

Plinovi u zraku na području grada Dubrovnika

Milohnić, Mirna

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:167:987634>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-15**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of chemistry and technology - University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**

PLINOVI U ZRAKU NA PODRUČJU GRADA DUBROVNIKA

ZAVRŠNI RAD

MIRNA MILOHNIĆ

Matični broj: 495

Split, rujan 2024.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET SPLIT
PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ KEMIJE

PLINOVI U ZRAKU NA PODRUČJU GRADA DUBROVNIKA

ZAVRŠNI RAD

MIRNA MILOHNIĆ

Matični broj: 495

Split, rujan 2024.

**UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
UNDERGRADUATED STUDY OF CHEMISTRY**

GASSES IN THE AIR IN THE DUBROVNIK AREA

BACHELOR THESIS

MIRNA MILOHNIĆ

Parent number: 495

Split, September 2024

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

ZAVRŠNI RAD

Sveučilište u Splitu
Kemijsko-tehnološki fakultet
Studij: Prijediplomski studij kemije

Znanstveno područje: Prirodne znanosti
Znanstveno polje: Kemija
Mentor: doc. dr. sc. Josip Radić
Komentor: dr. sc. Lucija Jurko

PLINOVI U ZRAKU NA PODRUČJU GRADA DUBROVNIKA

Mirna Milohnić, 495

Sažetak: Onečišćenje zraka koje je uzrokovano emisijama štetnih plinova iz prometa, industrije i drugih izvora, negativno utječe na zdravlje ljudi i okoliš.

Na području grada Dubrovnika, tijekom turističke sezone, povećan broj vozila i turističkih plovila, značajno pridonosi povećanju koncentracije onečišćivala u zraku poput, ugljikovog (IV) oksida (CO₂) i dušikovog (IV) oksida (NO₂) što predstavlja izazov za očuvanje kvalitete zraka u ovom povijesnom gradu. Pomoću uređaja Dräger X-am® 8000 nastojale su se izmjeriti koncentracije plinova prisutnih na pojedinim lokacijama u gradu Dubrovniku. Bitan utjecaj na vrijednosti mjerenja ima lokacija mjerenja, meteorološki parametri te period godine. Najveća vrijednost koncentracije CO₂, u iznosu 800 ppm, očitana je na dvije mjerne postaje visoke prometne opterećenosti (Luka Gruž i Ilijina glavica) u mjesecu kolovozu, dok je srednja vrijednost koncentracija CO₂ na svim mjernim postajama u rasponu od 0,0415 vol% do 0,060 vol% ppm. Provedenim mjerenjima koncentracija NO₂ nije detektirana do ožujka, a najveća koncentracija zabilježena je u kolovozu (0,06 ppm). Osim navedenih plinova, zamijećena je prisutnost ugljikovog (II) oksida (CO) u kolovozu s najvećom vrijednosti u iznosu 3 ppm što se može pripisati nepotpunom sagorijevanju goriva iz prometa koji je tada bilo najfrekventniji. Vrijednosti kisika (O₂) su prisutne u zadovoljavajućim vrijednostima, a najveća vrijednost postignuta je u prigradskom dijelu grada Dubrovnika (Stara Mokošica) u iznosu 21,6 vol%, lokacija je prometno izolirana zbog čega nema očitanih mjerenja za NO₂ i CO.

Ključne riječi: onečišćenje zraka, CO₂, NO₂, O₂, CO, grad Dubrovnik

Rad sadrži: 32 stranice, 7 slika, 7 tablica, 17 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu završnog rada:

- | | |
|-------------------------------|-------------|
| 1. doc. dr. sc. Mirko Marušić | predsjednik |
| 2. doc. dr. sc. Maša Buljac | član |
| 3. doc. dr. sc. Josip Radić | mentor |

Datum obrane:

Rad je u tiskanom i elektroničkom (PDF) obliku pohranjen u Knjižnici Kemijsko-tehnološkog fakulteta u Splitu, Ruđera Boškovića 35, u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice u Splitu te u javnoj internetskoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice.

BASIC DOCUMENTATION CARD

BACHELOR THESIS

University of Split
Faculty of Chemistry and Technology
Study: Undergraduate Study of Chemistry

Scientific area: Natural sciences
Scientific field: Chemistry
Supervisor: Josip Radić, PhD, Asst. Prof.
Co-supervisor: Lucija Jurko, PhD

GASSES IN THE AIR IN THE DUBROVNIK AREA

Mirna Milohnić, 495

Abstract: Air pollution caused by the emission of harmful gases from traffic, industry and other sources has a negative impact on human health and the environment. In the city of Dubrovnik, the increased number of vehicles and tourist ships during the tourist season contributes significantly to higher concentrations of air pollutants such as carbon dioxide (CO₂) and nitrogen dioxide (NO₂), which poses a challenge to maintaining air quality in this historic city. The Dräger X-am® 8000 device was used to measure gas concentrations at specific locations in Dubrovnik. The measurement location, the meteorological parameters and the time of year have a significant influence on the measured values. The highest CO₂ concentration of 800 ppm was measured at two busy measuring stations (Gruž Harbour and Ilijina Glavica) in August, while the average CO₂ concentration at all measuring stations was between 0,0415 Vol% and 0,060 Vol%. NO₂ concentrations were only detected in March, with the highest concentration measured in August (0.06 ppm). In addition to these gases, carbon monoxide (CO) was detected in August with a peak value of 3 ppm, which is probably due to the incomplete combustion of fuel due to the heavy traffic at that time. Oxygen (O₂) levels were satisfactory, with the highest value measured in the suburb of Dubrovnik (Stara Mokošica) at 21,6 Vol%, a location that is cut off from traffic and therefore has no NO₂ or CO levels.

Keywords: air pollution, CO₂, NO₂, O₂, CO, City of Dubrovnik

Thesis contains: 32 pages, 7 figures, 7 tables, 17 references
Original in: Croatian

Defence committee for evaluation and defense of bachelor thesis:

- | | |
|--------------------------------------|--------------|
| 1. Mirko Marušić, PhD, a Asst. Prof. | chair person |
| 2. Maša Buljac, PhD, Asst. Prof. | member |
| 3. Josip Radić, PhD, Asst. Prof. | supervisor |

Defence date: 30.09.2024.

Printed and electronic (PDF) form of thesis is deposited in Library of Faculty of Chemistry and Technology in Split, Ruđera Boškovića 35, in the public library database of the University of Split Library and in the digital academic archives and repositories of the National and University Library.

Završni rad je izrađen u Zavodu za kemiju okoliša, Kemijsko-tehnološkog fakulteta u Splitu pod mentorstvom doc. dr. sc. Josipa Radića i komentorstvom dr. sc. Lucije Jurko u razdoblju od siječnja do rujna 2024. godine.

Najiskrenije se zahvaljujem mentoru, doc. dr. sc. Josipu Radiću, na stručnim savjetima, strpljenju i prenesenom znanju tijekom izrade ovog završnog rada. Srdačno zahvaljujem doc. dr. sc. Maši Buljac, predstojnici Zavoda za kemiju okoliša, na susretljivosti i pomoći koje su pridonijele uspješnom završetku rada.

Posebna zahvalnost obitelji i prijateljima za neizmjernu podršku i razumijevanje koji su mi nesebično pružali tijekom cijelog studija.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

1. Izmjeriti koncentraciju plinova na četiri odabrane lokacije na području grada Dubrovnika pomoću uređaja Dräger X-am[®] 8000 u razdoblju od šest mjeseci.
2. Utvrditi kvalitetu zraka mjerenjem parametara kakvoće (CO₂, O₂, NO₂, CO) te rezultate mjerenja pokazati tablično.
3. Izvesti zaključke o kakvoći zraka na pojedinim lokacijama te ih potkrijepiti grafičkim prikazom.

SAŽETAK

Onečišćenje zraka koje je uzrokovano emisijama štetnih plinova iz prometa, industrije i drugih izvora, negativno utječe na zdravlje ljudi i okoliš.

Na području grada Dubrovnika, tijekom turističke sezone, povećan broj vozila i turističkih plovila, značajno pridonosi povećanju koncentracije onečišćivala u zraku poput, ugljikovog (IV) oksida (CO_2) i dušikovog (IV) oksida (NO_2) što predstavlja izazov za očuvanje kvalitete zraka u ovom povijesnom gradu.

Pomoću uređaja Dräger X-am® 8000 nastojale su se izmjeriti koncentracije plinova prisutnih na pojedinim lokacijama u gradu Dubrovniku. Bitan utjecaj na vrijednosti mjerenja ima lokacija mjerenja, meteorološki parametri te period godine. Najveća vrijednost koncentracije CO_2 , u iznosu 800 ppm, očitana je na dvije mjerne postaje visoke prometne opterećenosti (Luka Gruž i Ilijina glavica) u mjesecu kolovozu, dok je srednja vrijednost koncentracija CO_2 na svim mjernim postajama u rasponu od 0,0415 vol% do 0,060 vol%. Provedenim mjerenjima koncentracija NO_2 nije detektirana do ožujka, a najveća koncentracija zabilježena je u kolovozu (0,06 ppm). Osim navedenih plinova, zamijećena je prisutnost ugljikovog (II) oksida (CO) u kolovozu s najvećom vrijednosti u iznosu 3 ppm što se može pripisati nepotpunom sagorijevanju goriva iz prometa koji je tada bilo najfrekventniji. Vrijednosti kisika (O_2) su prisutne u zadovoljavajućim vrijednostima, a najveća vrijednost postignuta je u prigradskom dijelu grada Dubrovnika (Stara Mokošica) u iznosu 21,6 vol%, lokacija je prometno izolirana zbog čega nema očitanih mjerenja za NO_2 i CO.

Ključne riječi: onečišćenje zraka, CO_2 , NO_2 , O_2 , CO, grad Dubrovnik

ABSTRACT

Air pollution caused by the emission of harmful gases from traffic, industry, and other sources negatively affects human health and the environment. In the city of Dubrovnik, during the tourist season, the increased number of vehicles and tourist vessels significantly contributes to higher concentrations of air pollutants such as carbon dioxide (CO₂) and nitrogen dioxide (NO₂), posing a challenge for maintaining air quality in this historic city.

The Dräger X-am® 8000 device was used to measure the concentrations of gases present at specific locations in Dubrovnik. The measurement location, meteorological parameters, and time of year significantly impact the values recorded.

The highest CO₂ concentration, at 800 ppm, was recorded at two high-traffic monitoring stations (Port of Gruž and Ilijina Glavica) in August, while the average CO₂ concentration across all monitoring stations ranged from 0,0415 Vol% and 0,060 Vol%. NO₂ concentrations were not detected until March, with the highest concentration recorded in August (0.06 ppm). In addition to these gases, the presence of carbon monoxide (CO) was detected in August, with a peak value of 3 ppm, likely due to incomplete fuel combustion from heavy traffic at that time. Oxygen (O₂) levels were satisfactory, with the highest value recorded in the suburban area of Dubrovnik (Stara Mokošica) at 21,6 Vol% a location isolated from traffic and therefore showing no NO₂ or CO readings.

Key words: air pollution, CO₂, NO₂, O₂, CO, City of Dubrovnik

Sadržaj

| | |
|--|----|
| UVOD | 1 |
| 1. OPĆI DIO | 2 |
| 1.1. Zrak | 3 |
| 1.2. Ciklus ugljika u prirodi | 5 |
| 1.3. Ciklus dušika u prirodi | 7 |
| 1.4. Onečišćenje zraka..... | 8 |
| 1.4.1. Izvori onečišćenja zraka..... | 9 |
| 1.4.2. Podjela onečišćivala zraka..... | 11 |
| 1.5. Zakonski propisi vezani za onečišćenje zraka u Republici Hrvatskoj | 13 |
| 1.6. Izvještaj za provedbu programa zaštite zraka zaštite zraka, ozonskog sloja, ublažavanje klimatskih promjena i prilagodbe klimatskim promjenama za područje grada Dubrovnika 2016. - 2020. godina..... | 15 |
| 2. EKSPERIMENTALNI DIO | 17 |
| 2.1. Organizacija mjerenja | 18 |
| 2.2. Mjerni uređaj..... | 19 |
| 3. REZULTATI | 20 |
| 4. RASPRAVA..... | 26 |
| 5. ZAKLJUČAK..... | 30 |
| 6. LITERATURA | 32 |

UVOD

Zrak je jedan od najvažnijih resursa života na Zemlji te ključna komponenta prirodnog okruženja. To je plinoviti sloj koji obavija Zemlju i tvori atmosferu. Među najistaknutijim plinovima su dušik (N_2), kisik (O_2), argon (Ar), ugljikov (IV) oksid (CO_2) te drugi plemeniti plinovi. Zrak ima ključnu ulogu u oblikovanju klimatskih i vremenskih uvjeta na Zemlji, a promjene u kvaliteti i sastavu zraka imaju značajan utjecaj na ekosustave, okoliš i ljudsko zdravlje. Onečišćenje zraka predstavlja veliki izazov s kojima se danas suočavaju mnogi gradovi i industrijski razvijena područja te predstavlja ozbiljan ekološki problem koji zahtjeva kontinuiranu analizu i praćenje. Štetni plinovi poput dušikovog (IV) oksida (NO_2), ugljikovog (II) oksida (CO), ugljikovog (IV) oksida (CO_2) i drugih, prvenstveno nastaju kao rezultat sagorijevanja fosilnih goriva u prometu, kućanstvima i industrijskim postrojenjima. Navedeni zagađivači ne samo da utječu na zdravlje stanovnika nego i pridonose globalnom zagrijavanju te promjenama u klimatskom sustavu. NO_2 doprinosi stvaranju kiselih kiša i sekundarnih čestica u atmosferi, CO je vrlo toksičan plin koji ometa transport kisika u organizmu, dok CO_2 pridonosi efektu staklenika i klimatskim promjenama. Određivanje koncentracije različitih plinova te procjena kakvoće zraka ključna su za razumijevanje i upravljanje rizicima povezanim s onečišćenjem zraka. U okviru ovog završnog rada, poseban fokus stavljen je na praćenje koncentracija plinova na području grada Dubrovnika što omogućuje detaljniji uvid u kvalitetu zraka te identificiranje potencijalnih izvora onečišćenja poput prometa, turizma te meteoroloških uvjeta. Ispitivanje kakvoće zraka provedeno je na četiri lokacije grada Dubrovnika tijekom šestomjesečnog mjerenja.

1. OPĆI DIO

1.1. Zrak

Zrak je plinovita smjesa od koje se sastoji Zemljin omotač i tvori atmosferu. Iz analize molekularnog sastava „čistog“ zraka vidljiv je sastav zraka od mnogobrojnih plinova. U tablici 1.1 vidljiv je udio molekula u čistom suhom zraku. Zrak se približno sastoji od 78% dušika, 21% kisika i 0,93% argona, a ostali spojevi su prisutni u tragovima.^{1,2}

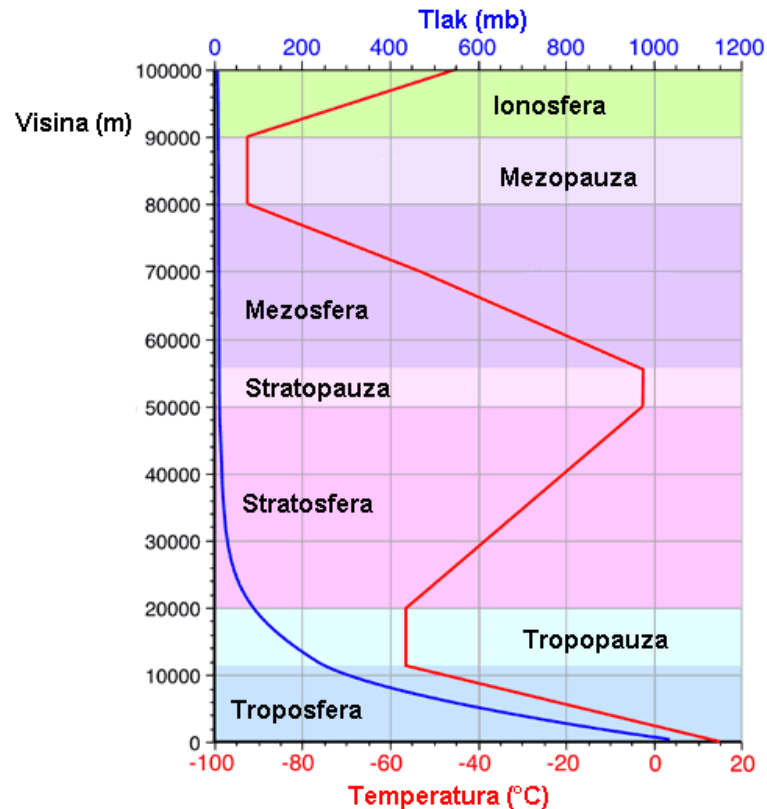
Tablica 1.1 Udio molekula u čistom suhom zraku ²

| Plin | Simbol | Volumni udio |
|-------------------------|------------------|--------------|
| Dušik | N ₂ | 78,1% |
| Kisik | O ₂ | 20,9% |
| Argon | Ar | 0,93% |
| Ugljikov dioksid | CO ₂ | 370 ppm |
| Neon | Ne | 18 ppm |
| Helij | He | 5 ppm |
| Metan | CH ₄ | 1,7 ppm |
| Vodik | H ₂ | 0,53 ppm |
| Dušikov oksid | N ₂ O | 0,31 ppm |

Dušik se tijekom geološkog vremena akumulirao u atmosferi te postao najzastupljenija komponenta atmosfere. To se objašnjava zbog njegove kemijske inertnosti (svojstvo da pri uobičajenim uvjetima za atmosferu, ne kondenzira) i netopljivošću u vodi. Argon, neon, helij i drugi plemeniti plinovi su također inertni i ne sudjeluju u procesima atmosfere.

Atmosfera je sloj plinova kojim je obavijena Zemlju i rotira se zajedno s njom. U atmosferi se neprekidno odvijaju kemijske i fizikalne reakcije, a mnogobrojni se procesi nalaze u stanju dinamičke ravnoteže. Atmosfera se, s obzirom na kemijski sastav, dijeli na heterosferu (gornji dio) i homosferu (donji dio).^{1,2}

Promjena temperature i tlaka s visinom, bitna su obilježja Zemljine atmosfere. Ovisno o udaljenosti od površine Zemlje i promjeni temperature u pojedinom sloju izdvajaju se sljedeći slojevi: troposfera, stratosfera, mezosfera, termosfera i egzosfera te međuslojevi: tropopauza, stratopauza, mezopauza i termopauza.¹



Slika 1.1. Slojevi atmosfere i promjene tlaka i temperature s visinom.³

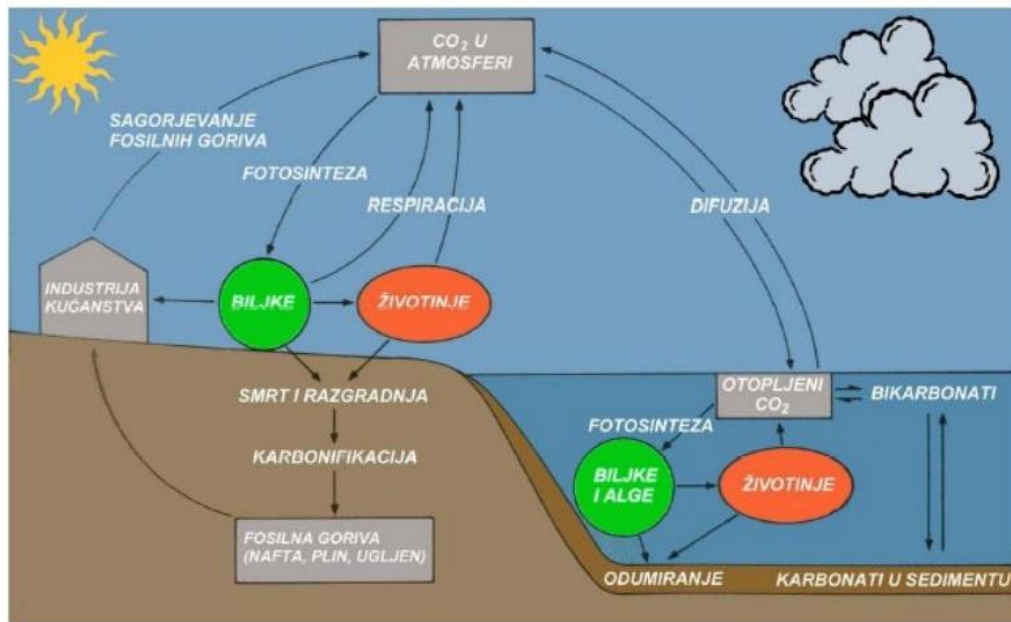
Kao što je vidljivo iz slike 1.1., najbliži sloj površini Zemlje koji se prostire do otprilike 11 km nadmorske visine jest troposfera. Plinovi koji su prisutni u njoj omogućuju život na Zemlji, a temperatura sloja opada s porastom visine. Tropopauza je tanak sloj između troposfere i stratosfere. Stratosfera se proteže iznad troposfere, od 11 do otprilike 50 km, a u gornjim dijelovima ovog sloja temperatura raste s visinom, dok se u donjim dijelovima temperatura neznatno mijenja s porastom visine. Stratosferi sadrži 90% ozona (O_3) atmosfere, a prepoznat je kao jedan od najvećih zagađivača zraka. Visoke koncentracije ozona u gradskim područjima povezane su s emisijama prekursora ozona (NO_x , $CO...$). Dio atmosfere koji se proteže iznad stratopauze (od 50 do 85 km nadmorske visine) jest mezosfera u kojoj temperatura zraka opada s porastom visine.^{1,4}

Termosfera se proteže iznad mezosfere, a u tom dijelu atmosfere temperatura raste s povećanjem visine zbog procesa ionizacije i apsorpcije Sunčevog zračenja. Ionosfera se sastoji uglavnom od kisika i dušika, a obuhvaća atmosferski sloj od 50 km do 600 km iznad površine Zemlje. Pojava temperaturnih inverzija, porast temperature zraka porastom visine, može dovesti do nakupljanja zagađivala na specifičnim područjima.¹

1.2. Ciklus ugljika u prirodi

Ugljik (C) se ne ubraja u najzastupljenije elemente, međutim, bez njega život na Zemlji kakav danas poznajemo nije zamisliv. Ugljik je glavna kemijska komponenta tvari organskog podrijetla, a ciklus ugljika (Slika 1.2.) je jedan od najvažnijih ciklusa na Zemlji koji nastaje uslijed različitih fizičkih, kemijskih, bioloških i geoloških procesa. Ciklus ugljika se može podijeliti na geološki i biološki ciklus. Geološki ciklus opisuje kružni tok ugljika između litosfere, hidrosfere i atmosfere, dok se biološki ciklus odnosi na tok između biosfere i atmosfere i traje kraće nego li geološki ciklus. Ugljik u atmosferi uglavnom dolazi u obliku ugljikovog (IV) oksida (CO_2) ima ključnu ulogu u prirodnom ciklusu ugljika. Bezbojni je, nezapaljivi plin i prirodni element u atmosferi s koncentracijom od 0,03%.

Dok dišu, životinje proizvode CO_2 , ali nastaje i kod truljenja biomase. 90% CO_2 ulazi u atmosferu kao rezultat ljudskih aktivnosti, prvenstveno izgaranjem fosilnih goriva u raznim industrijama, dok 10% dolazi iz prirodnih izvora. (vulkanska aktivnost, požar, biljna i životinjska respiracija...). Procesom fotosinteze (pretvara sunčevu svjetlost u energiju, a CO_2 i vodu u šećer i kisik), biljke ga uklanjaju iz atmosfere. Sve dokle biljke ne uvenu, apsorbirani CO_2 zadržava se izvan atmosfere. To je jedan od razloga zašto šume imaju izrazito važnu ulogu u smanjenju globalnog zatopljenja. CO_2 dospijeva procesom difuzije u oceane gdje nakon otapanja može ostati nepromijenjen ili pak preći u karbonatni (CO_3^{2-}) ili bikarbonatni (HCO_3^-) oblik. Nakon uginuća morskih organizama, akumuliraju se (bi)karbonatni oblici koji prolaze kroz fizičke i kemijske procese te se prevode u sedimentne stijene.^{1,2,5}

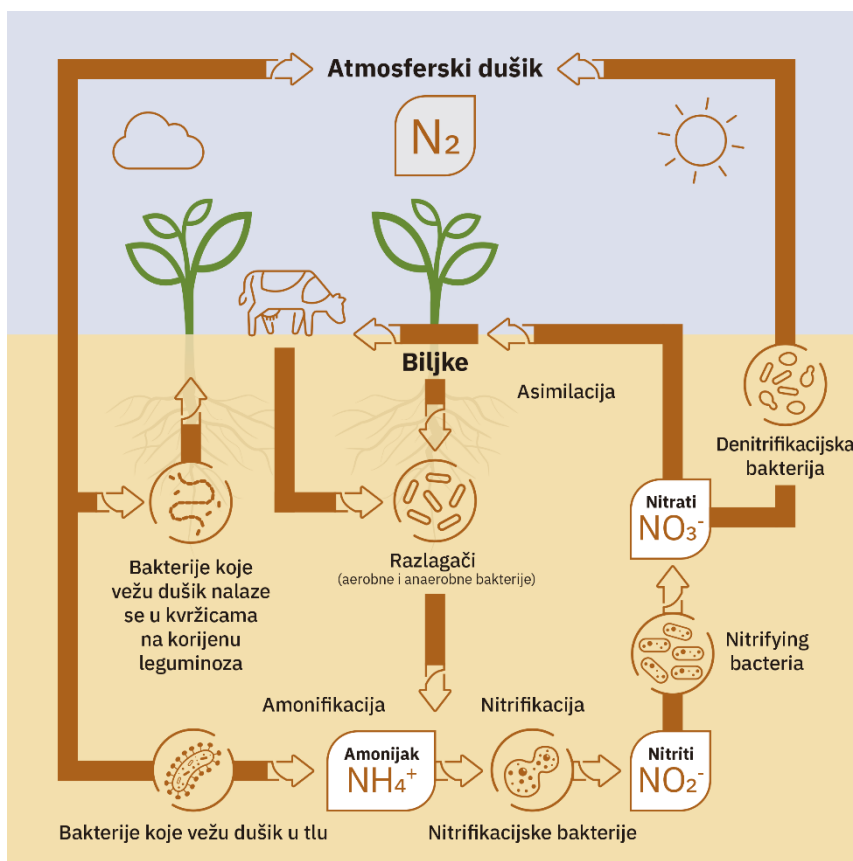


Slika 1.2. Ciklus ugljika u prirodi

Koncentracija CO₂, od zadnjeg ledenog doba (prije 10000 godina), kontinuirano raste kako i prosječna temperatura na površini Zemlje. Promjene u ciklusu ugljika, u današnje doba, dolaze uslijed raznih vrsta ljudskih aktivnosti (izgaranje fosilnih goriva, sječa šuma, proizvodnja cementa...) zbog kojih je došlo do velikog porasta CO₂ u atmosferu. Promet doprinosi s 25% emisija CO₂ (koje potječu iz fosilnih goriva), a već i kratkotrajna izlaganja CO₂ višim od 2% mogu imati štetne posljedice po zdravlje. ^{1,6}

1.3. Ciklus dušika u prirodi

Dušik je bitna komponenta koja je neophodna za život na Zemlji. Dušik se u okolišu javlja u različitim kemijskim oblicima, kao što su; amonijevi ioni (NH_4^+), nitrati (NO_3^-), nitriti (NO_2^-), organski dušik itd.¹



Slika 1.3. Ciklus dušika u prirodi

Na slici 1.3. je prikazan ciklusa dušika u prirodi odnosno proces pretvorbe između različitih kemijskih oblika dušika. Fiksiranje, mineralizacija, nitrifikacija i denitrifikacija dušika, najvažniji su procesi unutar ciklusa dušika.¹

Prirodni proces koji pretvara molekularni dušik (N_2) u amonijak (NH_3) jest bitan proces za život, a naziva se fiksiranje dušika. Dušik je neophodan za biosintezu nukleotida za izgradnju RNA i DNA te aminokiselina nužnih za izgradnju proteina. Amonifikacija (mineralizacija) jest proces kojim se organski dušik pretvara u amonijev oblik, putem biološke razgradnje ostataka životinja i biljaka.¹

Sljedeći značajan korak u ciklusu dušika je nitrifikacija, odnosno biološka oksidacija amonijevih iona (NH_4^+) djelovanjem bakterija *Nitrosomonas* kojim nastaju nitriti (NO_2^-) i *Nitrobacter* kojim nastaju nitrati (NO_3^-). Nitrati, zbog velike topljivosti, mogu dospjeti u podzemne vode te izazivati nepoželjne posljedice za okoliš (zagađenje pitkih voda, eutrofikacija i dr.). Dušikov (IV) oksid (NO_2) je ključna komponenta u stvaranju sekundarnih toksičnih zagađivača prilikom procesa izgaranja goriva pri visokim temperaturama. Mikrobiološka redukcija nitrata koja dovodi do nastanka molekularnog dušika, a pritom se mogu stvoriti dušikovi spojevi (NO i N_2O) je denitrifikacija koja se najčešće odvija u anaerobnim uvjetima, no može se dogoditi i u aerobnim. Proces denitrifikacije potiče razne vrste bakterija na djelovanje (npr. *Clostridium*, *Pseudomonas* i dr.) koje nitrata, tijekom respiracije, koriste kao elektron receptore umjesto kisika. Od dušikovih oksida, skupine reaktivnih plinova, NO_2 , ima važnu ulogu u iscrpljivanju ozonskog sloja jer je otprilike tristo puta jači od CO_2 . Kada NO_2 uđe u interakciju s vodom, kisikom i drugim kemikalijama u atmosferi, može stvoriti kisele kiše koje dodatno štete ekosustavu, doprinoseći taloženju dušika u tlu i vodi. Svake nastale čestice nitrata mogu stvoriti opasnu maglu i oblake, a najbitnije od svega, naštetiti ljudskom zdravlju stvarajući mnoga respiratorna oboljenja. Svemu navedenom pridonosi povećana antropogena djelatnost poput intenzivnog stočarstva i poljoprivrede, industrijska proizvodnja, povećana upotreba mineralnih gnojiva i druge aktivnosti.^{1,7,8}

1.4. Onečišćenje zraka

Onečišćenje zraka općenito se definira kao prisutnost jednog ili više onečišćujućih tvari (ili onečišćivala) u atmosferi u dostatno visokoj koncentraciji, dovoljno dugo i u takvim okolnostima da štetno ili opasno djeluje na udobnost, zdravlje i dobrobit ljudi i/ili na okoliš i izaziva neželjene posljedice u okolišu.^{1,9}

Onečišćivalo je bilo koja tvar ispuštena 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.^{1,9}

Često korišteni pojmovi koji su vezani uz problematiku onečišćenja zraka su: emisija, granična vrijednost emisije, izvor onečišćenja itd. Emisija se odnosi na proces ispuštanja/unošenja onečišćujućih tvari, mirisa (ili mirisnih tvari), buke, topline ili radijacije u okoliš. Granična vrijednost emisije je najveća dopuštena emisija, izražena ili koncentracijom onečišćujućih tvari u ispušnim plinovima i/ili količinom ispuštanja/unošenja onečišćujućih tvari u određenom vremenu.^{1,9}

1.4.1. Izvori onečišćenja zraka

Izvor onečišćenja, prisutnost adekvatnog receptora (ljudi, životinje, biljke itd.) i prijenos onečišćenja u okolišu, preduvjeti su za nastanak problema koji su vezani uz onečišćenost zraka. Sam pojam izvora onečišćenja zraka označava mjesto ispuštanja onečišćujućih tvari u atmosferu.^{1,9}

Prema jednoj od osnovnih podjela, izvori onečišćenja zraka dijele se prema izvoru na prirodne (biogene) izvore i antropogene izvore. Prirodni izvori emisija u zrak uključuju razne procese anaerobne mikrobiološke razgradnje tla, sagorijevanje biomase poput šumskih požara, električna izbijanja iz atmosfere, isparavanje s površine oceana i mora, vulkanske erupcije itd. Prirodnim procesima mogu nastati spojevi metan (CH_4), ugljikov (IV) oksid (CO_2) i dušikov (I) oksid (N_2O), postoje međutim, i prirodni mehanizmi putem kojih se ti plinovi uklanjaju iz atmosfere, tzv. ponori. Ipak, puno veća pozornost se pridaje antropogenim izvorima emisije onečišćujućih tvari čiji broj iz dana u dan raste. Antropogeni izvori obuhvaćaju onečišćenja nastala ljudskim aktivnostima i procesima poput procesa izgaranja goriva u motornim vozilima, procesa izgaranja fosilnih goriva pri proizvodnji raznih oblika energije (toplinska, električna itd.) i raznorazna industrijska postrojenja. Proces izgaranja može se definirati kao oksidacija ugljikovih spojeva u gorivu uz kisik iz zraka, pri čemu su glavni produkti izgaranja CO_2 i voda (H_2O).^{1,2}

Za vrijeme nepotpunog izgaranja može se dogoditi emisija nesagorelih ugljikovodika i stvaranje međuprodukata izgaranja.; ugljikov (II) oksid (CO), aldehidi, alkoholi, aromatski spojevi i dioksini. Izgaranje goriva u motorima s unutarnjim izgaranjem glavni je izvor emisije dušikovih oksida.¹

Izgaranjem fosilnih goriva koji sadrže heteroatome (S, N) nastaju, dušikovi oksidi (NO_x), koji se prvenstveno sastoje od dušikovog (II) oksida (NO) i vrlo malih koncentracija N_2O te nastaju i sumporni oksidi (SO_2).¹

Također, važan izvor emisija u atmosferu mogu biti razni industrijski procesi poput proizvodnje cementa, mineralnih gnojiva, petrokemijska i rafinerijska prerada, staklarska i keramička industrija itd. Tijekom veće proizvodnje mineralnih gnojiva, u atmosferu se emitiraju NH_3 i N_2O . Osim svega navedenog, nužno je spomenuti obradu i odlaganje otpada, poljoprivredu, proizvodnju i uporabu otapala, boja kemikalija i sličnih proizvoda.¹

U istraživanju (Jurjević i Milošević-Pujo, 2004: 181) u kojem je tema onečišćenje zraka s broda točnije emisija štetnih plinova s broda koji koristi dizelski motor kao glavni pogonski sustav, kao najštetnije prepoznata je emisija NO_x , a neprestano raste kao rezultat povećanog prometa. Emisija NO_x doprinosi formiranju smoga i kiselih kiša, a u atmosferi, zajedno s hlapljivim organskim spojevima i drugim reaktivnim plinovima, uz sunčevo zračenje sudjeluje u stvaranju prizemnog ozona..¹⁰

S obzirom na položaj, tj. mobilnost izvora u prostoru, izvori se dijele na nepokretne i pokretne (mobilne). Industrijski pogoni, površine iz kojih se ispuštaju onečišćujuće tvari u zrak i tehnološki procesi primjeri su nepokretnih izvora koji se dijele na točkaste, površinske i difuzne izvore.¹

Točkasti izvori predstavljaju izolirane ili međusobno udaljene izvore koji ne onečišćuju isto područje, tj. jedini su izvor onečišćenja na tom području poput termoelektrane, rafinerije i sl., a štetne tvari se ispuštaju u zrak u značajnijim količinama kroz specijalno dizajnirane ispuste (dimnjake). Površinski izvori uključuju veliki broj manjih izvora koji zajednički onečišćuju zrak, poput industrijskih zona s višim brojem postrojenja koje emitiraju štetne tvari u manjim količinama.. Difuznim izvorima štetne tvari dospijevaju u zrak bez određenog ispusta, a izvori mogu biti automobili, benzinske crpke i sl.^{1,2}

Ispuštanje štetnih tvari u okoliš, prilikom izgaranja pogonskih goriva iz različitih prijevoznih sredstava (motorna sredstva, lokomotive, zrakoplovi, plovni objekti itd.), primjer su pokretnih (ili mobilnih) izvora.¹

1.4.2. Podjela onečišćivala zraka

Pod onečišćivalima u zraku podrazumijevaju se tvari koje uzrokuju štetu, kako ljudima, tako i okolišu.

Prema nastanku, onečišćivala se dijele na primarna i sekundarna onečišćivala. Primarna onečišćivala iz različitih se izvora direktno emitiraju u okoliš. Primarna onečišćivala su razni oksidi plinova; oksidi sumpora (SO₂), oksidi ugljika (CO i CO₂), oksidi dušika (NO_x; x=1 ili 2) i spojevi dušika (N₂O, NH₃...), čestice teških metala i halogenih metala te lebdeće čestice odnosno krute čestice koje se mogu održavati u struji dimnih ili ispušnih plinova tijekom duljeg razdoblja. Sekundarna onečišćivala nastaju u nižim atmosferskim slojevima pod utjecajem Sunčeve svjetlosti, međudjelovanjem primarnih onečišćivala (peroksiacil nitrat (PAN, CH₃C(O)OONO₂), ozon itd.).¹

S obzirom na agregatno stanje, onečišćivala zraka se dijele u dvije skupine; aerosole (suspendirane čvrste čestice) te na organske i anorganske plinove i pare.

Aerosol je sustav s dvije faze, plinovita faza je glavna, a druga faza je ili kapljevita ili kruta. Aerosol obuhvaća lebdeće čestice, suspendirane čestice u kapljevinaama poput maglice i sprejeva te dimove. Lebdeće čestice su krute čestice različitog podrijetla i veličina te kao što je prethodno navedeno, mogu se održavati u struji dimnih ili ispušnih plinova tijekom dužeg razdoblja jer su malih veličina i nemaju značajniju brzinu taloženja. Pojavljuju se u obliku pepela (lebdećeg pepela), čađe, prašine i dima.

Para je plinovita faza koja može postojati u stanju kapljevine ili plina u isto vrijeme poput hlapljivih organskih spojeva (VOC), izuzevši metan, etilen, etan i druge hlapljive organske spjeve s niskim vrelištem.¹

Organski plinovi koji predstavljaju potencijalna onečišćivala zraka obuhvaćaju različite vrste spojeva; oksidirani ugljikovodici, halogenirani ugljikovodici, olefini (nezasićeni ugljikovodici), aromati itd. Oksidirani ugljikovodici (kiseline, alkoholi, ketoni, adehidi) koji u većim koncentracijama mogu izazvati smanjenje vidljivosti u atmosferi te izazvati iritaciju očiju.¹

Halogenirani ugljikovodici poput tetraklor ugljika mogu uzrokovati ozbiljne probleme u atmosferi. Olefini sudjeluju u fotokemijskim reakcijama u atmosferi u prisutnosti dušikovih oksida i nekih drugih spojeva. Aromati (uz ksilen, etilen i benzen) nastaju uslijed nepotpunog izgaranja organskih spojeva.¹

Anorganski plinovi su plinovi koji su uglavnom nastali prilikom izgaranja, a uključuju okside ugljika (CO i CO₂), okside dušika (NO i NO₂), amonijak (NH₃), okside sumpora (SO₂ i SO₃) itd.¹

Ugljikov (IV) oksid ili CO₂ je bezbojni plin koji je nezapaljiv i prirodni je sastojak atmosfere te u ciklusu ugljika u prirodi ima ključnu ulogu. 90% CO₂ odlazi u atmosferu zbog ljudskog utjecaja uslijed izgaranja fosilnih goriva u raznim djelatnostima, a samo 10% iz prirodnih izvora. Pri volumnoj koncentraciji CO₂ od 1%, uzrokuje ubrzano disanje, dok pri 5% može izazvati glavobolju. Također, pri povišenoj koncentraciji (od 10%), u nekim slučajevima, može dovesti do gušenja ili smrti..²

Nedavno istraživanje (Gul i Kumar Das, 2023: 3) potvrdilo je da je CO₂ otrovan plin koji u visokim koncentracijama može bit smrtonosan. Zbog efekta staklenika, CO₂ se opisuje kao glavni zagađivač odnosno smatra se jednim od najgorih klimatskih zagađivača na svijetu. CO₂ je ujedno i najvažniji plin te prirodna komponenta zraka koju ljudski dišni sustav izbacuje i neophodan je za biljni svijet.¹¹

Ugljikov (II) oksid, ili CO, je bezbojni i bezmirisni plin koji se stvara nepotpunim izgaranjem organskih materijala koji sadrže ugljik. Ne podržava gorenje, no izgara s plavim plamenom. Kao i kod CO₂, ljudska djelatnost pridonosi ispuštanju CO (90%) u atmosferu zbog nepotpunog izgaranja fosilnih goriva, posebno iz automobila. 10% CO odlazi u atmosferu iz prirodnih izvora zajedno s metanom (CH₄).²

CO predstavlja ozbiljnu opasnost za ljude, a i životinje, ukoliko se ispušta u velikim koncentracijama u zatvorenom prostoru zato što udisanje samog plina može oštetiti tkiva i smanjiti količinu kisika koja se prenosi do krvotoka i ključnih organa, poput srca i mozga što može dovesti do nesvjestice pa čak i smrti. Također, CO se već prirodno proizvodi u ljudskom tijelu prilikom razgradnje hemoglobina. Visoke koncentracije CO, na otvorenom, nisu tako vjerojatne kao kod NO₂, osim u slučajevima prirodnih katastrofa (vulkan, požar itd.).⁸

Dušikov (IV) oksid ili NO₂ je plin koji je najotrovniji od svih dušikovih oksida, karakterističnog je mirisa i tamnocrvene boje. Sastavni je dio fototoksičnih tvari što rezultira nepovoljnim posljedicama po vegetaciju. Kao posljedica na čovjeka i životinje, NO₂ izaziva nadraživanje čula mirisa, osjećaj jakog bola u respiratornom traktu, plućni edem, ometanje normalnog disanja te uz prisutnost visokih koncentracija može uzrokovati smrt.²

1.5. Zakonski propisi vezani za onečišćenje zraka u Republici Hrvatskoj

Pitanja vezana uz praćenje kakvoće zraka, utvrđivanje njezine kvalitete i mjerenje emisija u zraku u Republici Hrvatskoj regulirana su brojnim zakonskim i podzakonskim aktima. Na temelju Zakona o zaštiti zraka (NN 57/22, 127/19), definirani su sljedeći pojmovi:

Kvaliteta zraka je svojstvo zraka kojim se iskazuje značajnost u njemu postojećih razina onečišćenosti.¹²

Kvaliteta zraka prati se na osnovi:

- Mjerenja na stalnim mjestima i/ili ocjene razina onečišćenosti zraka u zonama i aglomeracijama
- Mjerenja na stalnim mjernim mjestima i/ili ocjene razina onečišćenosti zraka zbog daljinskog i prekoračenog prijenosa onečišćujućih tvari u zraku i oborini na teritoriju Republike Hrvatske
- Mjerenja i analize meteoroloških uvjeta i kvalitete zraka
- Mjerenja i opažanja promjena koje ukazuju na učinak onečišćenosti zraka (posredni pokazatelji kvalitete zraka): na tlu, biljkama, građevinama, u biološkim nalazima i slično
- Drugih metoda procjene i mjerila koji se primjenjuju na području Europske unije¹²

Ciljna vrijednost je razina onečišćenosti određena radi izbjegavanja, sprječavanja ili umanjivanja štetni učinaka na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini koju treba, ako je to moguće dostići u zadanom razdoblju.

Granična vrijednost (GV) je razina onečišćenosti koju treba postići u zadanom razdoblju ispod koje, na temelju znanstvenih spoznaja, ne postoji ili je najmanji mogući rizik od štetnih učinaka a ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini i jednom kada je postignuta, ne smije se prekoračiti.¹²

Prema razinama onečišćenosti, s obzirom na propisane granične vrijednosti (GV), ciljne vrijednosti i ciljne vrijednosti za prizemni ozon utvrđuju se sljedeće kategorije kvalitete zraka:

- **Prva kategorija kvalitete zraka** – čist ili neznatno onečišćen zrak: nisu prekoračene granične vrijednosti (GV), ciljne vrijednosti i ciljne vrijednosti za prizemni ozon
- **Druga kategorija kvalitete zraka** – onečišćen zrak: prekoračene su granične vrijednosti (GV), ciljne vrijednosti i ciljne vrijednosti za prizemni ozon¹²

Prema uredbi o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/2020), propisane su granične vrijednosti koncentracija onečišćujućih tvari u zraku s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi, a koje su prikazane u tablici 1.2..¹³

Tablica 1.2. Granične vrijednosti onečišćujućih tvari u zraku s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi¹³

| Onečišćujuća tvar | Vrijeme usrednjavanja | Granična vrijednost (GV) | Učestalost dozvoljenih prekoračenja |
|-------------------------------------|--|--------------------------|---|
| Sumporov dioksid (SO ₂) | 1 sat | 350 µg/m ³ | GV ne smije biti prekoračena više od 24 puta tijekom kalendarske godine |
| | 24 sata | 125 µg/m ³ | GV ne smije biti prekoračena više od 3 puta tijekom kalendarske godine |
| Dušikov dioksid (NO ₂) | 1 sat | 200 µg/m ³ | GV ne smije biti prekoračena više od 18 puta tijekom kalendarske godine |
| | kalendarska godina | 40 µg/m ³ | - |
| Ugljikov monoksid (CO)(2) | maksimalna dnevna osmosatna srednja vrijednost | 10 µg/m ³ | - |
| PM ₁₀ (3) | 24 sata | 50 µg/m ³ | GV ne smije biti prekoračena više od 35 puta tijekom kalendarske godine |
| | kalendarska godina | 40 µg/m ³ | - |
| Benzen | kalendarska godina | 5 µg/m ³ | - |
| Olovo (Pb) u PM ₁₀ | kalendarska godina | 0,5 µg/m ³ | - |
| Ukupna plinovita živa (Hg) | kalendarska godina | 1 µg/m ³ | - |

1.6. Izvještaj za provedbu programa zaštite zraka, ozonskog sloja, ublažavanje klimatskih promjena i prilagodbe klimatskim promjenama za područje grada Dubrovnika 2016. - 2020. godina

Grad Dubrovnik smješten je na najjužnijem dijelu Republike Hrvatske i služi kao administrativno i gospodarsko središte Dubrovačko-neretvanske županije.

Dubrovačkim područjem vlada subtropski tip godišnjeg hoda oborina jer se nalazi na rubu pojasa, a oborine su većinom frontalnog porijekla čiji je maksimum u studenom ili prosincu.¹⁴

Najčešći vjetrovi koji pušu, neovisno o smjeru vjetra, iznose 1-3 Bf (Beaufortova ljestvica), od povjetarca do slabog vjetra, u 79,3% slučajeva, 15,3% umjereno jakog vjetra (4-5 Bf) te 2,8% jačeg vjetra (6 Bf). Na postaji Dubrovnik – aerodrom, srednja godišnja relativna vlažnost zraka iznosila je 62%.

Turizam je najdominantnija gospodarska grana grada Dubrovnika jer čini preko 4/5 dubrovačkog gospodarstva, a bitan segment u turizmu čini nautički turizam. Na Dubrovnik se odnosi više od 70% nautičkog turizma u Hrvatskoj. Za razliku od današnjih trendova, poljoprivredna aktivnost nalazi se izvan središnjeg dijela grada.

Unutar državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka, na području grada Dubrovnika smještena je mjerna postaja Žarkovica. S obzirom na svoju lokaciju, postaja Žarkovica smatra se prigradskom i pozadinskom u odnosu na izvor emisija. Na postaji Žarkovica se mjere koncentracije onečišćujućih tvari kao što su; NO_x, prizemni ozon (O₃), PM_{2.5} lebdeće čestice te PM₁₀ lebdeće čestice. Za razdoblje od 2016. do 2020. godine, na mjernoj postaji Žarkovica, zrak je, s obzirom na O₃, bio klasificiran kao uvjetno II kategorije. Mjerenje NO₂ su korištena kao indikativna, a zrak je bio I kategorije.

Informacijski sustav kojeg vodi Zavod za zaštitu okoliša i prirode u Ministarstvu gospodarstva i održivog razvoja naziva se Registar onečišćavanja okoliša (ROO). Prema pravilniku o Registru onečišćujućih tvari, prag za prijavu emisija u zrak iznosi; za NO₂ - 600 kg/god, za SO₂ - 3.000 kg/god, za CO₂ - 450.000 kg/god, za CO - 200 kg/god, PM₁₀ - 200 kg/god te za NMHOS - 100.000 kg/god. Pregled količina emisija onečišćujućih tvari u zrak za područje Grada Dubrovnika prema ROO za razdoblje od 2016. do 2019. godine prikazan je tablično (Tablica 1.3.).

Također, Od 2019. godine, Lučka uprava Dubrovnik postavila je mjernu stanicu za praćenje kvalitete zraka, tj. koncentracije onečišćujućih tvari (NO, NO₂, SO₂, CO) u lučkom području ¹⁴

Tablica 1.3. Količine ispuštanja onečišćujućih tvari u zrak (t/god) na području Grada Dubrovnika¹⁴

| Onečišćujuća tvar | 2016. | 2017. | 2018. | 2019. | 2020. |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Oksidi sumpora izraženi kao sumporov dioksid (SO ₂) | - | - | - | - | - |
| Oksidi dušika izraženi kao dušikov dioksid (NO ₂) | 1,263 | 6,331 | 4,913 | 3,841 | 1,496 |
| Ugljikov monoksid (CO) | - | 2,532 | 3,035 | 1,259 | 0,598 |
| Ugljikov dioksid (CO ₂) | 3 881,958 | 4 685,311 | 4 714,144 | 4 064, 772 | 2 604,92 |
| Čestice PM ₁₀ | 0,256 | 2,241 | 2,590 | 1,722 | 1,287 |

2. EKSPERIMENTALNI DIO

2.1. Organizacija mjerenja

Mjerenja koncentracije plinova provedena su na četiri mjerne postaje u gradu Dubrovniku, kroz mjesec prosinac 2023. godine, mjesec veljaču, ožujak, svibanj te kolovoz 2024. godine.

Kao mjerne postaje, odabrana su tri najprometnija i najfrekventnija dijela grada Dubrovnika te jedna mjerna postaja u prigradskom dijelu grada (Stara Mokošica) gdje nema prometne frekvencije.

Kao mjerne postaje u gradu Dubrovniku odabrane su sljedeće lokacije.:

Mjerna postaja broj 1 - Lapad (kružni tok)

Mjerna postaja broj 2 - Luka Gruž

Mjerna postaja broj 3 - Ilijina glavica (raskrižje i ulaz za staru gradsku jezgru grada Dubrovnika)

Mjerna postaja broj 4 – Stara Mokošica (pješačka zona)



Slika 2.1. Plan grada Dubrovnika¹

2.2. Mjerni uređaj

Dräger X-am[®] 8000 je uređaj za detekciju više toksičnih i zapaljivih plinova i para (CO₂, CO, H₂S, NO₂, SO₂) te za detekciju kisika. Praktičan je i izdržljiv uređaj kojim se može rukovati jednom rukom s pomoću tri funkcijska gumba, a zaslon u boji je jednostavan za čitanje te se jasno prikazuju sve informacije.

U skladu sa zahtjevima normi, sustav za signalizaciju uređaja se temelji na jasnom označavanju bojama; crveno svjetlo je alarm za plin uz koju signalizira i jaki zvuk te jasno osjetna vibracija, žuto svjetlo je alarm koji je povezan uz uređaj (npr. kada je razina baterije uređaja niska) te zeleno svjetlo koje označuje kako je uređaj spreman za uporabu. Uređaj omogućuje jednostavno i brzo obavljanje testova ispravnosti i kalibraciju.

Uz sve navedeno, uređaj osigurava i produženje vijeka trajanja njegovim indukcijskim punjenjem čime se također sprječava korozija.¹⁶



Slika 2.2. Uređaj za mjerenje koncentracija plinova, para te kisika, Dräger X-am[®] 8000¹⁷

3. REZULTATI

U sljedećim tablicama (Tablica 3.1. – 3.4.) na odabranim mjernim postajama u gradu Dubrovniku, prikazane su eksperimentalne vrijednosti koncentracija CO₂, O₂, NO₂ i CO uz meteorološke značajke te prometna opažanja.

*Napomena: Vrijednosti CO₂ i O₂, iskazane u vol% pretvorene su u mjernu jedinicu dijelova na milijun, ppm. (1 vol. % = 10.000 ppm)

Tablica 3.1. Prikaz rezultata mjerenja na mjernoj postaji br. 1 – Lapad (kružni tok)

| DATUM | VRIJEME | METEOROLOŠKI PARAMETRI | OPAŽANJA | MJERENJE |
|-------------|---------|---|----------------------|--|
| 16.12.2024. | 16:14 | Vrijeme: vedro Temperatura: 14 C Vlaga: 78% Vjetar: 10 km/h | Promet nije gust | CO ₂ : 0,050 Vol%=500 ppm O ₂ : 21,5 Vol% =215000 ppm |
| 17.12.2024. | 12:27 | Vrijeme: vedro Temperatura: 16 C Vlaga: 65% Vjetar: 10-15 km/h | Promet srednje gust | CO ₂ : 0,050%=500 ppm O ₂ : 21,4 Vol% = 214000 ppm |
| 06.02.2024. | 16:24 | Vrijeme: naoblaka Temperatura: 12°C Vlaga: 87% Vjetar: 6 km/h | Promet srednje gust | CO ₂ : 0,060 Vol%=600 ppm O ₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm |
| 16.02.2024. | 16:11 | Vrijeme: sunčano Temp.: 14°C Vlaga: 62% Vjetar: 5-13 km/h | Promet nije gust | CO ₂ : 0,060 Vol%= 600 ppm O ₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm |
| 28.03.2024. | 17:19 | Vrijeme: sunčano Temp: 15 Vlaga: 68% Vjetar: 5-15 km/h | Promet srednje gust | CO ₂ : 0,060 Vol% = 600 ppm O ₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm |
| 30.03.2024. | 16:43 | Vrijeme: sunčano Temp: 15°C Vlaga: 64% Vjetar: 10-15 km/h | Promet nije gust | CO ₂ : 0,055 Vol%=550 ppm O ₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm |
| 13.05.2024. | 16:03 | Vrijeme: poluoblačno Temp: 20 °C Vlaga: 64% Vjetar: 6-17 km/h | Promet nije gust | CO ₂ : 0,050 Vol% =550 ppm O ₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm NO ₂ : 0,04 ppm |
| 15.05.2024. | 14:37 | Vrijeme: oblačno Temp: 19 °C Vlaga: 68% Vjetar: 30 km/h | Promet gust | CO ₂ : 0,055 Vol% = 550 ppm O ₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm NO ₂ : 0,02 ppm |
| 13.08.2024. | 15:35 | Vrijeme: sunčano Temp: 31 °C Vlaga:62 % Vjetar: 10-15 km/h | Promet izrazito gust | CO ₂ : 0,075 Vol% = 750 ppm O ₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm CO: 1 ppm NO ₂ : 0,06 ppm |
| 27.08.2024. | 18:14 | Vrijeme: sunčano Temp: 30 Vlaga: 50% Vjetar: 7-14 km/h | Promet izrazito gust | CO ₂ : 0,075 Vol% = 750 ppm O ₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm CO: 1 ppm NO ₂ : 0,04 ppm |

Tablica 3.2. Prikaz rezultata mjerenja na mjernoj postaji br. 2 – Luka Gruž

| DATUM | VRIJEME | METEOROLOŠKI PARAMETRI | OPAŽANJA | MJERENJE |
|--------------------|---------|---|----------------------------------|--|
| 16.12.2024. | 16:06 | Vrijeme: vedro Temperatura: 14 °C Vlaga: 78% Vjetar: 10 km/h | Promet nije gust | CO₂ : 0,050 Vol%=500ppm O₂ : 21,5 Vol%=215000 ppm |
| 17.12.2024. | 13:11 | Vrijeme: vedro Temperatura: 16 °C Vlaga: 65% Vjetar: 10-15 km/h | Promet srednje gust | CO₂ : 0,055Vol%=550ppm O₂ : 21,5 Vol%=215000 ppm |
| 06.02.2024. | 16:52 | Vrijeme: naoblaka Temperatura: 12°C Vlaga: 87% Vjetar: 6 km/h | Promet srednje gust | CO₂ : 0,055 Vol%=550 ppm O₂ : 20,09 Vol%=209000 ppm |
| 16.02.2024. | 15:54 | Vrijeme: sunčano Temp.: 14°C Vlaga: 62% Vjetar: 5-13 km/h | Promet nije gust | CO₂ : 0,050 Vol%=500 ppm O₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm |
| 28.03.2024. | 16:45 | Vrijeme: sunčano Temp: 15 Vlaga: 68% Vjetar: 5-15 km/h | Promet srednje gust | CO₂ : 0,050 Vol%=500 ppm O₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm NO₂ : 0,02 ppm |
| 30.03.2024. | 17:01 | Vrijeme: sunčano Temp: 15°C Vlaga: 64% Vjetar: 10-15 km/h | Promet nije gust | CO₂ : 0,055 Vo%=550 ppm O₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm |
| 13.05.2024. | 16:14 | Vrijeme: poluoblačno Temp: 20 °C Vlaga: 64% Vjetar: 6-17 km/h | Promet nje gust | CO₂ : 0,055 Vol%=550 ppm O₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm NO₂ : 0,06 ppm |
| 15.05.2024. | 14:50 | Vrijeme: oblačno Temp: 19 °C Vlaga: 68% Vjetar: 30 km/h | Promet gust | CO₂ : 0,060 Vol%=600 ppm O₂ :20,9 Vol%=209000 ppm NO₂ : 0,02 ppm |
| 13.08.2024. | 15:50 | Vrijeme: sunčano Temp: 31 °C Vlaga:62 % Vjetar: 10-15 km/h | Promet izrazito gust, kruzeri | CO₂ : 0,075 Vol%=750 ppm O₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm CO : 1 ppm NO₂ : 0,06 ppm |
| 27.08.2024. | 18:32 | Vrijeme: sunčano Temp: 30 °C Vlaga: 50% Vjetar: 7-14 km/h | Promet izrazito gust, kruzeri | CO₂ : 0,080 Vol%=800 ppm O₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm CO : 2 ppm NO₂ : 0,04 ppm |

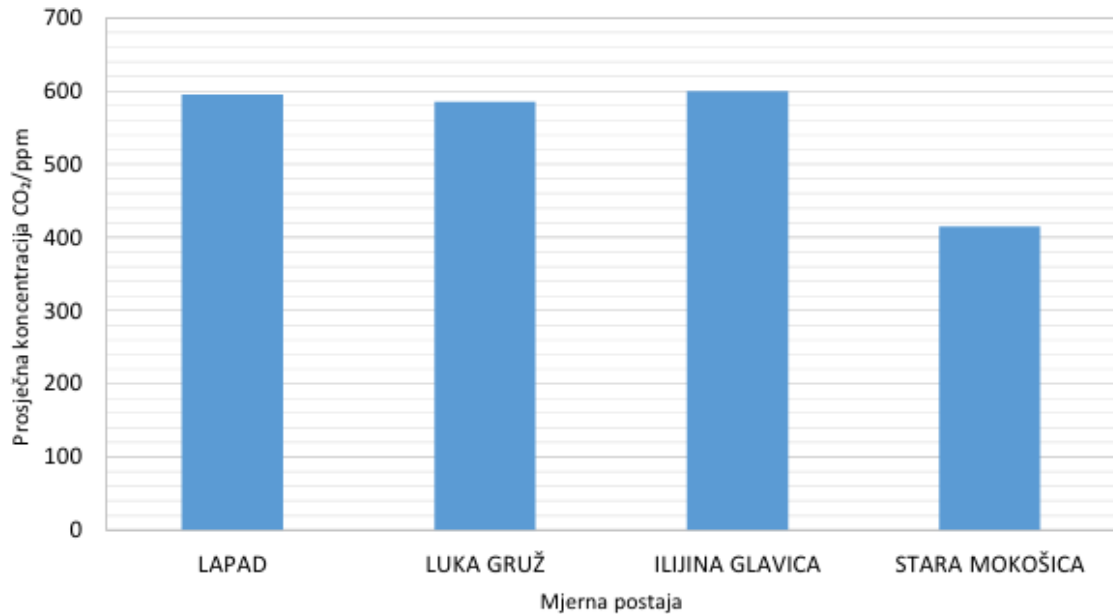
Tablica 3.3. Prikaz rezultata mjerenja na mjernoj postaji br. 3 – Ilijina Glavica (raskrižje i ulaz za staru gradsku jezgru grada Dubrovnika)

| DATUM | VRIJEME | METEOROLOŠKI PARAMETRI | OPAŽANJA | MJERENJE |
|--------------------|---------|--|----------------------|--|
| 16.12.2024. | 16:23 | Vrijeme: vedro Temperatura: 14 °C Vlaga: 78% Vjetar: 10 km/h | Promet nije gust | CO₂ : 0,050 Vol% = 500 ppm O₂ : 21,4 Vol%=214000 ppm |
| 17.12.2024. | 13:43 | Vrijeme: vedro Temperatura: 16 °C Vlaga: 65% Vjetar: 10-15 km/h | Promet srednje gust | CO₂ : 0,055% = 550 ppm O₂ : 21,4 Vol%=214000 ppm |
| 06.02.2024. | 17:02 | Vrijeme: naoblaka Temperatura: 12°C Vlaga: 87% Vjetar: 6 km/h | Promet srednje gust | CO₂ : 0,060 Vol% = 600 ppm O₂ : 20,09 Vol%=209000 ppm |
| 16.02.2024. | 16:24 | Vrijeme: sunčano Temp.: 14°C Vlaga: 62% Vjetar: 5-13 km/h | Promet nije gust | CO₂ : 0,050 Vol% = 500 ppm O₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm |
| 28.03.2024. | 17:45 | Vrijeme: sunčano Temp: 15 Vlaga: 68% Vjetar: 5-15 km/h | Promet srednje gust | CO₂ : 0.050 Vol% = 500 ppm O₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm NO₂ : 0,04 ppm |
| 30.03.2024. | 17:15 | Vrijeme: sunčano Temp: 15°C Vlaga: 64% Vjetar: 10-15 km/h | Promet nije gust | CO₂ : 0,055 Vol% = 550 ppm O₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm |
| 13.05.2024. | 15:20 | Vrijeme: poluoblačno Temp: 20 °C Vlaga: 64% Vjetar: 6-17 km/h | Promet srednje gust | CO₂ : 0,060 Vol% = 600 ppm O₂ : 20,9 NO₂ : 0,04 ppm |
| 15.05.2024. | 15:17 | Vrijeme: oblačno Temp: 19 °C Vlaga: 68% Vjetar: 30 km/h | Promet gust | CO₂ : 0,060 Vol% = 600 ppm O₂ :20,9 Vol% NO₂ : 0,04 ppm |
| 13.08.2024. | 16:13 | Vrijeme: sunčano Temp: 31 °C Vlaga:62 % Vjetar: 10-15 km/h | Promet izrazito gust | CO₂ : 0,080 Vol% = 800 ppm O₂ : 20.9 Vol%=209000 ppm CO : 3 ppm NO₂ : 0,06 ppm |
| 27.08.2024. | 17:56 | Vrijeme: sunčano Temp: 30 °C Vlaga: 50% Vjetar: 7-14 km/h | Promet izrazito gust | CO₂ : 0,080 Vol% = 800 ppm O₂ : 20.9 Vol%=209000 ppm CO : 1 ppm NO₂ : 0,04 ppm |

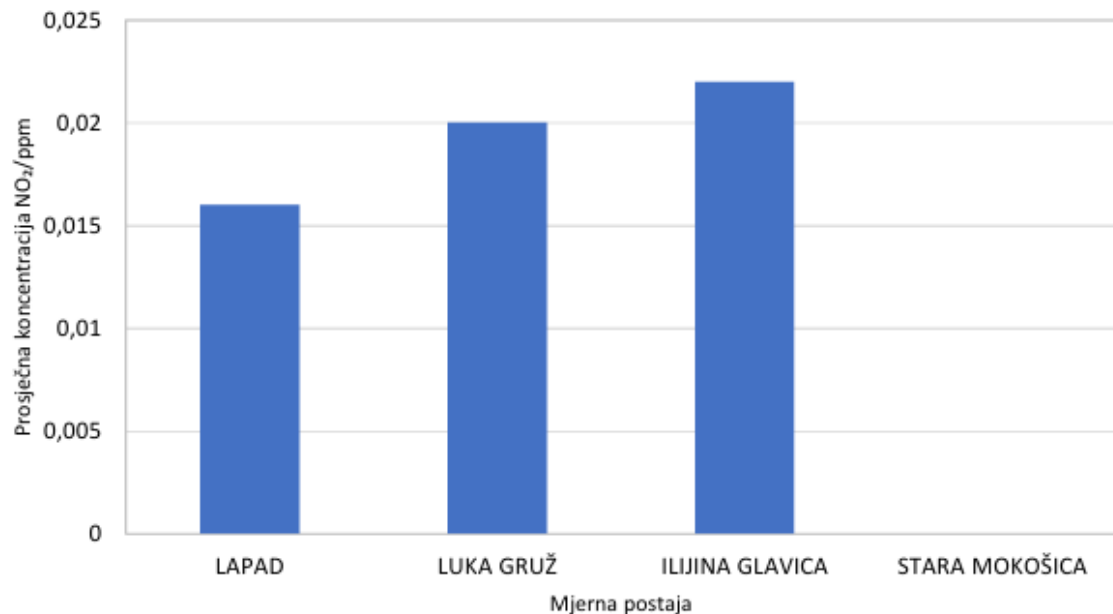
Tablica 3.4. Prikaz rezultata mjerenja na mjernoj postaji br. 4 – Stara Mokošica (pješačka zona)

| DATUM | VRIJEME | METEOROLOŠKI PARAMETRI | OPAŽANJA | MJERENJE |
|--------------------|---------|--|--------------|---|
| 16.12.2024. | 16:45 | Vrijeme: vedro Temperatura: 14 °C Vlaga: 78% Vjetar: 10 km/h | Nema prometa | CO ₂ : 0,040 Vol% = 400 ppm O ₂ : 21,4 Vol%=214000 ppm |
| 17.12.2024. | 13:43 | Vrijeme: vedro Temperatura: 16 °C Vlaga: 65% Vjetar: 10-15 km/h | Nema prometa | CO ₂ : 0,040% = 400 ppm O ₂ : 21,6 Vol%=216000 ppm |
| 06.02.2024. | 17:23 | Vrijeme: naoblaka Temperatura: 12°C Vlaga: 87% Vjetar: 6 km/h | Nema prometa | CO ₂ : 0,040 Vol% = 400 ppm O ₂ : 20,9 Vol% =209000 ppm |
| 16.02.2024. | 16:24 | Vrijeme: sunčano Temp.: 14°C Vlaga: 62% Vjetar: 5-13 km/h | Nema prometa | CO ₂ : 0,045 Vol% = 450 ppm O ₂ : 21,4 Vol% = 214000 ppm |
| 28.03.2024. | 18:03 | Vrijeme: sunčano Temp: 15 Vlaga: 68% Vjetar: 5-15 km/h | Nema prometa | CO ₂ : 0.035 Vol% = 350 ppm O ₂ : 21,3 Vol% =213000 ppm |
| 30.03.2024. | 17:36 | Vrijeme: sunčano Temp: 15°C Vlaga: 64% Vjetar: 10-15 km/h | Nema prometa | CO ₂ : 0,040 Vol% = 400 ppm O ₂ : 21,3 Vol%=213000 ppm |
| 13.05.2024. | 16:54 | Vrijeme: poluoblačno Temp: 20 °C Vlaga: 64% Vjetar: 6-17 km/h | Nema prometa | CO ₂ : 0,045 Vol% = 450 ppm O ₂ : 20,9 Vol%=209000 ppm |
| 15.05.2024. | 15:48 | Vrijeme: oblačno Temp: 19 °C Vlaga: 68% Vjetar: 30 km/h | Nema prometa | CO ₂ : 0,035 Vol% = 350 ppm O ₂ :20,9 Vol%=209000 ppm |
| 13.08.2024. | 16:37 | Vrijeme: sunčano Temp: 31 °C Vlaga:62 % Vjetar: 10-15 km/h | Nema prometa | CO ₂ : 0,045 Vol% = 450 ppm O ₂ : 20.9 Vol%=209000 ppm |
| 27.08.2024. | 17:35 | Vrijeme: sunčano Temp: 30 °C Vlaga: 50% Vjetar: 7-14 km/h | Nema prometa | CO ₂ : 0,050 Vol% = 500 ppm O ₂ : 20.9 Vol%=209000 ppm |

Grafički prikaz prosječne koncentracije CO₂ (u ppm) za pojedinu mjernu postaju u gradu Dubrovniku prikazan je na Slici 3.1., dok je grafički prikaz prosječne koncentracije NO₂ (u ppm) za pojedinu mjernu postaju u gradu Dubrovniku iskazan na Slici 3.2.



Slika 3.1. Prosječna koncentracija CO₂ (u ppm) u ovisnosti o mjernim postajama u gradu Dubrovniku



Slika 3.2. Prosječna koncentracija NO₂ (u ppm) u ovisnosti o mjernim postajama u gradu Dubrovniku

4. RASPRAVA

Razina plinova u zraku na području grada Dubrovnika pod utjecajem je ljudskih aktivnosti, pretežno turizma i prometa, koji doprinose povećanju koncentracija plinova, a ponajviše ugljikovog (IV) oksida (CO₂) i dušikovog (IV) oksida (NO₂).

Cilj je analizirati koncentracije plinova na četiri različite lokacije grada Dubrovnika tijekom šest mjeseci kako bi se utvrdili izvori onečišćenja te njihov utjecaj na kvalitetu zraka i zdravlje lokalnog stanovništva.

Lokacija broj 1 (Tablica 3.1.) nalazi se u Lapadu, a mjerenja su izvedena pokraj kružnog toka. Lokacija mjerenja je izložena prometu i stalnom protoku ljudi što je ujedno i razlog povišenijih koncentracija plinova. Najveća koncentracija CO₂ izmjerena na toj lokaciji jest u kolovozu, a iznosila je 0,075 vol%. Tijekom godine, vrijednosti koncentracija CO₂ su bile podjednake (0,050-0,060 vol%), a povišenije vrijednosti mogle su se primijetiti prilikom izloženosti visokoj vlazi u zraku. Osim CO₂, prisutan je i NO₂, u znatno manjim vrijednostima, njegova maksimalna vrijednost iznosila je 0,06 ppm (kolovoz). Osim u kolovozu prisutnost je vidljiva i tijekom svibnja. Uz navedena dva plina, u kolovozu je uočena pojava i ugljikovog (II) oksida, CO u iznosu 1 ppm što može biti opravdano nepotpunim sagorijevanjem goriva iz prometa kojem je lokacija u tom trenutku mjerenja bila izložena.

Lokacija broj 2 (Tablica 3.2.) nalazi se u Luci Gruž, mjerenja su izvedena na položaju koji je pod utjecajem automobilske prometa (blizina autobusnog kolodvora) te nautičkog prometa (kruzeri, trajekti, privatne brodice...). Najveća koncentracija CO₂ izmjerena na toj lokaciji iznosila je 0,080 vol% (kolovoz), a tijekom godine koncentracije CO₂ su podjednake (0,050-0,055 vol%). Provedenim mjerenjima koncentracija NO₂ nije detektirana do ožujka, a najveća koncentracija zabilježena je u kolovozu (0,06 ppm). CO je očitao svega u jednom mjerenju i to u kolovozu uz vrijednost 2 ppm. Također, treba naglasiti kako je lokacija zbog prirodnog položaja često izložena oborinama, čime je zrak pročišćeniji i mjerenja ne mogu biti precizno provedena, unatoč izloženosti onečišćenjima tijekom cijele godine, a ponajviše u ljetnim mjesecima.

Lokacija broj 3 (Tablica 3.3.) smještena je na Ilijinoj glavici pokraj raskrižja koje je glavni put k staroj gradskoj jezgri grada Dubrovnika zbog čega je to područje najfrekventniji dio grada što je vidljivo iz podataka mjerenja.

Koncentracija CO₂ tijekom cijele godine je bila povišenija, uz bitan naglasak na izloženost većem postotku vlage u zraku (50-90)%, a maksimalna je vrijednost zabilježena je u kolovozu (0,080 vol%).

Koncentracija NO₂, vidljiva je od ožujka, kao i na lokaciji broj 3, a najviše je iznosila 0,06 ppm. Na ovoj lokaciji izmjerena je najveća vrijednost CO koja je iznosila 3 ppm, u kolovozu, u najprometnijem dobu dana te uz utjecaj visokih temperatura te povećane vlage u zraku.

Lokacija broj 4 (Tablica 3.4.) spada u predgrađe grada Dubrovnika, mjerenje je provedeno na području gdje nema prometnog utjecaja, već izloženost biljnom okruženjem, točnije pješačka staza u šumi uz potok . Usprkos navedenom, tijekom cijele godine je prisutna koncentracija CO₂ i to gotovo jednoliko, od 0,035 vol% do maksimalne vrijednosti koncentracije od 0,050 vol% (kolovoz). Prisutnost drugih, prethodno spomenutih plinova, nije zabilježena.

Na svim lokacijama uočena je izloženost CO₂, tijekom šest mjeseci mjerenja. Na temelju grafičkog prikaza prosječnih vrijednosti koncentracija CO₂ u odnosu na različite lokacije mjerenja (Slika 3.1.), najveća koncentracija CO₂ zabilježena je na lokaciji broj 2 (Ilijina glavica). Nešto manje vrijednosti zabilježene su na lokaciji 1 (Lapad), dok su najmanje vrijednosti zabilježene na lokaciji 4 (Stara Mokošica).

Kao što je prethodno rečeno, koncentracija NO₂ u znatno je manjim vrijednostima, nego li CO₂. Iz grafa prosječnih vrijednosti koncentracija NO₂ u odnosu na različite lokacije mjerenja (Slika 3.2.), ponovno se može potvrditi da je veća onečišćenost na lokaciji broj 2 (Ilijina glavica). Manje koncentracije očitane su na lokacijama 1 (Lapad) i 3 (Luka Gruž), a na lokaciji 4 (Stara Mokošica) nema nikakve izloženosti NO₂.

Vrlo je važno napomenuti kako su sve mjerne postaje, tijekom cijele godine, izložene prisutnosti kisika (O₂) u zadovoljavajućim vrijednostima od 20,9 do čak 21,6 vol% koja je očitana na lokaciji br. 4 (Stara Mokošica) u zimskom periodu godine.

Uz CO₂ i NO₂, bitno se osvrnuti i na pojavu CO na lokacijama broj 1,2, i 3. Pojava CO je zamijećena u ljetnom periodu godine kada su te lokacije izložene visokom prometnom opterećenju.

Grad Dubrovnik, unatoč pogodnim geografskim obilježjima i klimatskim uvjetima, postaje sve više izloženiji onečišćenjima u atmosferi iz antropogenih izvora. Tijekom cijele godine vidljiva je prisutnost onečišćenja što se može potkrijepiti činjenicom kako je sve veći broj vozila u kućanstvima što predstavlja opterećenje za Grad s obzirom na njegovu veličinu odnosno nedovoljne kapacitete prometne infrastrukture. Posebno je to izraženo tijekom ljetnih mjeseci zbog enormnog povećanja gustoće naseljenosti. Turizam je u Dubrovniku najdominantnija gospodarska grana koja iza sebe ostavlja niz posljedica, što iz godine u godinu sve većim dijelom utječe na ekosustav i na zdravlje ljudi. Osim automobilske utjecaja, veliki dio utjecaja ima i već spomenuti nautički turizam. Brodovi zbog emisija štetnih plinova uvelike utječu na kvalitetu zraka i življenja, a dok se ne primjenjuju zakonske kazne, situacija neće biti popravljena. Najveći iznosi CO₂, NO₂ pa čak i CO, prisutni u tom dijelu godine potkrepljuju navedena objašnjenja.

Mjerenja u predgrađu grada Dubrovnika (lokacija broj 4 – Stara Mokošica), koje je dan danas i dalje poljoprivredno područje, prikazuje koliko antropogeni izvori imaju veliki utjecaj na onečišćenje atmosfere zbog čega je to područje najmanje onečišćeno. Sve su to jedni od razloga zbog kojih sve više stanovnika pribjegava životu van urbanog dijela Grada.

Usprkos znatnom utjecaju turizma, kao vodećim izvorom onečišćenosti, rezultati mjerenja u ovom radu, uspoređeni s Izvještajem o provedbi programa zaštite zraka grada Dubrovnika za razdoblje 2016.-2020. (1.6.), i dalje pokazuju zadovoljavajuće razine kvalitete zraka u Dubrovniku.

5. ZAKLJUČAK

Dobiveni rezultati tijekom šestomjesečnog mjerenja ukazuju da je pojava pojedine onečišćujuće tvari odnosno plina, ovisna o vrsti lokacije, meteorološkim parametrima te o periodu godine.

Srednje vrijednosti koncentracije ugljikovog (IV) oksida (CO₂) za područje grada Dubrovnika su u rasponu od 0,0415 do 0,060 vol%.

Srednje vrijednosti koncentracije dušikovog (IV) oksida (NO₂) za područje grada Dubrovnika su od 0,016 do 0,022 ppm.

Najveća vrijednost koncentracije CO₂ izmjerena je na mjernim postajama 2 i 3 (Luka Gruž i Ilijina glavica) u poslijepodnevним satima u mjesecu kolovozu, iznosila je 0,080 vol%.

Vrijednosti koncentracije ugljikovog (II) oksida (CO) zabilježene ili izmjerene su u kolovozu u poslijepodnevним satima na mjernim postajama broj 1, 2 i 3 (Lapad, Luka Gruž i Ilijina glavica), najveća vrijednost iznosila je 3 ppm na mjernoj postaji broj 3 (Ilijina glavica).

Vrijednosti kisika (O₂) izmjerene su u vrijednostima od 20,9 do 21,6 vol% na sve četiri mjerne postaje za područje grada Dubrovnika.

Na mjernoj postaji broj 4 (Stara Mokošica), u predgrađu grada Dubrovnika, izmjerene su najmanje vrijednosti koncentracije CO₂, najmanja vrijednost je u iznosila 0,035 vol% u prosincu. Na istoj mjernoj postaji je izmjerena najveća vrijednost kisika (O₂) u iznosu 21,6 vol%, dok vrijednosti koncentracija NO₂ i CO, nisu primijećene tijekom nijednog mjerenja.

6. LITERATURA

1. URL: [file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/Zrak\[1\]%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/Zrak[1]%20(1).pdf) (Preuzeto 05.09.2024.)
2. URL: [file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/Interna%20skripta%20za%20predmet%20Zastita%20zraka\[1\].pdf](file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/Interna%20skripta%20za%20predmet%20Zastita%20zraka[1].pdf) (Preuzeto 05.09.2024.)
3. URL: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Atmosferab> (Preuzeto 05.09.2024.)
4. *M. Prather, M. Gauss, T. Berntsen, I. Isaksen, J. Sundet*, Fresh air in the 21st century?, *Geophys. Res. Lett.* **30** (2003) 72.
5. URL: <https://www.europarl.europa.eu/topics/hr/article/20230316STO77629/klimatske-promjene-i-staklenicki-plinovi-koji-uzrokuju-globalno-zagrijavanje> (Preuzeto 05.09.2024.)
6. URL: <https://www.zzzjdnz.hr/zdravlje/okolis-i-zdravlje/362> (Preuzeto 06.09.2024.)
7. *Bralić, M., Buljac, M., Periš, N., Buzuk, M., Dabić, P., Brinić, S.*, Monthly and Seasonal Variations of NO₂, SO₂ and Black-smoke Located Within the Sport District in Urban Area, City of Split, Croatia, *Croat. Chem. Acta.* **85** (2012) 139-145.
8. *Banaji, S.*, Nitrogen Oxides and Nitrogen Dioxides. Nitrogen Dioxide, Carbon Monoxide, Natural and Anthropomorphic Effects, and Earth's Changing Climate, *ACS.* **13** (2023) 62-71.
9. URL: https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Predavanje_1-2020.pdf (Preuzeto 10.09.2024.)
10. *Milošević-Pujo, B., Jurjević, N.*, Onečišćenje mora iz zraka emisijom ispušnih plinova. *Naše more.* **51** (2004) 178-184.
11. *Gull, H., Kumar Das, B.*, The Impacts of Air Pollution on Human Health and Well-Being: A Comprehensive Review, *JEM.* **3** (2023) 1–11.
12. URL: <https://www.zakon.hr/z/269/Zakon-o-za%C5%A1titi-zraka> (Preuzeto 12.09.2024.)
13. URL: <https://www.zakon.hr/cms.htm?id=45100> (Preuzeto 12.09.2024.)

14. URL: <file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/Izvjescje-o-stanju-okolisa-GradaDubrovnika2016-2020-final-usvojeno-09-03-2022.pdf> (Preuzeto 12.09.2024.)
15. URL: <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1ua0soBuAe1x48XUUobt1xJ2BxiE&msa=0&ll=42.65504564571974%2C18.08909207200438&z=14> (Preuzeto 12.09.2024.)
16. URL: <https://www.draeger.com/Content/Documents/Products/X-am%208000-pi-100856-hr-HR.pdf> (Preuzeto 12.09.2024.)
17. URL: https://www.draeger.com/hr_hr/Products/X-am-8000#media-gallery (Preuzeto 12.09.2024.)