razdoblja ne smije biti prekoračena. Pod tim se podrazumijeva granična razina onečišćenja ispod koje, na temelju znanstvenih spoznaja, ne postoji, ili je vrlo mali rizik štetnih učinaka na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini i jednom kada je postignuta ne smije se prekoračiti.

Tolerantna vrijednost (TV) je granična vrijednost uvećana za granicu tolerancije. Granica tolerancije zakonski je propisana a predstavlja postotak granične vrijednosti za koji ona može biti prekoračena.

Dugoročni cilj za ozon odnosi se na razinu onečišćenja koju treba postići u dužem vremenskom razdoblju, osim kada to nije moguće postići odgovarajućim mjerama, s ciljem osiguranja učinkovite zaštite ljudskog zdravlja i okoliša.

Ciljna vrijednost je razina onečišćenja postavljena s ciljem dugoročnog otklanjanja mogućih štetnih učinaka na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini koju treba postići u utvrđenom roku gdje je to moguće.

Kritična vrijednost je razina onečišćenosti čije prekoračenje predstavlja opasnost za ljudsko zdravlje pri kratkotrajnoj izloženosti. Kritične vrijednosti onečišćenja zraka propisane su za sumporov(IV) oksid, dušikov(IV) oksid i ozon.[1]

Prema razini onečišćenja s obzirom na propisane granične vrijednosti (GV), tolerantne vrijednosti (TV), ciljne vrijednosti i dugoročne ciljeve za ozon definiraju se sljedeće tri kategorije kakvoće zraka u Republici Hrvatskoj:

I kategorija - čisti ili neznatno onečišćen zrak - nisu prekoračene granične vrijednosti kakvoće zraka (GV) niti za jednu onečišćujuću tvar i dugoročni ciljevi za ozon.

II kategorija - umjereno onečišćen zrak - prekoračene su (GV) za jednu ili više onečišćujućih tvari, a nisu prekoračene tolerantne vrijednosti (TV) za jednu ili više onečišćujućih tvari i ciljane vrijednosti za ozon.

III kategorija - prekomjerno onečišćen zrak - prekoračene su tolerantne vrijednosti (TV) za jednu ili više onečišćujućih tvari i ciljane vrijednosti za ozon.[1]

Dozvoljena koncentracija štetnih tvari u zraku (imisijska koncentracija) propisana je zakonskom regulativom temeljem spoznaja o njihovoj štetnosti. Kritične, granične i tolerantne vrijednosti koncentracija onečišćujućih tvari u zraku (SO_2, NO_2, CO, O_3) prikazane su u tablicama od 1.5. do 1.8.

Tablica 1.5. Kritične razine onečišćenja zraka s SO_2 i NO_2[13]

Onečišćujuća tvar	**Kritična razina**
SO_2	500 $\mu g/m^3$
NO_2	400 $\mu g/m^3$

Tablica 1.6. Kritične razine onečišćenja zraka s O_3[13]

	Vrijeme usrednjavanja*	**Razina**
Upozoravajuća razina	jednosatni prosjek	180 $\mu g/m^3$
Kritična razina	jednosatni prosjek	240 $\mu g/m^3$

* Vrijeme usrednjavanja predstavlja vremenski razmak propisanog trajanja unutar kojeg srednja vrijednost po vremenu predstavlja pojedinačnu vrijednost razine onečišćenosti.[1]

Tablica 1.7. Granične i tolerantne vrijednosti koncentracija onečišćujućih tvari u zraku s obzirom na zdravlje ljudi[1]

Onečišćujuća tvar	Vrijeme usrednjavanja	Razina granične vrijednosti (GV)	Učestalost dozvoljenih prekoračenja	Razina tolerantne vrijednosti (TV)	Učestalost dozvoljenih prekoračenja (TV)
SO_2	1 sat	350 μg/m^3	< 24 puta tijekom 1 godine	500 μg/m^3	< 24 puta tijekom 1 godine
	24 sata	125 μg/m^3	< 3 puta tijekom 1 godine	-	-
NO_2	1 sat	200 μg/m^3	< 18 puta tijekom 1 godine	300 μg/m^3	< 18 puta tijekom 1 godine
	24 sata	80 μg/m^3	< 7 puta tijekom 1 godine	120 μg/m^3	< 7 puta tijekom 1 godine
CO	max. dnevna osmosatna sr. vrijednost	10 mg/m^3	-	16 mg/m^3	-

Tablica 1.8. Granične vrijednosti koncentracija onečišćujućih tvari u zraku s obzirom na zaštitu ekosustava i vegetacije[1]

Onečišćujuća tvar	Vrijeme usrednjavanja	Razina granične vrijednosti (GV)
SO_2	1 godina	20 μg/m^3
NO_x	1 godina	30 μg/m^3

Indeks kakvoće zraka sastoji se od pet razina (različitog obojenja) u rasponu vrijednosti od 0 (vrlo nisko) do >100 (vrlo visoko) i relativna je mjera onečišćenja zraka. Niže vrijednosti (razine) indeksa označavaju čišći zrak. Vrijednost indeksa ovisi o koncentracijama onečišćujućih tvari (NO_2, SO_2, i CO) sukladno *Europskom Common Air Quality Index-u* (CAQI), a prikazane su u tablici 1.9.[14]

Tablica 1.9. Vrijednosti indeksa kakvoće zraka za onečišćujuće tvari (NO_2, SO_2, i CO) sukladno *Europskom Common Air Quality Index-u* (CAQI).[14]

Onečišćenje	Raspon vrijednosti indeksa	Koncentracije onečišćujućih tvari [µg/m^3]		
		NO_2	**CO**	**SO_2**
		1 sat	**8-satna**	**1 sat**
VRLO VISOKO	>100	>400	>20000	>500
VISOKO	100	400	20000	500
	75	200	10000	350
SREDNJE	75	200	10000	350
	50	100	7500	100
NISKO	50	100	7500	100
	25	50	5000	50
VRLO NISKO	25	50	5000	50
	0	0	0	0

Za svaku onečišćujuću tvar indeks se računa na temelju izmjerene, satne koncentracije. Ukupni indeks je najveći indeks neke onečišćujuće tvari u određenom trenutku na pojedinoj postaji za mjerenje kakvoće zraka.

1.4. Osvrt na antropološke izvore onečišćenja zraka na području Splitsko-dalmatinske županije

Splitsko-dalmatinska županija prostorno je najveća županija u Republici Hrvatskoj. Županija ima tri glavne reljefne cjeline: visoko zaleđe (Zagora), gusto naseljen obalni pojas i otoke. Zaleđe županije i otoci nemaju industrijske pogone, dok Splitska urbana aglomeracija predstavlja prometni i industrijski centar županije. Do 1990. godine ovo područje je bilo najveće industrijsko središte na istočnoj obali Jadranskog mora s razvijenom metaloprerađivačkom i kemijskom industrijom koje su predstavljale najvažnije antropološke izvore onečišćenja zraka. Danas glavne industrijske izvore onečišćenja zraka predstavljaju cementara, metaloprerađivačka i brodograđevna industrija, odlagalište otpada, promet kao i nesanirana područja nekadašnjih industrijskih objekata.[15]

Cementna industrija je potencijalni izvori onečišćenja zraka prilikom eksploatacije i obrada sirovine pri čemu čestice prašine u okoliš nose metale koji su prirodno prisutni u laporu, najčešće Cr, C, Cu, Pb, Hg i Zn. Za vrijeme proizvodnje klinkera, pri temperaturama od 1600°C u rotacionoj peći, metali hlape, a zatim hlađenjem klinkera kondenziraju na česticama prašine koje kroz dimnjak mogu biti ispuštene u okoliš. Proces proizvodnje cementa je energetski vrlo zahtjevan i troše se velike količine goriva, najčešće loživog ulja, plina i ugljena, a njegovim sagorijevanje emitiraju se u okoliš oksidi dušika, ugljika i sumpora.

Metaloprerađivačka industrija proizvodnim procesima pridonosi emisiji metalne prašine, lebdećih čestica), kao i emisija od sagorijevanje goriva koje se koristi za održavanje proizvodnog procesa.

Brodograđevna industija doprinosi emisijama štetnih tvari u okoliš rezanjem i pripremom metalnih površina, koja se obavlja postupkom pjeskarenja, pri čemu nastaju sitne metalne čestice koje se zračnim strujanjima raznose po okolišu. Zaštitni premazi i boje nanose se na metalne površine u obliku finog spreja pri čemu fine čestice dospijevaju u zrak, a kasnije taloženjem i ispiranjem u more i tlo.

Odlaganje otpada na odlagalištu „Karepovac“' provodi se od 1964. godine. Na ukupnoj površini od oko 160 000 m^2 godišnje se odloži oko 121.000 t miješanog komunalnog otpada bez primarne separacije. Emisije onečišćivala u zrak nastaju tijekom procesa truljenja otpada te zbog izgaranja motornog goriva pri radu mehanizacije na odlagalištu.

Područje između Trogira, Splita i Omiša predstavlja najfrekventniju mrežu međugradskih i lokalnih prometnica. Zabilježen je najveći prosječni godišnji dnevni promet i najveći prosječni dnevni ljetni promet u Republici Hrvatskoj, oko 50 000 vozila dnevno. Na području Kaštela nalazi se zračna luka kroz koju godišnje prođe oko 2 milijuna putnika. Izgaranje motornog i avionskog goriva značajno doprinosi povećanju emisija onečišćivala u okoliš.

Onečišćenje zraka na području Splita i Kaštelanskog zaljeva najvećim je dijelom posljedica emisija iz industrije cementa. Emisije naglo rastu 1983./84. godine, jer se gotovo preko noći u tvornicama cementa umjesto mazuta, kao gorivo počinje koristiti ugljen, da bi se povratkom na mazut, emisije ponovo lagano smanjivale do 1991. godine. Zrak istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva u čitavom razdoblju ispitivanja (od 1975. do 1998. godine) bio je prekomjerno onečišćen, odnosno III. kategorije. Porast, odnosno pad proizvodnje, uvođenje novih tehnologija, zamjena goriva, uvođenje sustava za otprašivanje, odražavalo se na kakvoću zraka ispitivanog područja.

Kakvoća zraka u okolišu mjerne postaje između cementnih industrija Sv. Juraj i Sv. Kajo tijekom 2006. godine bila je: umjereno onečišćena, odnosno II. kategorije kakvoće s obzirom na sadržaj olova i kadmija u netopljivom dijelu taložive tvari.[16]

2. EKSPERIMENTALNI DIO

2.1. Lokacije mjernih mjesta

Prikupljanje mjernih rezultata ili uzorkovanje zraka za naknadnu analizu treba izvesti na ispravan način, ovisno o tome da li se rezultati prikupljaju u cilju utvrđivanja kakvoće zraka za zaštitu ljudskog zdravlja, zaštitu vegetacije i slično. Stoga, odabrana lokacija treba biti reprezentativna, a izmjereni pokazatelji predstavljati značajnu kakvoću zraka u okolišu.[1]

2.1.1. Odabir lokacije pozadinskih mjerenja

Osnovni kriterij za lokaciju pozadinskih mjerenja (mjerenje promjena onečišćenja zraka u nenaseljenim područjima) onečišćenja je smještaj u prirodnom ruralnom okruženju, pri tome treba osigurati sljedeće uvjete:[13]

- Odabrana lokacija treba biti reprezentativna za šire područje. Veličina toga područja ovisna je o svojstvima i varijabilnosti kakvoće zraka i oborina. Lokacije u blizini urbanih i industrijskih područja nisu poželjne jer njihov utjecaj na pozadinske koncentracije nije zanemariv, čime se gubi svrha pozadinskih mjerenja. Lokacije u kojima dolazi do zadržavanja zračnih masa i temperaturnih inverzija treba izbjegavati, a idealna pozicija za mjerno mjesto je u blago brdovitom terenu.
- Mjerni instrumenti i instrumenti za uzorkovanje kakvoće zraka trebaju biti smješteni unutar manjeg objekta s osiguranim priključkom za električno napajanje.
- Dokumentaciju mjernog mjesta čine podaci o namjeni i korištenju zemljišta, topografiji područja i meteorološkim uvjetima (strujanje, klimatološki podaci), u obliku karti, tablica i dijagrama.
- Međusobna udaljenost lokacija pozadinskih mjerenja ovisi o jakosti emisijskih izvora, strujanju, topografiji i kemijskim i fizikalnim svojstvima pojedinih onečišćujućih tvari.

2.1.2. Odabir makrolokacija

Na mjernim mjestima na kojima se prati kakvoća zraka s ciljem zaštite ljudskog zdravlja podaci se prikupljaju unutar naseljenog područja gdje se očekuju najviše koncentracije onečišćujućih tvari. Mjerna mjesta treba odabrati tako da se izbjegne mjerenje mikrosredine okoliša, odnosno da obuhvaća područje od najmanje 200 m^2 ako se prati onečišćenje od prometa, 250 m x 250 m u industrijskom područje te nekoliko kvadratnih kilometara u gradskim područjima za praćenje pozadinskog onečišćenja. Na mjernim mjestima na kojima se prati kakvoća s ciljem zaštite vegetacije, mjerna lokacija mora biti smještena na udaljenosti većoj od 20 km od naseljenog područja ili većoj od 5 km od ostalih izgrađenih područja, industrijskih postrojenja ili prometnica.[13]

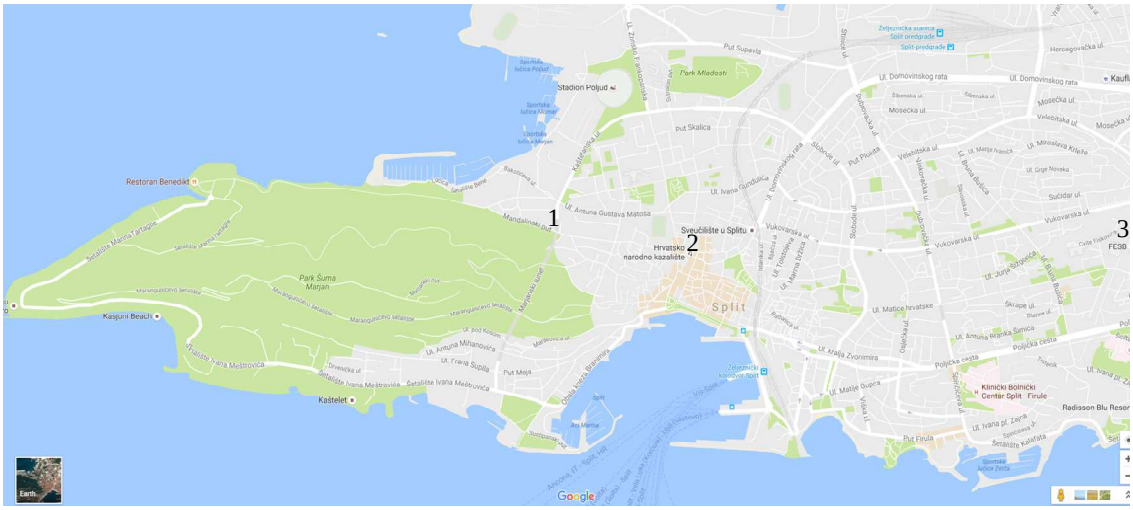
2.1.3. Odabir mikrolokacija

Kod odabira mikrolokacije, lokacije na kojima se provodi mjerenje, treba osigurati da je područje oko mjernog instrumenta otvoreno, tako da se omogući slobodno strujanje zraka. Mjerni instrument treba biti na visini između 1,5 m (zona disanja) i 4 m iznad tla. Mjerni instrument se ne smije postaviti u neposrednu blizinu izvora emisije kako bi se izbjeglo direktno mjerenje emisija koje nisu izmiješane s okolnim zrakom.

Postavljanje mjernog instrumenta za praćenje onečišćenja iz prometa:

- za sve onečišćujuće tvari, ova mjerna mjesta moraju biti najmanje 25 m udaljena od ruba glavnih raskrižja i najmanje 4 m udaljena od sredine najbliže prometne trake
- za dušikov(IV) oksid i ugljikov(II) oksid, mjerni instrument treba biti najviše 5 m udaljen od ruba pločnika.[13]

U eksperimentalnom dijelu rada izvršeno je određivanje kakvoće zraka na tri odabrane lokacije (mikrolokacije) na području grada Splita prikazane na slici 2.1.



Slika 2.1. Geografski položaj grada Splita sa tri odabrane lokacije (Lokacija 1: Sjeverni ulaz marijanskog tunela; Lokacija 2: Trg Gaje Bulata; Lokacija 3: Ispred zgrade Kemijsko-tehnološkog fakulteta, Ruđera Boškovića 35).

Lokacije su izabrane u cilju usporedbe kakvoće zraka u prometnom, gradskom i prigradskom području grada Splita. Na tri odabrane lokacije izmjereni su odabrani parametri kakvoće zraka, koncentracija imisija CO, NO_2 i SO_2 uz tri uzastopna mjerenja.

2.2. Mjerenje koncentracija imisija CO, NO_2 i SO_2

Za mjerenje koncentracija imisija CO, NO_2 i SO_2 koristio se mjerni uređaj, digitalni instrument (Advanced Sense Environmental Test Meter) sa senzorom za analizu CO, NO_2, SO_2 i temperature (Slika 2.2).



Slika 2.2. Uređaj za mjerenje koncentracije CO, NO_2, SO_2 i temperature (Advanced Sense Environmental Test Meter).[1]

Količina onečišćivala mjeri se pomoću fotoionizacijskog detektora, senzora (*engl.* Photo Ionization Detector). PID senzor se sastoji od filter membrane, ultraljubičaste žarulje i detektora, tj. elektrode. Plin prolazi kroz filter membranu kako bi se onemogućio ulaz česticama i tekućinama te se izlaže visokoj energiji UV zračenja koji ionizira molekule plina. Molekule se prevode u pozitivno ili negativno nabijene ione. Količina električki nabijenih iona određuje se na elektrodi (elektrokemijski) i izražava kao koncentracija u ppm jedinicama.

Reakcija koja se odvija tijekom ionizacije je:

$$M + \gamma \rightarrow M^+ + e^- \qquad (2\text{-}1)$$

gdje je:

- M - molekula koja se ionizira
- γ – foton.

Da bi se molekule mogle ionizirati UV lampom (UV zračenjem), ionizacijski potencijal molekula mora biti manji od energije UV lampe. Uređaj koristi UV lampu od 10,6 elektron volti (eV). Glavne komponente zraka, kao što su dušik, kisik, metan i

ugljikov(IV) oksid imaju veći ionizacijski potencijal od potencijala UV lampe, tako da se ne mogu detektirati pomoću PID senzora.

2.2.1. Izražavanje koncentracije plina

U literaturi vezanoj za onečišćenje zraka, koncentracija onečišćivala najčešće se iskazuje u ppm_V i ppb_V mjernim jedinicama. Oznaka "V" u indeksu odnosi se na plin, budući se pretvorba jedinca izraženih u ppm ili ppb jedinicama u SI jedinice za plinove i otopine razlikuje.

Za otopine vrijedi:

1 ppm = 1 mg/L

1 ppb = 1 μg/L

Dva su načina iskazivanja koncentracija plinova u zraku:

- kao volumni udio, dijelovi po volumenu, dijelovi na milijon (ppm) ili dijelovi na bilion (ppb)
- kao masa po jedinici volumena, npr. mg/m^3

Uređaji za mjerenje koncentracija plinova u zraku često daju rezultat u ppm_V i ppb_V mjernim jedinicama, a njihovo značenje je prikazano jednadžbama (2-2) i (2-3).

$$[ppm_V] = \frac{\text{dio molekula plina}}{\text{milion dijelova zraka}} = \frac{1L}{10^6 L} \tag{2-2}$$

$$[ppb_V] = \frac{\text{dio molekula plina}}{\text{bilion dijelova zraka}} = \frac{1L}{10^9 L} \tag{2-3}$$

Za pretvaranje koncentracija izraženih u ppm_V mjernim mjedinicama, u mg/m^3 i $\mu g/m^3$ pri standardnim uvjetima (273,15 K i 101325 Pa) koriste se sljedeće jednadžbe:

$$\gamma_p = \frac{M}{V_m^o} \cdot [ppm_V] \text{ , } mg/m^3 \quad (2\text{-}4)$$

$$\gamma_p = \frac{M}{V_m^o} \cdot [ppm_V] \cdot 1000 \text{ , } \mu g/m^3 \quad (2\text{-}5)$$

gdje je:

- γ_p - vrijednost izračunate koncentracije u mg/m^3 ili $\mu g/m^3$
- M - molarna masa komponente, g/mol
- V_m^o - molarni volumen plina pri standardnim uvjetima (273,15 K i 101325 Pa), 22,4 dm^3/mol
- $[ppm_V]$ - vrijednost izmjerene koncentracije

Za pretvaranje koncentracija plinova izraženih u ppm_V mjernim mjedinicama, u mg/m^3 i $\mu g/m^3$ pri realnim uvjetima (izmjerena temperatura i tlak) koriste se sljedeće jednadžbe:

$$\gamma_p = M \cdot \frac{p}{R \cdot T} \cdot [ppm_V] \text{ , } mg/m^3 \quad (2\text{-}6)$$

$$\gamma_p = M \cdot \frac{p}{R \cdot T} \cdot [ppm_V] \text{ , } \mu g/m^3 \quad (2\text{-}7)$$

gdje je:

- p - atmosferski tlak, Pa
- R - opća plinska konstanta, 8314, $Pa \cdot L/(mol \cdot K)$
- T - temperatura, K

2.2.2. Postupak mjerenja

Mjerenja se provode na tri odabrane lokacije u gradu Splitu (Lokacija 1: Sjeverni ulaz marijanskog tunela; Lokacija 2: Trg Gaje Bulata; Lokacija 3: Ispred zgrade Kemijsko-tehnološkog fakulteta, Ruđera Boškovića 35) dva puta mjesečno u periodu od šest mjeseci uz vrijeme usrednjavanja od jedan sat. Mjernim mjestom se naziva mjesto na kojem se obavljaju mjerenja. Pravilni način mjerenja imisije je putem prosječnih vrijednosti (najmanje tri mjerenja), stoga se određuju prosječne vrijednosti imisija na tri mjerna mjesta.

Uobičajeni postupak mjerenja podrazumijeva određivanje sastava odabranih parametara kakvoće zraka na odabranim lokacijama pri istim uvjetima (visina mjerenja). Uređaj se uključi te se izmjeri koncentracija SO_2, NO_2 i CO kada se vrijednosti na uređaju ustale (najmanje tri mjerenja). Računanjem prosječnih vrijednosti smanjuje se mogućnost pogreške uslijed kolebanja izmjerenih vrijednosti. Na ovaj način mjerenja dobiva se najbolja moguća slika o kakvoći zraka.

Nakon provedbe mjerenja, na temelju izmjerenih vrijednosti koncentracija CO, NO_2, SO_2, okolne temperature i tlaka zraka, korištenjem izraza (2-6) i (2-7) izračunate su koncentracije plinova izražene u SI jedinicama i uspoređene s vrijednostima propisanim zakonskom regulativom. Dobiveni rezultati mjerenja prikazani su tablično.

3. REZULTATI

Rezultati mjerenja koncentracija SO_2, NO_2 i CO te temperature i tlaka na tri odabrane lokacije na području grada Splita tijekom šest mjeseci prikazani su u tablicama 3.1. - 3.18.

Tablica 3.1. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 1 za mjesec siječanj

Datum mjerenja: 15.1.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,01	0,25	0,90	284,6	100130
2	0,01	0,36	0,80	284,6	100130
3	0,01	0,31	1,10	284,6	100130
Srednja vrijednost	0,01	0,31	0,93	284,6	100130
Datum mjerenja: 29.1.2016.					
1	0,02	0,58	0,90	283,3	102400
2	0,01	0,35	1,30	283,3	102400
3	0,02	0,47	1,60	283,3	102400
Srednja vrijednost	0,02	0,47	1,27	283,3	102400

Tablica 3.2. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 2 za mjesec siječanj

Datum mjerenja: 15.1.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,03	0,10	0,00	284,6	100130
2	0,05	0,09	0,00	284,6	100130
3	0,02	0,11	0,00	284,6	100130
Srednja vrijednost	0,03	0,10	0,00	284,6	100130
Datum mjerenja: 29.1.2016.					
1	0,03	0,11	0,00	283,3	102400
2	0,02	0,08	0,00	283,3	102400
3	0,03	0,07	0,00	283,3	102400
Srednja vrijednost	0,27	0,09	0,00	283,3	102400

Tablica 3.3. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 3 za mjesec siječanj

Datum mjerenja: 15.1.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,03	0,09	0,00	284,6	100130
2	0,04	0,04	0,00	284,6	100130
3	0,03	0,09	0,00	284,6	100130
Srednja vrijednost	0,03	0,22	0,00	284,6	100130
Datum mjerenja: 29.1.2016.					
1	0,02	0,08	0,00	283,3	102400
2	0,02	0,09	0,00	283,3	102400
3	0,02	0,10	0,00	283,3	102400
Srednja vrijednost	0,02	0,09	0,00	283,3	102400

Tablica 3.4. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 1 za mjesec veljaču

Datum mjerenja: 15.2.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,02	0,58	0,90	285,1	100220
2	0,01	0,35	1,30	285,1	100220
3	0,04	0,47	1,60	285,1	100220
Srednja vrijednost	0,02	0,47	1,27	285,1	100220
Datum mjerenja: 29.2.2016.					
1	0,01	0,18	0,80	286,8	100980
2	0,02	0,26	1,40	286,8	100980
3	0,01	0,22	1,10	286,8	100980
Srednja vrijednost	0,01	0,22	1,10	286,8	100980

Tablica 3.5. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 2 za mjesec veljaču

Datum mjerenja: 15.2.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,03	0,08	0,00	285,1	100220
2	0,02	0,08	0,00	285,1	100220
3	0,03	0,07	0,00	285,1	100220
Srednja vrijednost	0,03	0,02	0,00	285,1	100220
Datum mjerenja: 29.2.2016.					
1	0,01	0,10	0,00	286,8	100980
2	0,01	0,07	0,00	286,8	100980
3	0,00	0,11	0,00	286,8	100980
Srednja vrijednost	0,01	0,09	0,00	286,8	100980

Tablica 3.6. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 3 za mjesec veljaču

Datum mjerenja: 15.2.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,01	0,08	0,00	285,1	100220
2	0,01	0,05	0,00	285,1	100220
3	0,01	0,04	0,00	285,1	100220
Srednja vrijednost	0,01	0,06	0,00	285,1	100220
Datum mjerenja: 29.2.2016.					
1	0,01	0,03	0,00	286,8	100980
2	0,00	0,05	0,00	286,8	100980
3	0,01	0,06	0,00	286,8	100980
Srednja vrijednost	0,01	0,05	0,00	286,8	100980

Tablica 3.7. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 1 za mjesec ožujak

Datum mjerenja: 15.3.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,01	0,12	1,20	289,7	100720
2	0,01	0,19	1,50	289,7	100720
3	0,01	0,16	1,10	289,7	100720
Srednja vrijednost	0,01	0,16	1,27	289,7	100720
Datum mjerenja: 31.3.2016.					
1	0,01	0,26	1,30	293,8	101400
2	0,01	0,31	1,40	293,8	101400
3	0,01	0,21	1,60	293,8	101400
Srednja vrijednost	0,01	0,26	1,43	293,8	101400

Tablica 3.8. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 2 za mjesec ožujak

Datum mjerenja: 15.3.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,01	0,02	0,00	289,7	100720
2	0,02	0,09	0,00	289,7	100720
3	0,00	0,11	0,00	289,7	100720
Srednja vrijednost	0,01	0,07	0,00	289,7	100720
Datum mjerenja: 31.3.2016.					
1	0,01	0,11	0,00	293,8	101400
2	0,02	0,09	0,00	293,8	101400
3	0,01	0,11	0,00	293,8	101400
Srednja vrijednost	0,01	0,10	0,00	293,8	101400

Tablica 3.9. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 3 za mjesec ožujak

Datum mjerenja: 15.3.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,01	0,06	0,00	289,7	100720
2	0,00	0,06	0,00	289,7	100720
3	0,01	0,08	0,00	289,7	100720
Srednja vrijednost	0,01	0,07	0,00	289,7	100720
Datum mjerenja: 31.3.2016.					
1	0,01	0,10	0,00	293,8	101400
2	0,00	0,09	0,00	293,8	101400
3	0,01	0,05	0,00	293,8	101400
Srednja vrijednost	0,01	0,08	0,00	293,8	101400

Tablica 3.10. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 1 za mjesec travanj

Datum mjerenja: 15.4.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,01	0,33	1,20	295,4	101600
2	0,01	0,37	1,40	295,4	101600
3	0,01	0,35	1,30	295,4	101600
Srednja vrijednost	0,01	0,35	1,30	295,4	101600
Datum mjerenja: 29.4.2016.					
1	0,01	0,22	1,50	296,1	101210
2	0,01	0,20	1,30	296,1	101210
3	0,01	0,18	1,20	296,1	101210
Srednja vrijednost	0,01	0,20	1,33	296,1	101210

Tablica 3.11. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 2 za mjesec travanj

Datum mjerenja: 15.4.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,01	0,13	0,00	295,4	101600
2	0,02	0,08	0,00	295,4	101600
3	0,01	0,10	0,00	295,4	101600
Srednja vrijednost	0,01	0,10	0,00	295,4	101600
Datum mjerenja: 29.4.2016.					
1	0,00	0,11	0,00	296,1	101210
2	0,00	0,06	0,00	296,1	101210
3	0,00	0,10	0,00	296,1	101210
Srednja vrijednost	0,00	0,09	0,00	296,1	101210

Tablica 3.12. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 3 za mjesec travanj

Datum mjerenja: 15.4.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,00	0,07	0,00	295,4	101600
2	0,00	0,14	0,00	295,4	101600
3	0,00	0,05	0,00	295,4	101600
Srednja vrijednost	0,00	0,09	0,00	295,4	101600
Datum mjerenja: 29.4.2016.					
1	0,00	0,10	0,00	296,1	101210
2	0,00	0,10	0,00	296,1	101210
3	0,00	0,10	0,00	296,1	101210
Srednja vrijednost	0,00	0,10	0,00	296,1	101210

Tablica 3.13. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 1 za mjesec svibanj

Datum mjerenja: 13.5.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,00	0,17	1,30	297,7	100460
2	0,00	0,16	1,40	297,7	100460
3	0,00	0,20	1,50	297,1	100460
Srednja vrijednost	0,00	0,18	1,40	297,1	100460
Datum mjerenja: 31.5.2016.					
1	0,00	0,22	1,50	298,5	100970
2	0,00	0,20	1,30	298,5	100970
3	0,00	0,18	1,20	298,5	100970
Srednja vrijednost	0,00	0,20	1,33	298,5	100970

Tablica 3.14. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 2 za mjesec svibanj

Datum mjerenja: 13.5.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,00	0,09	0,00	297,7	100460
2	0,00	0,06	0,00	297,7	100460
3	0,00	0,10	0,00	297,1	100460
Srednja vrijednost	0,00	0,08	0,00	297,1	100460
Datum mjerenja: 31.5.2016.					
1	0,00	0,09	0,00	298,5	100970
2	0,00	0,11	0,00	298,5	100970
3	0,00	0,10	0,00	298,5	100970
Srednja vrijednost	0,00	0,10	0,00	298,5	100970

Tablica 3.15. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 3 za mjesec svibanj

Datum mjerenja: 13.5.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,00	0,09	0,00	297,7	100460
2	0,00	0,09	0,00	297,7	100460
3	0,00	0,10	0,00	297,1	100460
Srednja vrijednost	0,00	0,09	0,00	297,1	100460
Datum mjerenja: 31.5.2016.					
1	0,00	0,10	0,00	298,5	100970
2	0,00	0,11	0,00	298,5	100970
3	0,00	0,10	0,00	298,5	100970
Srednja vrijednost	0,00	0,10	0,00	297,1	100460

Tablica 3.16. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 1 za mjesec lipanj

Datum mjerenja: 15.6.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,00	0,19	1,50	299,2	101260
2	0,00	0,16	1,30	299,2	101260
3	0,00	0,18	1,20	299,2	101260
Srednja vrijednost	0,00	0,18	1,33	299,2	101260
Datum mjerenja: 30.6.2016.					
1	0,00	0,18	1,50	302,4	101180
2	0,00	0,16	1,30	302,4	101180
3	0,00	0,18	1,20	302,4	101180
Srednja vrijednost	0,00	0,17	1,33	302,4	101180

Tablica 3.17. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 2 za mjesec lipanj

Datum mjerenja: 15.6.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,00	0,10	0,00	299,2	101260
2	0,00	0,10	0,00	299,2	101260
3	0,00	0,10	0,00	299,2	101260
Srednja vrijednost	0,00	0,10	0,00	299,2	101260
Datum mjerenja: 30.6.2016.					
1	0,00	0,10	0,00	302,4	101180
2	0,00	0,09	0,00	302,4	101180
3	0,00	0,08	0,00	302,4	101180
Srednja vrijednost	0,00	0,09	0,00	302,4	101180

Tablica 3.18. Rezultati mjerenja provedeni na Lokaciji 3 za mjesec lipanj

Datum mjerenja: 15.6.2016.					
Broj mjerenja	γ_p (ppm)			T (K)	p (Pa)
	SO_2	NO_2	CO		
1	0,00	0,10	0,00	299,2	101260
2	0,00	0,09	0,00	299,2	101260
3	0,00	0,10	0,00	299,2	101260
Srednja vrijednost	0,00	0,01	0,00	299,2	101260
Datum mjerenja: 30.6.2016.					
1	0,00	0,09	0,00	302,4	101180
2	0,00	0,10	0,00	302,4	101180
3	0,00	0,10	0,00	302,4	101180
Srednja vrijednost	0,00	0,01	0,00	302,4	101180

4. RASPRAVA

4.1. Analiza rezultata mjerenja koncentracija SO_2, NO_2 i CO u zraku

Rezultati mjerenja koncentracija SO_2, NO_2 i CO dva puta mjesečno u periodu od šest mjeseci (tablice 3.1.-3.18.) na tri odabrane lokacije izraženi u ppm_V mjernim jedinicama preračunati su u mg/m^3 i $\mu g/m^3$ pri realnim uvjetima (izmjerena temperatura i tlak) primjenom jednadžbi (2-6) i (2-7). Srednje izračunate vrijednosti koncentracija SO_2, NO_2 i CO prikazani su u tablicama 4.1.-4.3.

Tablica 4.1. Srednje izračunate vrijednosti koncentracija SO_2, NO_2 i CO na Lokaciji 1

Lokacija 1			
Datum mjerenja	γ_p ($\mu g/m^3$)		
	SO_2	NO_2	CO
15.1.2016.	27,100	596,828	1105,90
29.1.2016.	46,403	933,069	1541,93
15.2.2016.	63,179	907,439	1499,57
29.2.2016.	36,161	428,482	1304,36
15.3.2016.	26,780	301,299	1483,12
31.3.2016.	26,584	496,378	1666,02
15.4.2016.	26,493	665,893	1505,83
29.4.2016.	26,329	378,154	1534,87
13.5.2016.	0,000	373,560	1516,23
31.5.2016.	0,000	330,564	1518,92
15.6.2016.	0,000	330,738	1519,72
30.6.2016.	0,000	320,810	1502,45

Tablica 4.2. Srednje izračunate vrijednosti koncentracija SO_2, NO_2 i CO na Lokaciji 2

Lokacija 2			
Datum mjerenja	γ_p ($\mu g/m^3$)		
	SO_2	NO_2	CO
15.1.2016.	90,334	194,618	0,000
29.1.2016.	74,244	173,284	0,000
15.2.2016.	72,205	149,079	0,000
29.2.2016.	18,080	181,780	0,000
15.3.2016.	26,780	141,033	0,000
31.3.2016.	35,446	197,279	0,000
15.4.2016.	35,323	196,597	0,000
29.4.2016.	0,000	170,169	0,000
13.5.2016.	0,000	155,682	0,000
31.5.2016.	0,000	187,112	0,000
15.6.2016.	0,000	187,210	0,000
30.6.2016.	0,000	166,575	0,000

Tablica 4.3. Srednje izračunate vrijednosti koncentracija SO_2, NO_2 i CO na Lokaciji 3

Lokacija 3			
Datum mjerenja	γ_p ($\mu g/m^3$)		
	SO_2	NO_2	CO
15.1.2016.	90,334	142,719	0,000
29.1.2016.	55,683	179,948	0,000
15.2.2016.	27,077	110,18	0,000
29.2.2016.	18,080	90,890	0,000
15.3.2016.	17,853	128,212	0,000
31.3.2016.	17,723	152,731	0,000
15.4.2016.	0,000	164,888	0,000
29.4.2016.	0,000	189,077	0,000
13.5.2016.	0,000	174,348	0,000
31.5.2016.	0,000	193,349	0,000
15.6.2016.	0,000	180,970	0,000
30.6.2016.	0,000	178,914	0,000

Srednje izračunate vrijednosti koncentracija SO_2, NO_2 i CO na Lokaciji 1 ukazuju na pojavnost SO_2 od siječnja do svibnja s trendom opadanja, a u svibnju i lipnju nisu zabilježene. U šestomjesečnom razdoblju izmjerene su promjenjive vrijednosti koncentracija NO_2 u rasponu od 301 do 933 $\mu g/m^3$ i ustaljene vrijednosti koncentracija CO.

Na Lokaciji 2 izmjerena je koncentracija SO_2 u prva četiri mjeseca mjerenja s trendom opadanja, dok su u zadnjih pet mjerenja vrijednosti iznosile 0 $\mu g/m^3$. Koncentracije NO_2 javljaju se u svim mjerenjima s prosječno sličnim vrijednostima, u rasponu od 141 do 197 $\mu g/m^3$, dok su vrijednosti CO za sva mjerenja iznosile 0 $\mu g /m^3$.

Izmjerene vrijednosti koncentracija SO_2 na Lokaciji 3 imaju trend opadanja od siječnja do svibnja, nakon čega su iznosile 0 $\mu g/m^3$. Koncentracije NO_2 izmjerene su u svim mjerenjima u rasponu koncentracija od 90 do 193 $\mu g/m^3$, dok su vrijednosti CO iznosile 0 $\mu g /m^3$.

Usporedba dobivenih rezultata za šestomjesečno razdoblje mjerenja ukazuje da je pojavnost pojedinog pokazatelja ovisna o vrsti lokacije i periodu godine.

Vrijednosti koncentracija SO_2 na sve tri lokacije u periodu od 6 mjeseci ukazuju na jasnu sezonsku ovisnost. Izmjerene vrijednosti koncentracija SO_2 u zimskom periodu (od siječnja do svibnja) ukazuju da je glavni izvor emisije SO_2 grijanje. Taj zaključak je potkrijepljen smanjenjem koncentracija SO_2 završetkom sezone grijanja, odnosno izostankom vrijednosti koncentracija SO_2 u svibnju i lipnju.

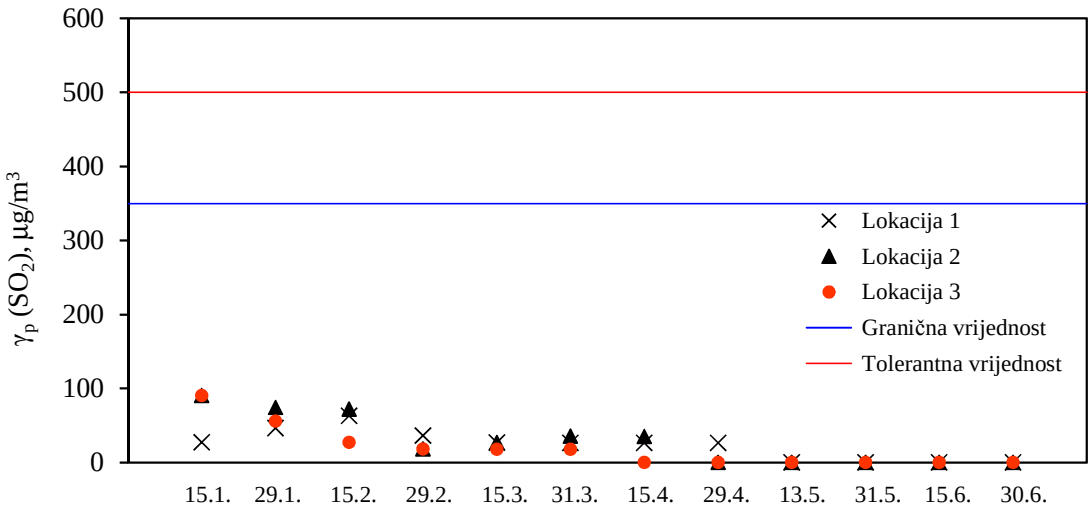
U slučaju NO_2 nije pronađena sezonska ovisnost što ukazuje da osnovni izvor emisije nije sezonskog karaktera, odnosno emisija potječe od prometa. Najveće vrijednosti imisija zabilježene su na Lokaciji 1 (Sjeverni ulaz marijanskog tunela) u odnosu na mjerne lokacije koje su smještene u gradskom (Lokacija 2) i prigradskom području (Lokacija 3). Može se zaključiti da ovi rezultati ukazuju na dominirajući utjecaj lokalnog izvora emisije, tj. prometa.

Vrijednosti imisija koncentracija CO izmjerene su samo na Lokaciji 1. Vrijednosti su ustaljene u cijelom šestomjesečnom mjernom razdoblju, ukazujući da je nepotpuno sagorijevanje goriva iz prometa glavni utjecaj ovog pokazatelja.

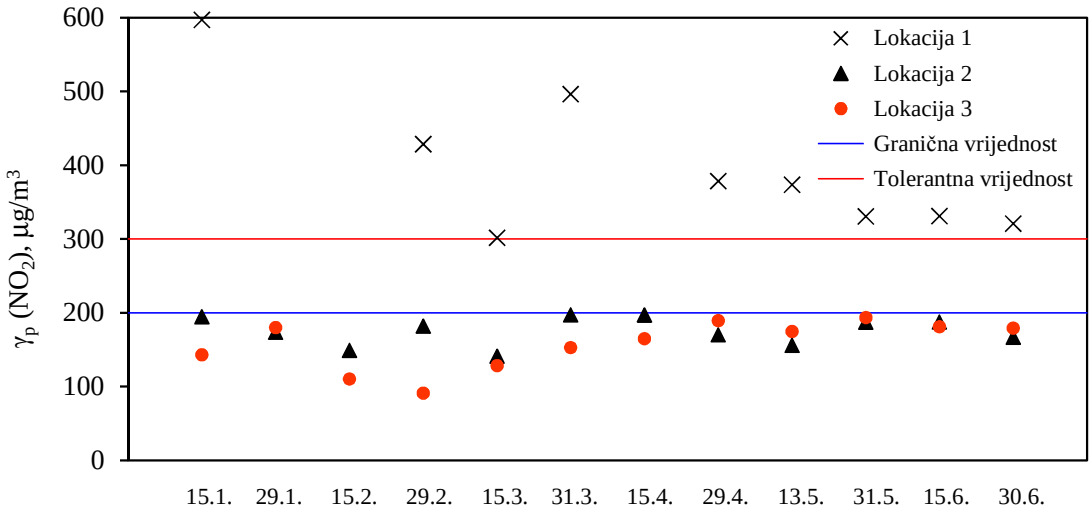
4.2. Ocjena kakvoće zraka

Ocjena stanja onečišćenosti zraka vrši se prema Uredbi o graničnim vrijednostima onečišćijučih tvari u zraku, metodama imisije, kriterija uspostave mjernih mjesta i evidencije podataka. Izmjerene vrijednosti imisija onečišćujućih tvari uspoređuju se s propisanim graničnim i toleranrnim vrijednostima imisije koja se uzima kao norma za kakvoću zraka i stupnja onečišćenosti zraka.

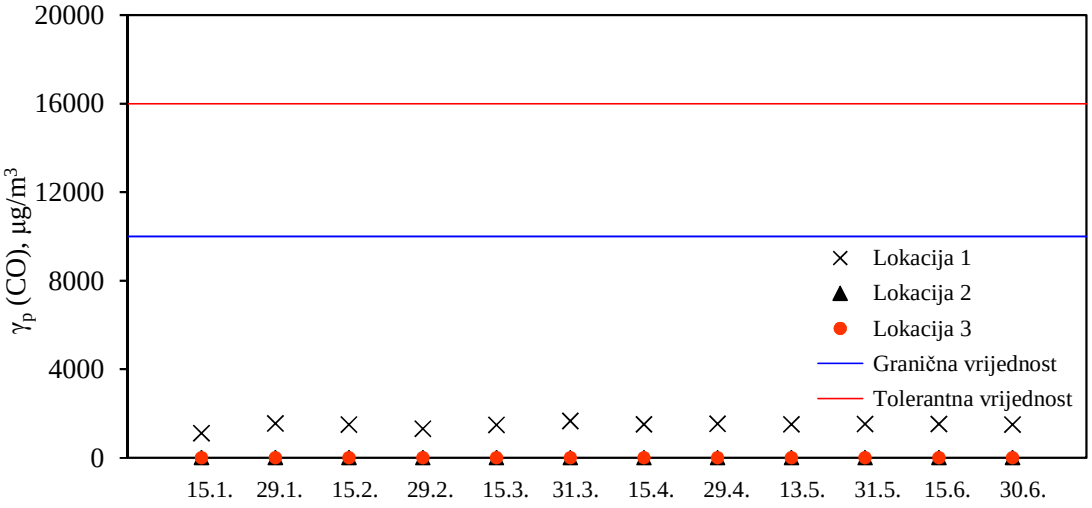
Izmjerene vrijednosti koncentracija SO_2, NO_2 i CO za šestomjesečni vremenski period na tri odabrane lokacije, uspoređene su s graničnim i tolerantnim vrijednostima imisija prema Uredbi o graničnim vrijednostima onečišćijučih tvari u zraku i prikazane na slikama od 4.1. do 4.3.



Slika 4.1. Usporedba graničnih i tolerantnih vrijednosti imisija s izmjerenim vrijednostima imisija koncentracija SO_2 za tri lokacije za šestomjesečni mjerni period.



Slika 4.2. Usporedba graničnih i tolerantnih vrijednosti imisija s izmjerenim vrijednostima imisija koncentracija NO_2 za tri lokacije za šestomjesečni mjerni period.



Slika 4.3. Usporedba graničnih i tolerantnih vrijednosti imisija s izmjerenim vrijednostima imisija koncentracija CO za tri lokacije za šestomjesečni mjerni period.

Rezultati ukazuju da su izmjerene vrijednosti imisija SO_2 na sve tri lokacije manje od graničnih i tolerantnih vrijednosti (Slika 4.1). Vrijednosti imisija NO_2 na Lokacijama 2 i 3 manje su od graničnih i tolerantnih vrijednosti, dok su na Lokaciji 1 veće i od graničnih i od tolerantnih vrijednosti (Slika 4.2.). Koncentracije imisija CO zabilježene su samo na Lokaciji 1 i njihove vrijednosti su manje od graničnih i tolerantnih vrijednosti (Slika 4.3).

Uspoređivanjem dobivenih rezultata, kakvoća zraka na Lokaciji 1 spada u treću kategoriju, tj. prekomjerno onečišćen zrak, budući da su prekoračene granične i tolerantne vrijednosti jednog pokazatelja kakvoće, NO_2. Ovo ukazuje da je zrak na mikrolokaciji, uz prometnicu onečišćen kao posljedica prometa, sagorijevanja goriva. Na Lokacijama 2 i 3, gradsko i prigradsko područje, granične i tolerantne vrijednosti izmjerenih parametara kakvoće nisu prekoračene što ukazuje da zrak na ovim lokacijama spada u prvu kategoriju, tj. čist ili neznatno onečišćen zrak.

Na temelju Indeksa onečišćenja zraka, relativne mjere onečišćenosti zraka (Tablica 1.9.), na mjernoj Lokaciji 1, opaža se vrlo nisko onečišćenje zraka na temelju izmjerenih vrijednosti pokazatelja NO_2 i vrlo nisko prema pokazateljima CO i SO_2. Na mjernim lokacijama 2 i 3 primijećeno je srednje onečišćenje zraka obzirom na pokazatelj NO_2 i nisko i vrlo nisko prema pokazateljima CO i SO_2.

Cilj istraživanja bio je u periodu od šest mjeseci ispitati kakvoću zraka na tri odabrane lokacije (mikrolokacije). Odabir lokacija temeljio se na njihovom položaju, tj. u neposrednoj blizini prometnice te u gradskom i prigradskom području. Dobiveni rezultati su ukazali da je kakvoća zraka na području grada Splita prve kategorije, a u neposrednoj blizini izvora emisije, tj. prometnice, treće kategorije.

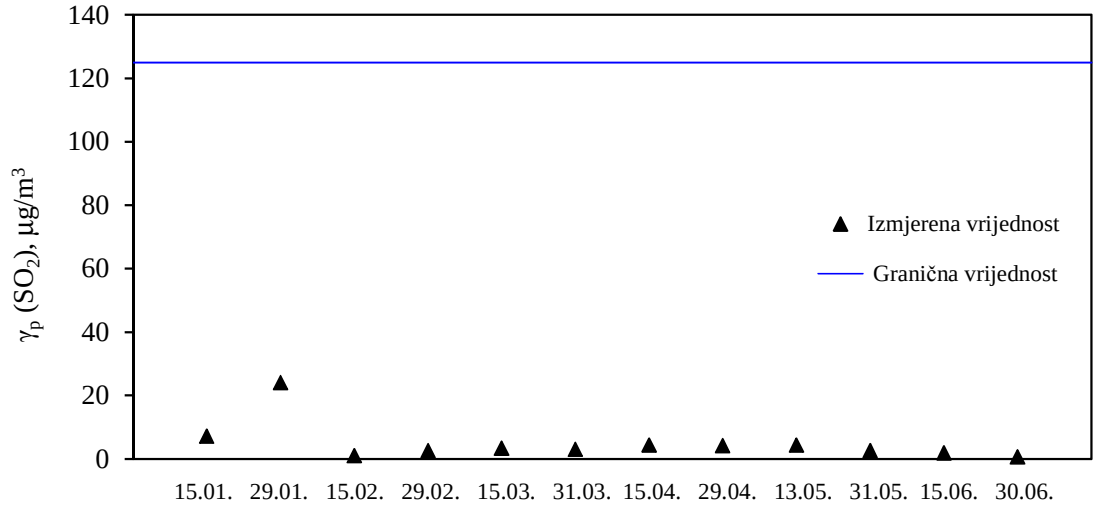
4.3. Opće stanje kakvoće zraka

Za opće stanje kakvoće zraka, izbor lokacije odnosno mjernog mjesta je od izmimne važnosti. S tim ciljem su uzeti podaci sa službene internetske stranice Agencije za zaštitu okoliša za šestomjesečno razdoblje za iste nadnevke mjerenja, ali s vremenom usrednjavanja od 24 sata. Podaci s vremenom usrednjavanja od 24 sata daju opće stanje kakvoće zraka, dok s vremenom usrednjavanja od 1 sat trenutno stanje kakvoće zraka. U tablici 4.3. prikazane su srednje dvadesetčetverosatne vrijednosti koncentracija SO_2,

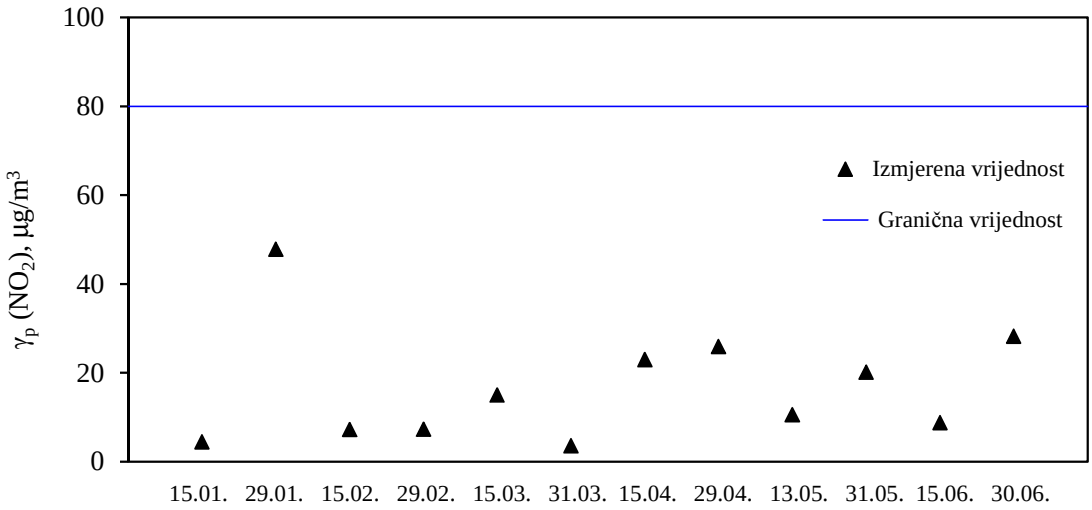
NO_2 na mjernoj lokaciji Zavoda za javno zdravstvo u Splitu i grafički na slikama 4.4. i 4.5.

Tablica 4.4. Srednje dvadesetčetverosatne vrijednosti koncentracija SO_2, NO_2 na mjernoj lokaciji Zavoda za javno zdravstvo u Splitu[14]

Datum mjerenja	γ_p (µg/m^3)		
	SO_2	NO_2	CO
15.1.2016.	7,139	4,403	-
29.1.2016.	23,997	47,764	-
15.2.2016.	0,963	7,168	-
29.2.2016.	2,575	7,266	-
15.3.2016.	3,341	14,943	-
31.3.2016.	2,995	3,543	-
15.4.2016.	4,353	22,91	-
29.4.2016.	4,120	25,912	-
13.5.2016.	4,320	10,498	-
31.5.2016.	2,564	20,081	-
15.6.2016.	1,834	8,773	-
30.6.2016.	0,661	28,236	-



Slika 4.4. Usporedba graničnih i tolerantnih vrijednosti imisija s izmjerenim vrijednostima imisija koncentracija SO_2 na mjernoj lokaciji Zavoda za javno zdravstvo u Splitu za šestomjesečni mjerni period.



Slika 4.5. Usporedba graničnih i tolerantnih vrijednosti imisija s izmjerenim vrijednostima imisija koncentracija NO_2 na mjernoj lokaciji Zavoda za javno zdravstvo u Splitu za šestomjesečni mjerni period.

Ovi rezultati ukazuju da je kakvoća zraka na području grada Splita prve kategorije obzirom na promatrane parametre, tj. koncentracije imisija SO_2 i NO_2 i zraku. Također, treba naglasiti da su se ovi rezultati analizirali za svaki sat mjerenja (rezultati nisu prikazani ovdje, dostupni su na službenoj internetskoj stranici Agencije za zaštitu okoliša). Rezultati ukazuju da su tijekom dana koncentracije SO_2 i NO_2 veće u odnosu na izmjerene njihove koncentracije tijekom noći, što je povezano sa gušćim prometom i korištenjem grijanja preko dana.

5. ZAKLJUČAK

- Dobiveni rezultati za šestomjesečno razdoblje mjerenja ukazuju da je pojavnost pojedinog pokazatelja ovisna o vrsti lokacije i periodu godine.

- Vrijednosti koncentracija SO_2 na sve tri lokacije u periodu od 6 mjeseci ukazuju na jasnu sezonsku ovisnost. U zimskom periodu mjerenja glavni izvor emisije SO_2 je grijanje.

- U slučaju NO_2 nije pronađena sezonska ovisnost što ukazuje da osnovni izvor emisije nije sezonskog karaktera, odnosno emisija potječe od prometa. Najveće imisijske koncentracije NO_2 i CO izmjerene su na Lokaciji 1 (Sjeverni ulaz marijanskog tunela) zbog dominirajućeg utjecaja lokalnog izvora emisije, prometa.

- Kakvoća zraka na Lokaciji 1 spada u treću kategoriju budući da su prekoračene granične i tolerantene vrijednosti jednog pokazatelja kakvoće, tj. NO_2.

- Na lokacijama 2 i 3, gradsko i prigradsko područje, granične i tolerantne vrijednosti izmjerenih parametara kakvoće nisu prekoračene, odnosno zrak na ovim lokacijama spada u prvu kategoriju.

- Temeljem usporedbe izmjerenih parametara kakvoće zraka, kakvoća zraka na području grada Splita je prve kategorije, a u neposrednoj blizini izvora emisije, tj. prometnice, treće kategorije.

6. PRILOG

Temeljne definicije i pojmovi koji se spominju u području zaštite zraka, odnosno atmosfere su:

Onečišćenje atmosfere označava stanje kod kojeg pojedine štetne tvari same ili u međusobnom odnosu teže prema količini i svojstvima koje mogu ugroziti prirodne ravnotežne uvjete.

Onečišćenje zraka definira se kao ispuštanje u atmosferu jedne ili više štetnih tvari u velikim količinama, takvih svojstava i vremena zadržavanja da značajno narušavaju životnu sredinu ljudi, biljaka i životinja, te time umanjuju kvalitetu života.

Zagađenje zraka naziva se unos prirodnih ili sintetskih tvari u atmosferu u štetim količinama kao izravna ili neizravna posljedica ljudskog djelovanja.

Izvor onečišćenja označava mjesto ispuštanja onečišćavala u atmosferu, a ponor se odnosi na prirodna mehanizme uklanjanja onečišćavala iz atmosfere i njihovu akumulaciju u okolišu (tlo, vegetacija, oceani).

Pojam *emisija* odnosi se na proces ispuštanja ili unošenja onečišćujućih tvari, mirisa (ili mirisnih tvari), buke, topline ili radijacije u okoliš.

Imisija je koncentracija tvari na određenom mjestu i u određenom vremenu u oklolišu.

Razina onečišćenosti predstavlja koncentraciju onečišćujuće tvari u zraku ili njeno taloženje na površini u određenom vremenu.

Kakvoća zraka je svojstvo zraka kojim se iskazuje značajnost u njemu postojećih razina onečišćenosti. Vrijednost svake izmjerene, izračunate ili procijenjene veličine koja se koristi za određivanje kakvoće zraka naziva se podatak kakvoće zraka.

7. LITERATURA

1. *M. Ugrina*, Laboratorijske vježbe iz kemije i zaštite zraka, 2015., Skripta za internu uporabu.
2. *V. Glavač,* Uvod u globalnu ekologiju, Hrvatska sveučilišna naklada, Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja, Pučko otvoreno učilište, Zagreb, 2001.
3. *M. Vuković Domanovac*, Izvori onečišćenja zraka, Skripta za internu upotrebu.
4. Tehnička enciklopedija: SV.9 Mot-Org., Zagreb: Jugoslavenski leksikografski zavod "Miroslav Krleža", 1969.
5. *M. Trgo*, Nastavni materijal iu kolegija Industrija i okoliš, Powe Point prezentacija za za internu uporabu.
6. URL: https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/Zrak.pdf (21.06.2016.).
7. URL: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/289990.html (21.06.2016.).
8. URL: http://prirodopolis.hr/kemija/ (29.06.2016.).
9. URL: http://www.agrivi.com/hr/zagadenje-okolisa/ (08.07.2016.).
10. URL: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_01_3_57.html (21.06.2016.).
11. URL: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/290530.html (21.06.2016.).
12. URL: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/289989.html (21.06.2016.).
13. URL: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_07_90_1812.html (18.06.2016.).
14. URL: http://iszz.azo.hr/iskzl/help.htm#klas (23.06.2016.).
15. *Z. Knezović*, Studija utjecaja okoliša na sadržaj teških metala u mekoniju novorođenčadi Splitsko-dalmatinske županije, Doktorski rad, 2016.
16. URL: http://www.kastela.hr/povjerenstvo-za-pracenje-stanja-okolisa (21.07.2016.).