

# Mjerenja koncentracija CO<sub>2</sub>, CO i NO<sub>2</sub> na području grada Zenice

---

Ramljak, Slaven

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:167:684856>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-12**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**

**MJERENJA KONCENTRACIJA CO<sub>2</sub>, CO I NO<sub>2</sub> NA PODRUČJU**  
**GRADA ZENICE**

**ZAVRŠNI RAD**

**SLAVEN RAMLJAK**

**Matični broj: 532**

**Split, rujan 2024.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET  
PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ KEMIJE**

**MJERENJA KONCENTRACIJA CO<sub>2</sub>, CO I NO<sub>2</sub> NA PODRUČJU  
GRADA ZENICE**

**ZAVRŠNI RAD**

**SLAVEN RAMLJAK**

**Matični broj:532**

**Split, rujan 2024.**

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

**MEASUREMENTS OF CO<sub>2</sub>, CO, AND NO<sub>2</sub> CONCENTRATIONS IN  
THE AREA OF THE CITY OF ZENICA**

**BACHELOR THESIS**

**SLAVEN RAMLJAK**

**Parent number: 532**

**Split, September 2024.**

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

ZAVRŠNI RAD

Sveučilište u Splitu  
Kemijsko-tehnološki fakultet  
Prijediplomski studij kemije

**Znanstveno područje:** Prirodne znanosti

**Znanstveno polje:** Kemija

**Mentor:** doc. dr. sc. Maša Buljac

### MJERENJA KONCENTRACIJA CO<sub>2</sub>, CO I NO<sub>2</sub> NA PODRUČJU GRADA ZENICE Slaven Ramljak, 532

#### Sažetak:

Zrak je smjesa plinova čiji sadržaj može ovisiti o različitim faktorima kao što su nadmorska visina, meteorološki uvjeti, izvori onečišćenja itd. Onečišćenje zraka igra značajnu ulogu u današnjem svijetu pri čemu veliki udio proizlazi iz ljudskih aktivnosti. Loša kvaliteta zraka utječe na okoliš, a samim time i na zdravlje ljudi. Mjerenje kvalitete zraka postalo je dijelom raznih zakonskih okvira i uredbi kojim se nastoji kontrolirati emisija onečišćujućih tvari. Ugljikov(IV) oksid (CO<sub>2</sub>) je staklenički plin čija koncentracija u atmosferi kontinuirano raste još od industrijske revolucije te se njegova koncentracija nastoji kontrolirati. Zakonski su određene granične vrijednosti koncentracije plinova ispod kojih ti plinovi ne predstavljaju opasnost, odnosno to je vrijednost ispod koje postoji najmanji mogući rizik od štetnih učinaka na ljudsko zdravlje i/ili okoliš. U sklopu zakonskih uredbi, jedni od tih plinova su dušikov(IV) oksid (NO<sub>2</sub>) i ugljikov(II) oksid (CO). Njihovo mjerenje, zajedno s CO<sub>2</sub>, provedeno je na području grada Zenice. Ustanovljeno je da je najveća srednja koncentracija CO<sub>2</sub> izmjerena na mjernoj postaji broj 2, tj. na kružnom toku te je iznosila 606,25 ppm. Najveća srednja vrijednost koncentracije NO<sub>2</sub> također je izmjerena na mjernoj postaji broj 2 i iznosila je 0,0275 ppm. Na postaji broj 3, u naselju Tetovo, izmjerena je najveća srednja vrijednost koncentracije CO u iznosu od 2,5 ppm.

**Ključne riječi:** onečišćenje zraka, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, Zenica

**Rad sadrži:** 34 stranice, 8 slika, 7 tablica, 28 literaturnih referenci

**Jezik izvornika:** hrvatski

#### Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu završnog rada:

1. izv. prof. dr. sc. Marin Ugrina	predsjednik
2. doc. dr. sc. Josip Radić	član
3. doc. dr. sc. Maša Buljac	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**  
**Undergraduate study of Chemistry**

**Scientific area:** Natural Sciences

**Scientific field:** Chemistry

**Supervisor:** PhD, Maša Buljac, Assistant Professor

**MEASUREMENTS OF CO<sub>2</sub>, CO, AND NO<sub>2</sub> CONCENTRATIONS IN THE AREA OF THE CITY OF  
ZENICA**  
Slaven Ramljak, 532

**Abstract:**

Air is a mixture of gases whose composition can depend on various factors such as altitude, weather conditions, pollution sources, etc. Air pollution plays a significant role in today's world, with a large share arising from human activities. Poor air quality affects the environment and, consequently, human health. Measuring air quality has become part of various legal frameworks and regulations aimed at controlling the emission of pollutants. Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is a greenhouse gas whose concentration in the atmosphere has been continuously rising since the Industrial Revolution, and efforts are being made to control its levels. Legally defined limit values for gas concentrations are established below which these gases do not pose a danger; that is, they represent a value below which there is the least possible risk of harmful effects on human health and/or the environment. Among the gases regulated by legal frameworks are nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and carbon monoxide (CO). Their measurements, along with CO<sub>2</sub>, were conducted in the area of the city of Zenica. It was found that the highest average concentration of CO<sub>2</sub> was measured at monitoring station number 2, located at the roundabout, and it amounted to 606.25 ppm. The highest average concentration of NO<sub>2</sub> was also measured at monitoring station number 2, amounting to 0.0275 ppm. At station number 3, in the Tetovo settlement, the highest average concentration of CO was measured at 2.5 ppm.

**Keywords:** air pollution, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, Zenica

**Thesis contains:** 34 pages, 8 figures, 7 tables, 28 references

**Original in:** Croatian

**Defence committee for evaluation and defense of bachelor thesis:**

- |                                    |              |
|------------------------------------|--------------|
| 1. Marin Ugrina, PhD, Assoc. Prof. | chair person |
| 2. Josip Radić, PhD, Asst. Prof.   | member       |
| 3. Maša Buljac, PhD, Asst. Prof.   | supervisor   |

**Defence date:**

**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. Maše Buljac u razdoblju od prosinca 2023. do rujna 2024. godine.*

*Uvelike se zahvaljujem mentorici, doc. dr. sc. Maši Buljac, na iskazanoj stručnosti, strpljenju i fleksibilnosti tijekom izrade ovoga rada. Veliko hvala i mojim prijateljima, a posebna zahvala ide mojoj obitelji, koja mi je pružala svesrdnu podršku tijekom cijelog studija.*

*Ad maiorem Dei gloriam.*



## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

1. Izmjeriti koncentraciju plinova ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  i  $\text{NO}_2$ ) na području grada Zenice pomoću uređaja Dräger X-am<sup>®</sup> 8000.
2. Usporediti međusobni odnos rezultata mjerenja na četiri različite mjerne postaje u Zenici.
3. Izvesti zaključak o odnosu rezultata mjerenja i graničnih vrijednosti plinova  $\text{NO}_2$  i  $\text{CO}$  propisanih Pravilnikom o načinu vršenja monitoringa kvaliteta zraka i definiranju vrsta zagađujućih materija, graničnih vrijednosti i drugih standarda kvaliteta zraka FBiH.

## SAŽETAK

Zrak je smjesa plinova čiji sadržaj može ovisiti o različitim faktorima kao što su nadmorska visina, meteorološki uvjeti, izvori onečišćenja itd. Onečišćenje zraka igra značajnu ulogu u današnjem svijetu pri čemu veliki udio proizlazi iz ljudskih aktivnosti. Loša kvaliteta zraka utječe na okoliš, a samim time i na zdravlje ljudi. Mjerenje kvalitete zraka postalo je dijelom raznih zakonskih okvira i uredbi kojim se nastoji kontrolirati emisija onečišćujućih tvari. Ugljikov(IV) oksid (CO<sub>2</sub>) je staklenički plin čija koncentracija u atmosferi kontinuirano raste još od industrijske revolucije te se njegova koncentracija nastoji kontrolirati. Zakonski su određene granične vrijednosti koncentracije plinova ispod kojih ti plinovi ne predstavljaju opasnost, odnosno to je vrijednost ispod koje postoji najmanji mogući rizik od štetnih učinaka na ljudsko zdravlje i/ili okoliš. U sklopu zakonskih uredbi, jedni od tih plinova su dušikov(IV) oksid (NO<sub>2</sub>) i ugljikov(II) oksid (CO). Njihovo mjerenje, zajedno s CO<sub>2</sub>, provedeno je na području grada Zenice. Ustanovljeno je da je najveća srednja koncentracija CO<sub>2</sub> izmjerena na mjernoj postaji broj 2, tj. na kružnom toku te je iznosila 606,25 ppm. Najveća srednja vrijednost koncentracije NO<sub>2</sub> također je izmjerena na mjernoj postaji broj 2 i iznosila je 0,0275 ppm. Na postaji broj 3, u naselju Tetovo, izmjerena je najveća srednja vrijednost koncentracije CO u iznosu od 2,5 ppm.

**Ključne riječi:** onečišćenje zraka, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, Zenica

## **ABSTRACT**

Air is a mixture of gases whose composition can depend on various factors such as altitude, weather conditions, pollution sources, etc. Air pollution plays a significant role in today's world, with a large share arising from human activities. Poor air quality affects the environment and, consequently, human health. Measuring air quality has become part of various legal frameworks and regulations aimed at controlling the emission of pollutants. Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is a greenhouse gas whose concentration in the atmosphere has been continuously rising since the Industrial Revolution, and efforts are being made to control its levels. Legally defined limit values for gas concentrations are established below which these gases do not pose a danger; that is, they represent a value below which there is the least possible risk of harmful effects on human health and/or the environment. Among the gases regulated by legal frameworks are nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and carbon monoxide (CO). Their measurements, along with CO<sub>2</sub>, were conducted in the area of the city of Zenica. It was found that the highest average concentration of CO<sub>2</sub> was measured at monitoring station number 2, located at the roundabout, and it amounted to 606.25 ppm. The highest average concentration of NO<sub>2</sub> was also measured at monitoring station number 2, amounting to 0.0275 ppm. At station number 3, in the Tetovo settlement, the highest average concentration of CO was measured at 2.5 ppm.

**Keywords:** air pollution, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, Zenica

# SADRŽAJ

UVOD .....	1
1. OPĆI DIO .....	2
1.1. Zrak .....	3
1.2. Ciklus ugljika .....	6
1.3 Ciklus dušika .....	8
1.4 Zagađenje zraka .....	10
1.4.1 Izvori zagađenja zraka .....	10
1.4.2 Podjela zagađivala .....	12
1.5 Zakonski propisi Federacije Bosne i Hercegovine .....	13
1.6 Zakonski propisi Republike Hrvatske .....	14
1.7 Utjecaj zagađenja zraka na ljudsko zdravlje .....	15
2. EKSPERIMENTALNI DIO .....	17
2.1 Organizacija mjerenja .....	18
2.2 Mjerni uređaj .....	19
3. REZULTATI I RASPRAVA.....	20
4. ZAKLJUČAK .....	30
5. LITERATURA .....	32

## UVOD

Atmosfera je smjesa plinova koja okružuje Zemlju i omogućava život na njoj, sprječavajući štetna Sunčeva zračenja, osiguravajući zrak za disanje, zadržavajući toplinu te sprječavajući velike temperaturne razlike između dana i noći. Ukupna masa atmosfere iznosi oko  $5 \times 10^{18}$  kg što je otprilike tek milijuniti dio mase našega planeta. Bez obzira na to, atmosfera tlači površinu Zemlje i stvar tlak bez kojega voda ne bi mogla postojati u tekućem stanju, prilikom čega bi život na Zemlji bio gotovo nezamisliv.<sup>[1, 2]</sup>

Atmosfera je izrazito kompleksan i dinamičan globalni sustav koji teži dinamičkoj ravnoteži. Antropogenim, odnosno ljudskim djelovanjem, ta se ravnoteža s razvojem industrije počela narušavati. Posljedica takvih ljudskih aktivnosti je povećanje koncentracije stakleničkih plinova u troposferi čime dolazi do postupnoga povećanja prosječne temperature na površini Zemlje. Prema istraživanjima je globalna temperatura od početka dvadesetog stoljeća porasla za 0,8 °C dok se za kraj dvadesetprvoga stoljeća očekuje rast temperature u rasponu od 1°C do 3,5°C. Ovakav trend je doveo do klimatskih promjena koje uzrokuju redovite fluktuacije u vremenskim prilikama, a one djeluju destruktivno na okoliš.<sup>[3]</sup>

## **1. OPĆI DIO**

## 1.1. Zrak

Općenito, zrak je smjesa raznih plinova koja čini atmosferu. Od biogenih plinova, odnosno plinova koji nastaju u biološkim procesima, najznačajniji po udjelu i svojstvima je kisik ( $O_2$ ) kao produkt fotosinteze. Mnogi plinovi koji se ispuštaju u atmosferu su reducirani (npr.  $CH_4$ ,  $H_2S$  i  $(CH_3)_2S$ ) ili djelomično oksidirani (npr.  $CO$  i  $NO$ ). Stoga, većinu kemijskih reakcija u donjem dijelu atmosfere čine reakcije oksidacije u kojima nastaju  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $SO_3$ ,  $NO_2$  i  $N_2O_5$ . Te reakcije vođene su izravno ili neizravno Sunčevim ultraljubičastim zračenjem pa se atmosfera može shvatiti kao određeni fotokemijski reaktor. Reakcije tog fotokemijskog reaktora se nastavljaju i po noći tako što nabijene čestice nastale izlaganjem suncu ili električnom pražnjenju daju energiju za potrebne reakcije. Neke kemijske reakcije mogu biti potpomognute i termalnom energijom vulkanskih područja. Ipak, najveći broj atmosferskih kemijskih reakcija ovisan je o fotonima emitiranim sa Sunca.<sup>[4]</sup>

Glavni sastojci neonečišćenog zraka su molekule dušika ( $N_2$ ), kisika ( $O_2$ ) u iznosu  $\approx 99\%$ , a u manjoj količini plemeniti plinovi. Ostali plinovi koje zrak može sadržavati su prikazani u tablici 1.1. Vodena para, izrazito promjenjiv sastojak atmosfere, gotovo u potpunosti se nalazi u donjoj i srednjoj troposferi.<sup>[5]</sup>

**Tablica 1.1.** Sastav čistoga zraka u donjoj atmosferi<sup>[6]</sup>

Sastav	Plin	Volumni udio (%)	Maseni udio (%)	Boravak u atmosferi
<b>Gotovo konstantan sastav</b>	O <sub>2</sub>	20,95	23,1	5·10 <sup>3</sup> god.
	N <sub>2</sub>	78,09	75,5	10 <sup>6</sup> god.
	Ar	0,93	1,3	-
	Ne	1,8·10 <sup>-3</sup>	1,3·10 <sup>-3</sup>	-
	He	5,2·10 <sup>-4</sup>	7,2·10 <sup>-5</sup>	10 <sup>7</sup> god.
	Kr	1,1·10 <sup>-4</sup>	3,3·10 <sup>-4</sup>	-
	Xe	8,6·10 <sup>-6</sup>	3,9·10 <sup>-5</sup>	-
	Rn	6,0·10 <sup>-18</sup>	-	-
<b>Promjenjiv sastav</b>	CO <sub>2</sub>	3,6·10 <sup>-2</sup>	4,6·10 <sup>-2</sup>	5-6 god.
	CH <sub>4</sub>	1,4·10 <sup>-4</sup>	7,8·10 <sup>-5</sup>	4-7 god.
	H <sub>2</sub>	5·10 <sup>-5</sup>	3,5·10 <sup>-6</sup>	6-8 god.
	N <sub>2</sub> O	1·10 <sup>-7</sup>	3,1·10 <sup>-7</sup>	25 god.
	O <sub>3</sub>	2·10 <sup>-6</sup>	6·10 <sup>-6</sup>	10 god.
<b>Jako promjenjiv sastav</b>	H <sub>2</sub> O(g)	≤ 4,0	-	10 dana
	CO	1·10 <sup>-5</sup>	2·10 <sup>-5</sup>	0,2-0,5 god.
	NO <sub>2</sub>	2,3-3,5·10 <sup>-5</sup>	-	8-10 dana
	NH <sub>3</sub>	1·10 <sup>-6</sup>	1·10 <sup>-6</sup>	5 dana
	SO <sub>2</sub>	2·10 <sup>-8</sup>	9·10 <sup>-8</sup>	2 dana
	H <sub>2</sub> S	≤ 0,6·10 <sup>-7</sup>	-	0,5 dana
	*organski ugljik	-	-	2 dana

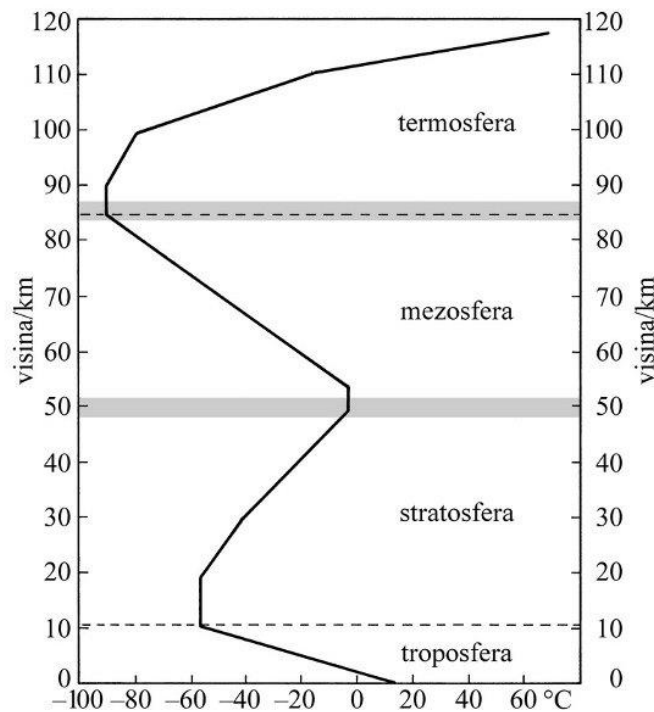
*Napomena:* \* bez halogeniranih ugljikovodika

Atmosfera se može podijeliti na homosferu i heterosferu s obzirom na njen sastav. Homosfera obuhvaća donjih 80 km atmosfere gdje su volumni udjeli određenih plinova gotovo stalni, a ostali volumni udjeli plinova se mijenjaju. Plinovi koji imaju gotovo konstantan, promjenjiv i jako promjenjiv sastav su prikazani u tablici 1.1. Heterosfera se nalazi iznad homosfere te ima promjenjive volumne udjele plinova zbog fotodisocijacije koju izaziva Sunčevo ultraljubičasto (UV) i rendgensko zračenje. U heterosferi, UV zračenje uzrokuje fotodisocijaciju molekula kisika O<sub>2</sub> zbog čega koncentracija O<sub>2</sub> opada s visinom dok se koncentracija atomskog kisika (O) povećava. Samo jedna trećina kisika ostaje u molekulskom obliku na visini od 130 km, a na visini od 500 km gotovo je sav kisik u atomskom obliku. Molekula dušika (N<sub>2</sub>) teže disocira zbog jakosti trostruke veze pa je na visini od 500 km koncentracija atomskog dušika (N) mala. U višim slojevima atmosfere, molekule plinova apsorbiraju UV zračenje čime dolazi do njihove ionizacije. Iznad 60 km



visine primjećuje se znatno veća koncentracija elemenata u ionskom obliku u odnosu na niže dijelove atmosfere. Najveća gustoća slobodnih elektrona i nabijenih čestica se nalazi na visinama između 250 i 500 km zbog čega se taj dio atmosfere naziva ionosferom. Ionosfera ima važan utjecaj na širenje radiovalova. [6]

Atmosferski tlak opada na pravilan način s porastom nadmorske visine, dok je temperaturni profil u odnosu na visinu dosta složeniji. Temperatura atmosfere se mijenja s visinom pa je i matematički odnos između temperature i visine drukčiji u različitim slojevima atmosfere. Četiri sloja atmosfere su definirana na temelju temperaturne krivulje prikazane na slici 1.1., a to su: troposfera, stratosfera, mezosfera i termosfera.



**Slika 1.1.** Podjela atmosfere prema promjeni temperature s visinom<sup>[7]</sup>

Troposfera je najbliži sloj Zemljinoj površini. Prostire se od Zemljine površine do visine od 7 km na polovima i do 17 km na ekvatoru s nekim promjenama uzrokovanim vremenskim uvjetima. U ovom sloju temperatura zraka opada konstantno s porastom visine, cca. 6,5 °C na svakih 1000 metara. Gornji dio troposfere dostiže prosječnu temperaturu od -56,5 °C. U

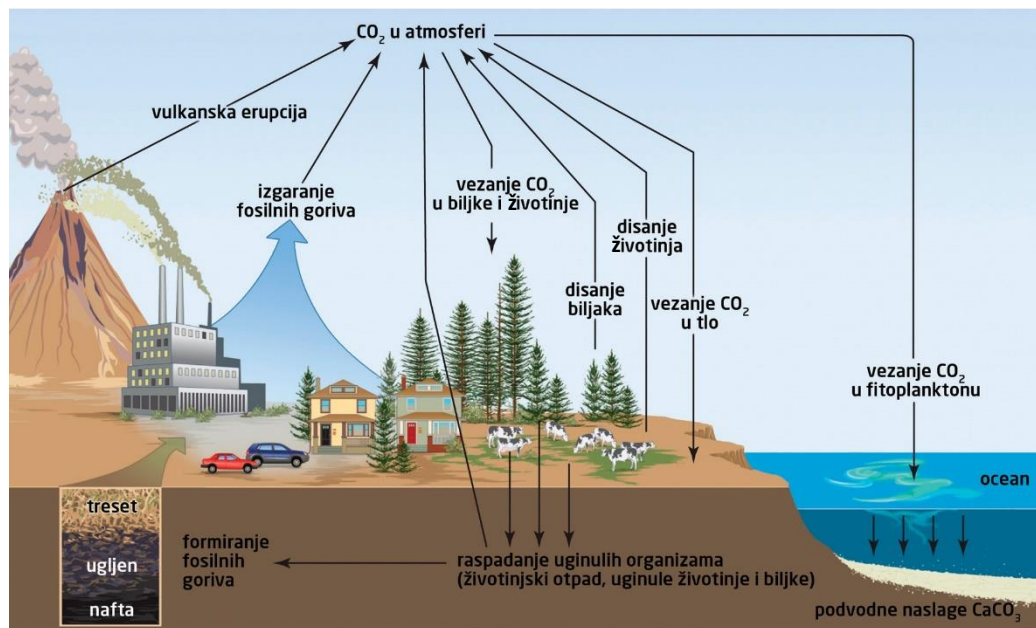
stratosferi se nalazi oko 19,9% ukupne mase atmosfere. U gornjem dijelu ovoga sloja nalazi se ozonski sloj u kojem ozon apsorbira UV zračenje i na taj način transformira energiju zračenja u toplinsku energiju. Iz toga razloga dolazi do porasta temperature u ovom sloju, što se može i vidjeti iz Slike 1.1. Mezosfera je sloj iznad stratosfere koji se pruža do 80 km. Ovdje se temperatura snižava i dostiže najniže temperaturne vrijednosti atmosfere od  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$  na samoj granici s termosferom, odnosno u mezopauzi. Termosfera se prostire iznad 80 km visine. U njezinim nižim dijelovima su prisutne diatomne molekule, a temperatura je visoka zbog velike apsorpcije zračenja od strane molekula kisika. U višim dijelovima su čestice u atomskom obliku (npr. H, He i O). Postoje i prijelazni slojevi nazvani: tropopauza, stratopauza, mezopauza i termopauza koja graniči s vanjskim, posljednjim slojem, egzosferom.<sup>[8]</sup>

## 1.2. Ciklus ugljika

Na slici 1.2. prikazan je kružni ciklus ugljika. Ova ilustracija prikazuje kako se ugljik može nalaziti kao plinoviti  $\text{CO}_2$  u atmosferi, što je mali, ali veoma važan dio ukupne količine ugljika na Zemlji. S druge strane,  $\text{CO}_2$  je najzastupljeniji oblik ugljika u atmosferi. To je plin bez boje i mirisa koji je pri normalnim atmosferskim uvjetima temperature i tlaka stabilan.<sup>[9]</sup> Ugljikov(II) oksid (CO) je bezbojan plin bez mirisa i okusa. Nastaje kao proizvod nepotpunog sagorijevanja tvari koje u osnovi sadrže ugljik, npr. drvo, ugljen, propan, prirodni plin itd. U većim količinama odlazi u atmosferu kao posljedica ljudske djelatnosti, no može nastati i fotokemijskom oksidacijom metana u atmosferi. Flora može ispuštati CO kao metabolički nusprodukt fotooksidacije organskih tvari na površini tla, u rijekama, jezerima, morima i oceanima.<sup>[10]</sup>

Dio ugljika je prisutan u otopljenom obliku u površinskoj i podzemnoj vodi, u obliku  $\text{HCO}_3^-$  ili  $\text{CO}_{2(\text{aq})}$ . Ogromne količine ugljika nalaze se u mineralima posebice u kalcijevim i magnezijevim karbonatima poput kalcijevog karbonata ( $\text{CaCO}_3$ ). Fotosintezom se anorganski ugljik transformira u biološki i na taj način postaje sastavni dio svih živih organizama. Dio ugljika se nalazi u obliku nafte i prirodnog plina, a mnogo veća količina je pohranjena u obliku kerogena tj. organske tvari u uljnom škriljercu. Značajne količine

ugljika su prisutne i u ugljenu i lignitu. Industrijskim procesima ugljikovodici se transformiraju u ksenobiotike, spojeve s funkcionalnim skupinama koje sadrže halogene elemente, kisik, dušik, fosfor ili sumpor. Ksenobiotici nisu prirodno prisutni u tijelu ili okolišu. Iako je količina ovih spojeva mala u odnosu na ukupni ugljik u okolišu, njihova je prisutnost značajna zbog kemijskih reakcija i toksičnosti. Jedan od ključnih aspekata ciklusa ugljika je prijenos sunčeve energije u biološke sustave, a potom i u geosferu i antroposferu kroz fosilni ugljik i fosilna goriva. Organski ugljik je pohranjen u molekulama bogatim energijom koje mogu biokemijski reagirati s molekulskim kisikom kako bi ponovno formirale CO<sub>2</sub> i oslobodile energiju. Ovaj proces se može odvijati biokemijskim putem kroz aerobno disanje organizama ili sagorijevanjem drva i fosilnih goriva. Veoma važnu ulogu u ovom ciklusu igraju i mikroorganizmi. Fotosintetske alge su glavni organizmi odgovorni za vezivanje ugljika u vodi. Kako koriste CO<sub>2</sub> za proizvodnju biomase, povećava se pH vode i na taj način omogućavaju taloženje CaCO<sub>3</sub> i MgCO<sub>3</sub>. Mikroorganizmi vežu organski ugljik te on kroz biogeokemijske procese prelazi u fosilna goriva poput nafte, kerogena, ugljena i lignita. Ovi mikroorganizmi također razgrađuju organski ugljik iz biomase, nafte i ostalih spojeva, vraćajući ga u obliku CO<sub>2</sub> u atmosferu. Ugljikovodici sirove nafte kao i neki sintetski ugljikovodici razgrađuju se uz pomoć mikroorganizama. Na ovaj način je moguće ukloniti onečišćenja koja su uzrokovana ugljikovodicima, npr. u tlu ili vodi. Biološka razgradnja se koristi i za tretiranje otpadnih tvari koje sadrže ugljik.<sup>[9]</sup>



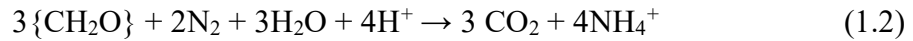
Slika 1.2. Shematski prikaz ciklusa ugljika<sup>[11]</sup>

### 1.3 Ciklus dušika

Dušik je dio kompleksnog ciklusa, koji je prikazan na slici 1.3. Volumni udio elementarnog dušika u atmosferi iznosi oko 78% što predstavlja neiscrpan izvor ovoga važnoga elementa. Ugljik i kisik imaju mnogo veći udio u biomasi u usporedbi s dušikom, no on je ključan element u sastavu proteina. Molekule  $N_2$  su izrazito stabilne te njihovo razlaganje na atome koji se mogu koristiti u anorganskim i organskim oblicima predstavlja izazov u ciklusu dušika. Dakako, razgradnja dušika je moguća i odvija se kroz visoko-energetske procese poput električnoga pražnjenja munja čime nastaju dušikovi oksidi. Elementarni dušik se može transformirati u kemijski vezane oblike ili fiksirati biokemijskim procesima uz pomoć mikroorganizama. Biološki dušik se mineralizira u anorganski oblik tijekom raspadanja biomase. Velike količine dušika mogu se sintetski fiksirati pod uvjetima visokih temperatura i visokog tlaka prema sljedećoj reakciji:

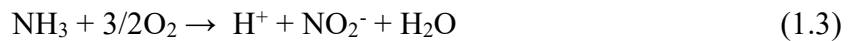


**Fiksacija dušika** – proces u kojem se atmosferski dušik transformira u biološke oblike ( $NH_3$  i  $NO_3^-$ ) koji su dostupni organizmima za uporabu. Cjelokupni proces je poprilično složen i nije do kraja razumljiv. Reakcija biološke fiksacije:



U želji za povećanjem fiksacije dušika došlo je i do remećenja globalne ravnoteže dušika. Ukupna godišnja fiksacija dušika je veća za 50% u odnosu na predindustrijsko doba kada je ukupna fiksacija iznosila 150 milijuna metričkih tona.

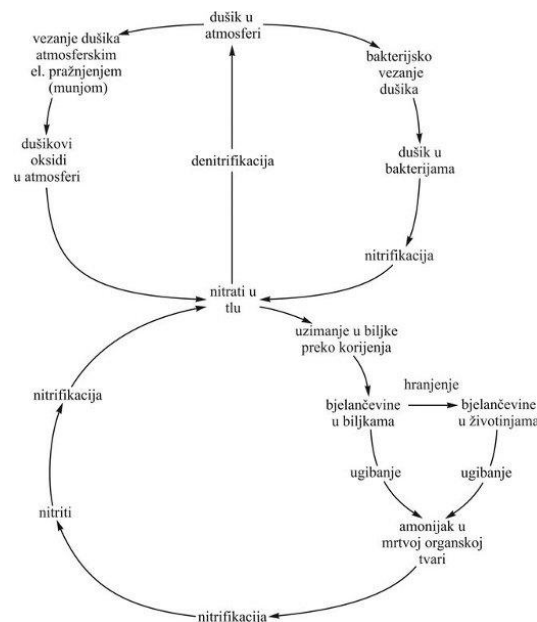
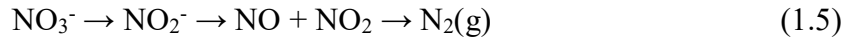
**Nitrifikacija** – proces u kojem mikroorganizmi preoblikuju amonijak ili amonijev ion u nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ), a potom nitrite u nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ). U prvoj fazi bakterije roda *Nitrosomonas* provode oksidaciju amonijaka ili amonijevog iona u nitrit prema reakciji:



a potom u drugoj fazi bakterije roda *Nitrobacter* provode oksidaciju nitrita u nitrate slijedećom reakcijom:



**Denitrifikacija** – poseban primjer redukcije nitrate u kojoj kao produkt nastaje plin, najčešće  $\text{N}_2$ , ali i  $\text{NO}$  te  $\text{NO}_2$ . Taj proces je prikazan reakcijom 5. [9,12]



**Slika 1.3.** Kružni ciklus dušika<sup>[13]</sup>

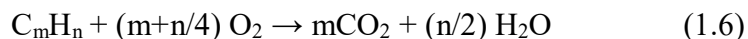
## 1.4 Zagađenje zraka

Općenito se pojmovi zagađenje i onečišćenje koriste kao sinonimi, ali postoji svojevrsna razlika u njihovu značenju. **Onečišćenje** se definira kao pojave neke tvari u okolišu na određenom mjestu, vremenu i koncentraciji koja nije posljedica trajnog stanja i ne uzrokuje štetu kao zagađenje. **Zagađenje** – ljudskom djelatnošću uzrokovano unošenje zagađivala (tvari ili energije) u okoliš koja uzrokuju štetne posljedice za živa bića i ljudsko zdravlje te onemogućuju ili ometaju tradicijske ljudske djelatnosti. Zagađenje zraka predstavlja postojanost jednog ili više zagađivala u atmosferi u dovoljnoj koncentraciji, dovoljno dugo i pod takvim uvjetima da šteti udobnosti, zdravlju ljudi te uzrokuje negativne posljedice u okolišu. Zagađivalo zraka je bilo koja tvar koja se u atmosferu ispušta ljudskim aktivnostima ili prirodnim procesima i koja štetno utječe na ljudsko zdravlje, vegetaciju, materijalna i kulturna dobra, smanjuje vidljivost i utječe na globalne okolišne procese (npr. efekt staklenika, stvaranje troposferskog ozona, smanjenje stratosferskog ozona ili oštećenje ozonskoga sloja, globalno zagrijavanje) s potencijalno ozbiljnim posljedicama.<sup>[14, 15]</sup>

### 1.4.1 Izvori zagađenja zraka

Postoje različiti izvori zagađenja, npr. jedna od glavnih podjela dijeli izvore na prirodne (biogene) te antropogene izvore. Druga vrsta podjele temelji se na načinu nastajanja zagađenja: procesi sagorijevanja i procesi koji nisu povezani sa sagorijevanjem. Treća se podjela odnosi na mobilnost izvora razlikujući pokretne (mobilne) od nepokretnih izvora zagađenja zraka. Nadalje, nepokretni izvori mogu se podijeliti s obzirom na intenzitet i rasprostranjenost zagađivala u okolišu na: točkaste, površinske odnosno difuzne izvore. **Prirodni izvori** emisija u zrak uključuju razne procese poput anaerobne mikrobiološke razgradnje tla, vulkanskih erupcija, atmosferskih električnih pražnjenja, sagorijevanje biomase te isparavanja s oceanskih i morskih površina. Molekule CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> i N<sub>2</sub>O mogu se u značajnim količinama proizvoditi prirodnim procesima, no postoje i prirodni mehanizmi za njihovo uklanjanje iz atmosfere poznati kao ponori (engl. sinks). S obzirom na neupitan porast antropogenih emisija različitih onečišćujućih tvari, tim se izvorima posvećuje veća pažnja u odnosu na prirodne izvore.

**Antropogeni izvori** uključuju prvenstveno procese sagorijevanja fosilnih goriva u svrhu proizvodnje toplinske, električne i drugih vrsta energije. Tu pripadaju i procesi sagorijevanja goriva u motornim vozilima i različitim industrijskim postrojenjima. Sagorijevanje se definira kao proces oksidacije ugljikovih spojeva u gorivu uz prisutnost kisika iz zraka, prilikom čega nastaju glavni produkti CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O. Taj proces se prikazuje sljedećom reakcijom:



Pri nepotpunom sagorijevanju stehiometrijski odnosi se mijenjaju te dolazi do emisije nesagorjelih ugljikovodika i stvaranja različitih međuprodukata sagorijevanja poput CO, alkohola, aldehida, dioksina i aromatskih spojeva. Zbog reakcija toplinske razgradnje mogu nastati ugljikovodici koji se razlikuju od onih prvobitno prisutnih u gorivu. Fosilna goriva većinom sadrže heteroatome poput sumpora i dušika, a njihovim sagorijevanjem stvaraju se sumporni oksidi, najviše SO<sub>2</sub> i dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>). Većinu dušikovih spojeva sačinjavaju NO, a didušikov oksid (N<sub>2</sub>O) ima manji udio. Oslobođanjem velikih količina topline tijekom sagorijevanja dolazi do reakcije između dušika i kisika iz zraka što rezultira stvaranjem tzv. termičkih dušikovih oksida. Tu pojavu ilustrira sljedeća reakcija:



Ova reakcija prikazuje glavni izvor emisije dušikovih oksida prilikom sagorijevanja goriva s unutrašnjim sagorijevanjem. Značajan izvor emisija predstavljaju rafiniranje nafte, petrokemijska industrija, keramička i staklarska proizvodnja, proizvodnja cementa, mineralnih gnojiva, željeza, čelika i sličnih materijala. Vrijedno je još spomenuti u kontekstu antropogenih izvora i proizvodnju organskih kemikalija, otapala i boja, obradu i odlaganje otpada, poljoprivredu itd. Razlika između prirodnih i antropogenih emisija leži u specifičnom masenom protoku i površini emisije. Prirodne emisije, pored vulkanskih, imaju manji specifični maseni protok, no veću površinu emisije, a kod antropogenih izvora je obrnuto.

**Nepokretni izvori** obuhvaćaju postrojenja, tehnološke procese, razne industrijske pogone i uređaje, građevine i površine koje ispuštaju zagađivala u zrak. Kao što je rečeno, ovi izvori mogu biti točkasti, površinski ili difuzni. Točkasti izvori ispuštaju zagađivala u zrak u znatnim količinama putem posebno dizajniranih ispusta kao što su dimnjaci. Kod površinskih

izvora, zagađivala se ispuštaju u manjim količinama. Difuzni izvori emitiraju zagađivala u zrak bez uporabe specifičnih ispusta odnosno dimnjaka. Difuzni izvori mogu uključivati automobile, benzinske postaje ili uporabu otapala. Pokretni (mobilni) izvori zagađenja uključuju razna prijevozna sredstva poput zrakoplova, plovila, lokomotiva, motornih vozila i traktora koja ispuštaju zagađivala u okoliš kao posljedicu sagorijevanja goriva.<sup>[12]</sup>

#### 1.4.2 Podjela zagađivala

Zagađivala zraka se mogu podijeliti prema **agregatnom stanju** čime se dijele u dvije kategorije: suspendirane čvrste čestice (aerosol) te plinove i pare.

Aerosol predstavlja sustav dviju faza u kojem je glavna faza plinovita. Druga faza može biti dispergirana kapljevita ili kruta faza. Lebdeće čestice (*engl.* particulate matter ili PM) su krute čestice različitoga podrijetla i veličina. Njihova glavna karakteristika je sposobnost održavanja u struji ispušnih tj. dimnih plinova tijekom dugih razdoblja usred neznčajne brzine taloženja. Krute čestice se pojavljuju u obliku pepela, prašine, dima i čađe. Para se definira kao plinovita faza tvari koja može istovremeno postojati u plinovitom ili kapljevitom stanju. Zagađivala možemo podijeliti i na **primarna i sekundarna**.

Primarna zagađivala direktno se emitiraju iz raznih izvora u okoliš. Ovim zagađivalima pripadaju lebdeće čestice, spojevi sumpora sa SO<sub>2</sub> kao predstavnikom, potom dušikovi oksidi (NO i NO<sub>2</sub>), ostali dušikovi spojevi (N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, HCN), ugljikovi spojevi (CO i CO<sub>2</sub>), hlapljivi organski spojevi, čestice olova, halogeni metali i teški metali. Sekundarna zagađivala su zagađivala nastala međudjelovanjem primarnih zagađivala nižih atmosferskih slojeva pod utjecajem sunčevog zračenja. Primjer sekundarnih zagađivala su: ozon, peroksiacetil nitrat (PAN), sulfati i nitrati.<sup>[12]</sup>



## 1.5 Zakonski propisi Federacije Bosne i Hercegovine

Prema zakonu o zaštiti zraka („Službene novine FBiH, br. 72/24) definirani su idući pojmovi:

**Granična vrijednost kvaliteta zraka** je nivo određen na osnovu znanstvenog znanja s ciljem izbjegavanja, sprječavanja ili smanjivanja štetnih utjecaja na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini, koji se treba dostići u određenom periodu i kasnije ne smije biti prekoračen.

**Zagađivanje zraka** je direktno ili indirektno čovjekovo unošenje supstanci u zrak, što rezultira takvim štetnim utjecajima koji ugrožavaju ljudsko zdravlje, nanose štetu životnim resursima, ekosistemima i materijalnim dobrima.

**Zagađujuća materija** je svaka materija prisutna u zraku koja može nepovoljno utjecati na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini.

**Ciljna vrijednost** je nivo određen s ciljem izbjegavanja, sprječavanja ili umanjivanja štetnih utjecaja na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini. Ovaj nivo se mora dostići u određenom periodu gdje je to moguće. [16]

**Granica tolerancije** – postotak dozvoljenog prekoračenja granične vrijednosti pod propisanim uslovima.

Granične vrijednosti su prikazane u tablici 1.2. u skladu s Pravilnikom o načinu vršenja monitoringa kvaliteta zraka i definiranju vrsta zagađujućih materija, graničnih vrijednosti i drugih standarda kvaliteta zraka ("Službene novine Federacije BiH", broj: 1/12). [17]

**Tablica 1.2.** Granične vrijednosti određene Pravilnikom o načinu vršenja monitoringa kvaliteta zraka i definiranju vrsta zagađujućih materija, graničnih vrijednosti i drugih standarda kvaliteta zraka, odjeljak B za zaštitu zdravlja ljudi. [17,18]

POLUTANT	Granična vrijednost			
	1h	8h	24h	god
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	350		125	50
CO (µg/m <sup>3</sup> )		10000	5000	3000
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	200		85	40
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		120		
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			50	40
PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )				25
H <sub>2</sub> S (µg/m <sup>3</sup> )	7		5	2

*Napomena:* U rujnu 2024. godine je donesen novi Zakon o zaštiti zraka (Službene novine FBiH, br. 72/24), a na snazi je još uvijek iz 2012. godine, u daljnjem tekstu - Pravilnik FBiH. [18]

## **1.6 Zakonski propisi Republike Hrvatske**

Prema zakonu o zaštiti zraka (NN 127/19, 57/22), definirani su pojmovi:

**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 na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini i jednom kada je postignuta, ne smije se prekoračiti.

**Granica tolerancije (GT)** je postotak granične vrijednosti za koji ona može biti prekoračena pod za to propisanim uvjetima.

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 ozon. [19]

**Ciljna vrijednost** je razina zagađenja postavljena s ciljem dugoročnog otklanjanja mogućih štetnih učinaka na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini, koju, gdje je to moguće, treba postići u utvrđenom roku. [12]

**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, u daljnjem tekstu – Uredba RH. [19]

**Tablica 1.3.** Granične vrijednosti onečišćujućih tvari u zraku s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi<sup>[20]</sup>

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

## 1.7 Utjecaj zagađenja zraka na ljudsko zdravlje

Ljudsko zdravlje je složen pojam koji uključuje tjelesnu, psihičku i društvenu dobrobit. Podložno je različitim utjecajima, poput uvjeta u okolišu, socioekonomskog statusa, životnih navika i pristupa zdravstvenoj skrbi. U ovom kontekstu se zagađenje zraka može definirati kao onečišćenje zraka tvarima koje su štetne za zdravlje ljudi i drugih živih bića ili uzrokuju materijalnu odnosno klimatsku štetu. Utjecaji zagađenja zraka na ljudsko zdravlje ovise o više čimbenika kao što su: vrste zagađivala (plinovi, lebdeće čestice), njihova koncentracija, trajanje i učestalost izloženosti zagađivalima, dob, zdravstveno stanje i genetska osjetljivost pojedinca. Zagađenje zraka može uzrokovati upalu i iritaciju dišnih puteva što može dovesti do kronične opstruktivne plućne bolesti, astme, bronhitisa, upale i raka pluća. Prema

podacima Svjetske zdravstvene organizacije za 2023. godinu, više od 90% smrtnih slučajeva kronične opstruktivne plućne bolesti dogodio se u nisko razvijenim i srednje nisko razvijenim zemljama. Prema podacima iste organizacije, zagađenje zraka odgovorno je za otprilike 43% smrtnih slučajeva raka pluća širom svijeta.

Teorija čestica Dr. Richard P. Poirota sugerira da sitne čestice i aerosoli prisutni u zagađenom zraku uvelike utječu na ljudsko zdravlje. Te čestice variraju u veličini i mogu prodrijeti duboko u dišni sustav uzrokujući upalu i oksidativni stres. Ova teorija pravi poveznicu između povišenih razina lebdećih čestica i povećanog rizika respiratornih bolesti pa čak i kardiovaskularnih stanja.

Teorija oksidativnog stresa (Dr. Sarah L. Stevenson) predlaže da oksidativni stres uzrokovan zagađenjem zraka igra ključnu ulogu u štetnim učincima na ljudsko zdravlje. Zagađivala kao što su dušikovi oksidi i ozon, mogu u tijelu stvarati reaktivne kisikove vrste što dovodi do oštećenja stanica i narušavanja različitih fizioloških procesa. Ova teorija svjedoči kako dugotrajna izloženost zagađenju zraka može rezultirati kroničnim stanjima poput respiratornih poremećaja, kardiovaskularnih bolesti te neuroloških problema uzrokovanih oksidativnim oštećenjem.

Teorija upalnog odgovora (Dr. Maria T. Hernandez) pretpostavlja da izloženost zagađivalima zraka pokreće sustavni upalni odgovor u tijelu čime dolazi do razvoja i napredovanja različitih zdravstvenih problema. Teorija naglašava važnost pro - upalnih citokina i imunoloških stanica u patogenezi respiratornih i drugih bolesti uzrokovanih zagađenjem zraka.<sup>[21]</sup>

## **2. EKSPERIMENTALNI DIO**

## 2.1 Organizacija mjerenja

Mjerenja koncentracije plinova provedena su na četiri mjerne postaje u gradu Zenici krajem prosinca 2023. godine te u siječnju, veljači, travnju i svibnju 2024. godine. Lokacije su odabrane s ciljem pokrivanja raznovrsnih područja ljudske djelatnosti.

Kao mjerne postaje u gradu Zenici odabrane su sljedeće lokacije:

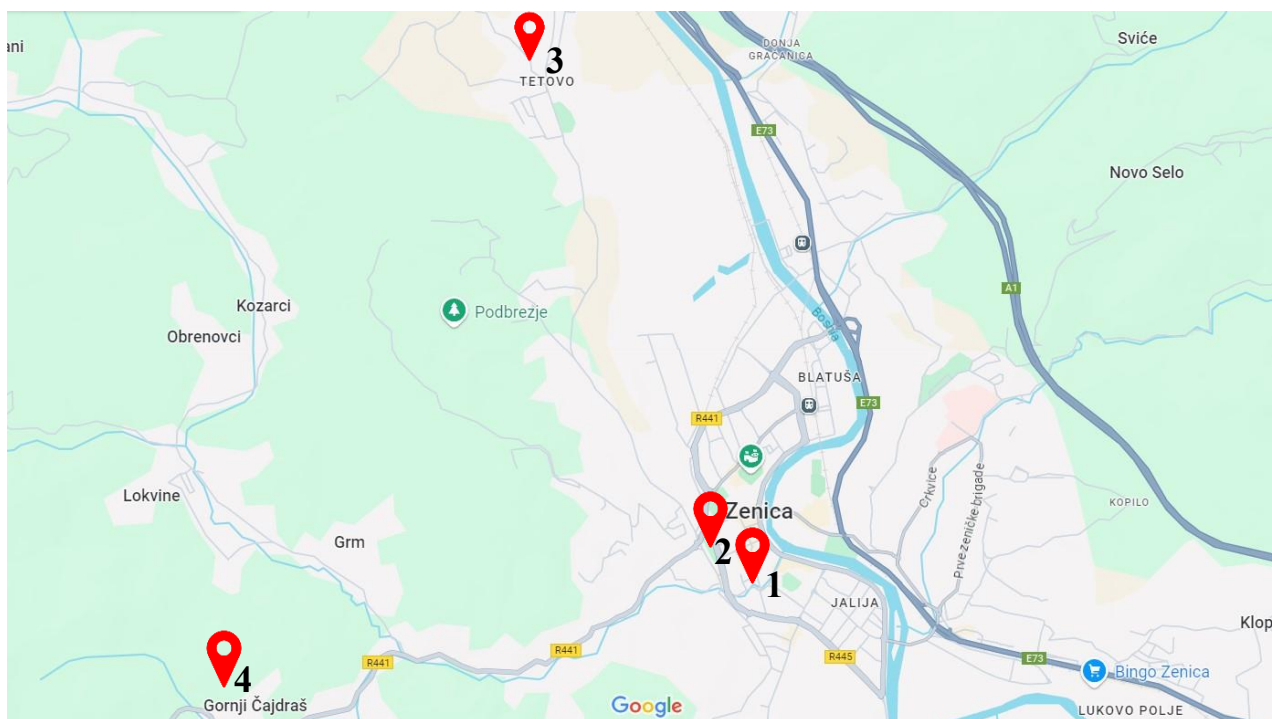
**Mjerna postaja broj 1:** glavna pješačka zona – Robna kuća Zeničanka.

**Mjerna postaja broj 2:** kružni tok između ulice Dr. Abdulaziza Aska Borića i Školske ulice.

**Mjerna postaja broj 3:** naselje Tetovo, u blizini industrijske zone.

**Mjerna postaja broj 4:** selo Gornji Čajdraš, šumsko područje.

Sve mjerne postaje su prikazane na slici 2.1.



*Slika 2.1.* Google karta grada Zenice s lokacijama mjernih postaja<sup>[22]</sup>

## 2.2 Mjerni uređaj

Na slici 2.2. prikazan je uređaj Dräger X-am® 8000 koji je korišten za izradu ovoga rada. To je mobilni detektor plinova koji može istodobno detektirati do 7 plinova. Praktičan i izdržljiv, nudi intuitivno rukovanje putem korisničkog sučelja s tri funkcijska gumba. Posjeduje Bluetooth i LCD zaslon koji jasno prikazuje potrebne informacije. Sustav signalizacije uređaja Dräger X-am 8000 koristi boje u skladu s propisanim normama: crveno svjetlo označava alarm za plin, žuto svjetlo označava alarm vezan uz uređaj (npr. niska razina napunjenosti baterije), a zeleno svjetlo signalizira da je uređaj spreman za uporabu. Sustav za signalizaciju sadrži jaki zvuk i vibraciju. Ovaj uređaj može detektirati CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, eksplozivne plinove te hlapljive organske spojeve. Tehnologiju senzora čine CAT (katalitički senzor za detekciju eksplozivnih plinova), IR (infracrveno zračenje), PID (fotoionizacijsko UV svjetlo) i EC (elektrokemijski reakcijski detektor).<sup>[23]</sup>



*Slika 2.2.* Dräger X-am® 8000, uređaj za mjerenje koncentracije plinova<sup>[23]</sup>

### **3. REZULTATI I RASPRAVA**



U tablicama od 3.1. do 3.4. prikazane su izmjerene vrijednosti koncentracija CO<sub>2</sub>, CO i NO<sub>2</sub> na odabranim mjernim postajama u gradu Zenici. Pored toga, u tablicama se nalaze datum i vrijeme, brzina vjetra, temperatura, relativna vlažnost i tlak zraka. Uređaj je mjerio i kisik, no njegov je volumni udio bio konstantan i iznosio je 20,9 % te stoga nije unesen u tablicu.

Podaci o brzini vjetra, temperaturi, relativnoj vlažnosti i tlaku zraka su preuzeti sa stranice Federalnog hidrometeorološkog zavoda BiH.<sup>[24]</sup> Uređaj je mjerio koncentraciju CO<sub>2</sub> u obliku volumnog postotka (vol%), a u tablici je pretvoren u ppm (1 vol. % = 10 000 ppm).

Granične vrijednosti propisane Pravilnikom FBiH su iskazane u µg/m<sup>3</sup>, a neka istraživanja iskazuju koncentraciju CO u obliku mg/m<sup>3</sup>. Stoga su, u jednadžbama 3.1.-3.3. izražene određene konverzije kako bi se ostala istraživanja i granične vrijednosti mogli lakše usporediti s mjerenjima u ovom radu.

Formula za pretvorbu ppm u mg/m<sup>3</sup> pri 25 °C i tlaku od 101325 Pa:

$$\text{ppm} = [\text{mg/m}^3 \cdot 24,45] / [\text{molarna masa (g/mol)}] \quad (3.1.)$$

Formula za pretvorbu ppb u µg/m<sup>3</sup> pri 25 °C i tlaku od 101325 Pa:

$$\text{ppb} = [\mu\text{g/m}^3 \cdot 24,45] / [\text{molarna masa (g/mol)}] \quad (3.2)$$

Konverzija iz ppb u pmm je:

$$1 \text{ ppb} = 0,001 \text{ ppm} \quad (3.3.)$$

Pored klasičnih antropogenih utjecaja na zagađenja zraka urbanih područja, zagađenje zraka u gradu Zenici karakterizira zenička željezara još od kraja devetnaestog stoljeća. Cilj mjerenja koncentracije plinova (CO<sub>2</sub>, CO i NO<sub>2</sub>) na četiri različite lokacije u gradu Zenici je utvrditi kako različiti izvori zagađenja utječu na kvalitetu zraka.

**Tablica 3.1.** Prikaz rezultata mjerenja na mjernoj postaji broj 1

Datum i vrijeme	Brzina vjetra / km h <sup>-1</sup>	Temperatura / °C	Relativna vlažnost / %	Tlak zraka / hPa	CO <sub>2</sub> / ppm	CO / ppm	NO <sub>2</sub> / ppm
28.12.2023. 18:55	3,96	1,4	97	984,1	600	0	0
02.01.2024. 14:11	4	5	99	975,1	600	1	0
03.01.2024. 11:39	5,76	12	69	-	550	2	0
26.02.2024. 10:48	4	13	74	968	550	2	0
29.02.2024. 10:15	1,08	10	89	976,5	600	2	0
13.04.2024. 14:04	10,8	26,6	31	985,5	400	0	0
20.05.2024. 09.52	3,6	21	74	972,7	550	0	0

Na mjernoj postaji broj 1, odnosno na glavnoj pješačkoj zoni, najveća koncentracija CO<sub>2</sub> je iznosila 600 ppm, najniža 400 ppm, a srednja vrijednost 550 ppm. Najveća koncentracija CO je iznosila 2 ppm, pri tri mjerenja uređaj je mjerio nultu koncentraciju CO, od koja su dva bila u proljeće. Srednja vrijednost CO iznosi 1 ppm. Uređaj nije zabilježio koncentraciju NO<sub>2</sub>, stoga je i srednja vrijednost nula. Granična dnevna osmosatna srednja vrijednost CO prema Pravilniku FBiH u iznosu od 8,73 ppm nije prekoračena ni u jednom mjerenju. Prema Uredbi RH, granična dnevna osmosatna srednja vrijednost CO u iznosu od  $8,73 \cdot 10^{-3}$  ppm je prekoračena u svakom mjerenju koje je dalo očitavanje.

**Tablica 3.2.** Prikaz rezultata mjerenja na mjernoj postaji broj 2

Datum i vrijeme	Brzina vjetra / km h <sup>-1</sup>	Temperatura / °C	Relativna vlažnost / %	Tlak zraka / hPa	CO <sub>2</sub> / ppm	CO / ppm	NO <sub>2</sub> / ppm
28.12.2023. 19:12	3,96	1,4	97	984,1	750	2	0
02.01.2024. 14:21	4	5	99	975,1	650	2	0,04
03.01.2024. 11:51	5,76	12	69	-	600	2	0,06
26.02.2024. 10:37	4	13	74	968	550	1	0
29.02.2024. 10:06	1,08	10	89	976,5	700	5	0
13.04.2024. 14:40	6,84	27,9	26	984,7	500	2	0,04
14.04.2024. 11:10	3,6	21,4	47	984,5	550	0	0
20.05.2024. 10:02	3,6	21	74	972,7	550	0	0,08

Na mjernoj postaji broj 2, tj. na kružnom toku, najveća koncentracija CO<sub>2</sub> je iznosila 750 ppm, najniža 550 ppm, a srednja vrijednost 606,25 ppm. Najveća koncentracija CO je iznosila 5 ppm, pri dva mjerenja nije zabilježena koncentracija CO, a srednja vrijednost CO je 1,75 ppm. Prema Pravilniku FBiH, granična vrijednost CO nije prekoračena ni u jednom mjerenju. Prema Uredbi RH, granična dnevna osmosatna srednja vrijednost CO je prekoračena u svakom mjerenju koje je dalo očitavanje. Najveća zabilježena koncentracija NO<sub>2</sub> iznosila je 0,08 ppm, dok pri četiri mjerenja nije zabilježena koncentracija NO<sub>2</sub>. Srednja vrijednost koncentracije NO<sub>2</sub> je 0,0275 ppm. Granična srednja satna vrijednost NO<sub>2</sub> u iznosu od 0,1064 ppm (ista je prema Uredbi RH i Pravilniku FBiH) mjerenjem na ovoj mjernoj postaji nije prekoračena. Samo na kružnom toku su zabilježene koncentracije NO<sub>2</sub>.

**Tablica 3.3.** Prikaz rezultata mjerenja na mjernoj postaji broj 3

Datum i vrijeme	Brzina vjetra / km h <sup>-1</sup>	Temperatura / °C	Relativna vlažnost / %	Tlak zraka / hPa	CO <sub>2</sub> / ppm	CO / ppm	NO <sub>2</sub> / ppm
28.12.2023. 18:27	3,6	2,2	96	983,6	600	2	0
02.01.2024. 14:37	4	5	99	975,1	550	2	0
26.02.2024. 11:52	4	13	74	968	550	2	0
29.02.2024. 13:04	2,52	15,2	67	975	600	5	0
14.04.2024. 11:47	3,6	26,4	34	982,6	550	4	0
20.05.2024. 11:32	3,6	29	36	970,9	550	0	0

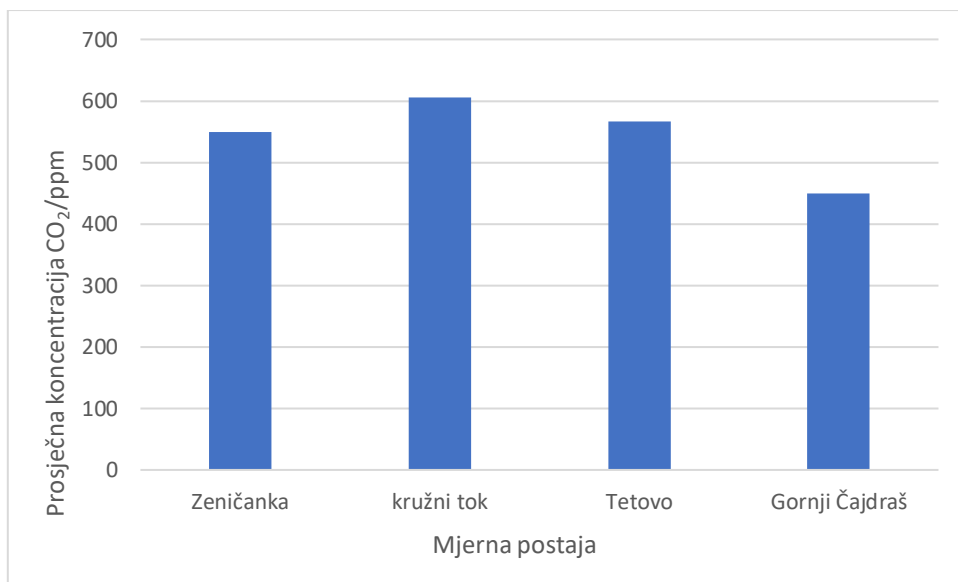
Na mjernoj postaji broj 3, odnosno u naselju Tetovo, najveća koncentracija CO<sub>2</sub> iznosila je 600 ppm, najniža 550 ppm, a srednja vrijednost 566,67 ppm. Najveća koncentracija CO je iznosila 5 ppm. Pri jednom mjerenju nije zabilježena koncentracija CO, a srednja vrijednost CO je bila 2,5 ppm što je ujedno i najveća srednja vrijednost CO na jednoj mjernoj postaji u ovome radu. Prema Pravilniku FBiH, svako mjerenje na ovoj postaji nije prekoračilo graničnu dnevnu osmosatnu srednju vrijednost CO. Prema Uredbi RH, granična dnevna osmosatna srednja vrijednost CO je prekoračena u svakom mjerenju koje je dalo očitavanje. Koncentracije NO<sub>2</sub> u naselju Tetovo nisu zabilježene.

**Tablica 3.4.** Prikaz rezultata mjerenja na mjernoj postaji broj 4

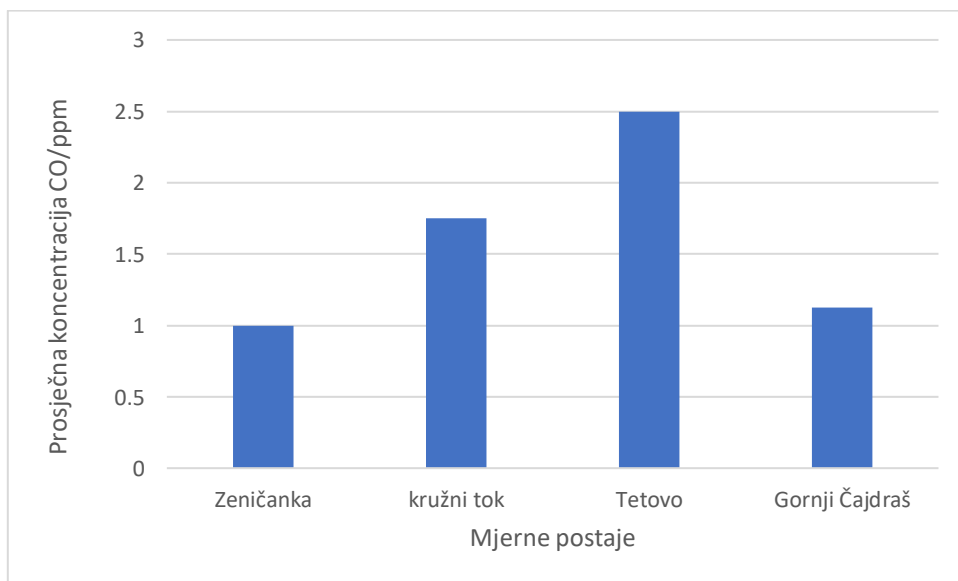
Datum i vrijeme	Brzina vjetrova / kmh <sup>-1</sup>	Temperatura / °C	Relativna vlažnost / %	Tlak zraka / hPa	CO <sub>2</sub> / ppm	CO / ppm	NO <sub>2</sub> / ppm
28.12.2023. 15:24	3,96	8,1	90	983	500	2	0
02.01.2024. 12:00	4	5	99	975,1	500	1	0
03.01.2024. 15:57	7,2	13,8	51		500	2	0
26.02.2024. 12:50	4	13	74	968	400	2	0
29.02.2024. 16:18	8,28	14,7	67	972,1	500	2	0
13.04.2024. 17:40	6,12	21,4	36	984,4	400	0	0
14.04.2024. 17.17	3,96	30	23	978,4	400	0	0
20.05.2024. 14:12	3,6	29	36	970,9	400	0	0

Na mjernoj postaji broj 4, tj. u Gornjem Čajdrašu, najveća koncentracija CO<sub>2</sub> iznosila je 500 ppm, najniža 400 ppm, a srednja vrijednost 450 ppm. Najveća koncentracija CO iznosila je 2 ppm, pri tri mjerenja u proljetnom periodu nije zabilježena koncentracija CO, a srednja vrijednost CO je 1,125 ppm. Prema Pravilniku FBiH, svako mjerenje na ovoj postaji nije prekoračilo graničnu dnevnu osmosatnu srednju vrijednost CO. Prema Uredbi RH, granična dnevna osmosatna srednja vrijednost CO je prekoračena u svakom mjerenju koje je dalo očitavanje. U Gornjem Čajdrašu nisu izmjerene koncentracije NO<sub>2</sub>.

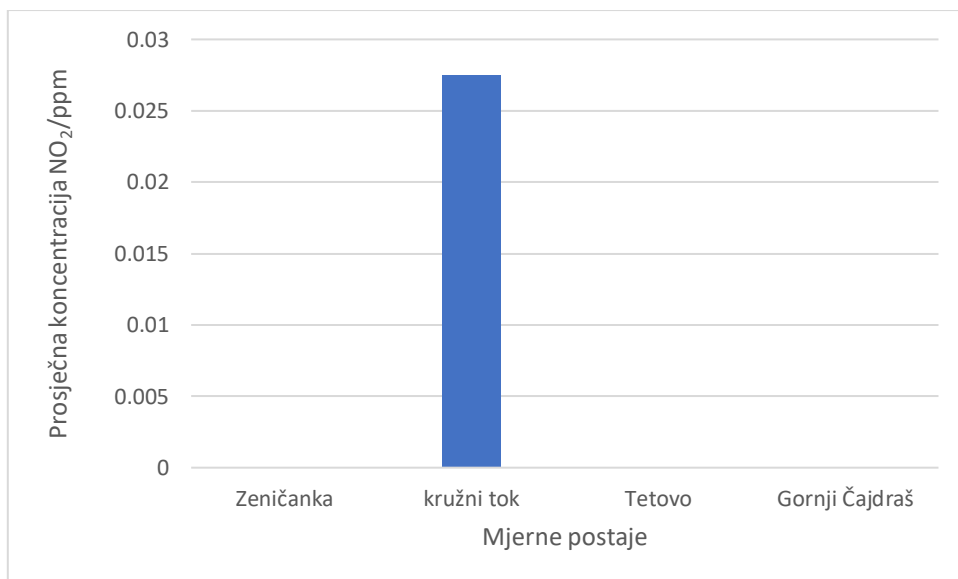
Grafički prikazi prosječne koncentracije CO<sub>2</sub>/ppm, CO/ppm i NO<sub>2</sub>/ppm za pojedinu mjernu postaju u gradu Zenici prikazani su na slikama 3.1., 3.2. i 3.3.



**Slika 3.1.** Prosječna koncentracija CO<sub>2</sub> (u ppm) u ovisnosti o mjernim postajama u gradu Zenici



**Slika 3.2.** Prosječna koncentracija CO (u ppm) u ovisnosti o mjernim postajama u gradu Zenici



**Slika 3.3.** Prosječna koncentracija NO<sub>2</sub> (u ppm) u ovisnosti o mjernim postajama u gradu Zenici

Zanimljivo je uočiti kako je prosječna koncentracija CO malo veća na području Gornjeg Čajdraša (mjerna postaja br. 4) u odnosu na pješačku zonu u Zenici (mjerna postaja br. 1). Postojanost CO u prirodi se može opisati u kontekstu metaboličkog nusproizvoda flore i fotoksidacije organskog materijala pri površinskim tlama.<sup>10</sup> Pored toga, stanovništvo prigradskih područja grada Zenice se uglavnom koristi drvnom biomasom kao primarnim izvorom energije za grijanje. Stoga, nepotpunom oksidacijom pri izgaranju drvene biomase nastaje CO. Ovome u prilog ide i činjenica da za vrijeme toplih, proljetnih dana nije izmjerena prisutnost CO u zraku.

Može se primijetiti trend, kako koncentracija CO postepeno opada od kraja prosinca 2023. do kraja svibnja 2024. Najbolji primjer ovoga trenda je selo Gornji Čajdraš u kojem se mjerenje vršilo u šumskom području.

Istraživanje kineskih znanstvenika Anqi Xu i Chengzhi Xiang<sup>[25]</sup> na prostoru Sjedinjenih Američkih Država pokazalo je da se koncentracija CO<sub>2</sub> mijenja kroz godinu te svoj vrhunac dostiže u proljeće opadajući ka ljetnom razdoblju kada doseže minimum. Smanjenje koncentracije CO<sub>2</sub> povezano je s pokrivenošću šumama u saveznm državama. U državama u kojima je velika pokrivenost sa šumama, postoji velika tendencija smanjenja koncentracije

CO<sub>2</sub> u ljetnim mjesecima. Isti trend je pokazao i CO, dok je vrhunac koncentracije NO<sub>2</sub> bio zimi, a minimum ljeti.

Može se reći da trend rasta i pada CO koji su zabilježili ovi znanstvenici prate i mjerenja provedena u ovom radu. Najveće koncentracije CO su izmjerene krajem drugoga mjeseca na svakoj od mjernih postaja, nakon čega su iduća mjerenja pokazala smanjenje koncentracije CO ili uređaj nije detektirao njegovo prisustvo. Dušikov dioksid je plin koji ne prati trendove spomenutog istraživanja jer je njegova najveća koncentracija u Zenici izmjerena krajem svibnja. Bitno je naglasiti kako se to istraživanje koristilo satelitskim mjerenjima koncentracije NO<sub>2</sub> u troposferi, dok je u Zenici jedina mjerna postaja koja je detektirala NO<sub>2</sub> bila ona na kružnom toku.

U zeničkoj željezari je ugašeno postrojenje koksare 26. travnja 2024. Koksara je industrijsko postrojenje za dobivanje koksa, a koks se koristi kao gorivo u visokim pećima za dobivanje čelika.

Emisije iz koksnihi peći smatraju se među najtoksičnijim industrijskim zagađivačima zraka. Jedan od mnogih zagađivala ovog postrojenja je i CO.<sup>[26]</sup> U tablicama 3.1.-3.4. primjetno je da u mjerenju nakon gašenja koksare (20. svibnja 2024.) nije izmjerena prisutnost CO ni na jednoj mjernoj postaji u Zenici. Potrebno je naglasiti kako nije izmjerena prisutnost CO ni u naselju Tetovo (mjerna postaja br. 4) koje se nalazi u neposrednoj blizini željezare. Prosječna izmjerena koncentracija CO na ovoj mjernoj postaji prije gašenja koksare je iznosila 3 ppm.

Prema godišnjem izvještaju o kvaliteti zraka Federalnog hidrometeorološkog zavoda za 2023. godinu automatska stanica Zenica Tetovo je izmjerila prosječnu godišnju vrijednost CO u vrijednosti od 0,7 mg/m<sup>3</sup> odnosno 0,6086 ppm, a automatska stanica Zenica Centar 0,9 mg/m<sup>3</sup> odnosno 0,7856 ppm. Prema istom izvještaju, automatska stanica Zenica Centar je izmjerila prosječnu godišnju vrijednost koncentracije NO<sub>2</sub> u vrijednosti od 18 µg/m<sup>3</sup> odnosno 0,0095 ppm.<sup>[27]</sup>

Talijanski znanstvenici su vršili mjerenje CO<sub>2</sub> od veljače do travnja 2019. godine u Firenci, Italija. Na mjernoj postaji „Gramsci“, smještenoj na području naglašenog gradskog prometa, izmjerena je najveća koncentracija CO<sub>2</sub> u iznosu od 557 ppm, a srednja vrijednost iznosi 453 ppm. U prigradskom području Firenze na mjernoj postaji „Settignano“, najveća izmjerena



koncentracija CO<sub>2</sub> je 458 ppm, a srednja vrijednost je 426 ppm. Srednja vrijednost koncentracije CO<sub>2</sub> na kružnom toku (mjernoj postaji br. 2) iznosi 606,25 pm što predstavlja mnogo veće onečišćenje u odnosu na srednju vrijednost koncentracije CO<sub>2</sub> mjerne postaje „Gramsci“ (453 ppm). Manje ekstremna razlika se primjećuje u odnosu srednje vrijednost koncentracije CO<sub>2</sub> u Gornjem Čajdrašu (450 pm) i srednje vrijednosti koncentracije CO<sub>2</sub> mjerne postaje „Settignano“ (426 ppm).<sup>[28]</sup>

## **4. ZAKLJUČAK**

- Prema Pravilniku FBiH, granična dnevna osmosatna srednja vrijednost CO u iznosu od 8,66 ppm nije prekoračena ni u jednom pojedinačnom mjerenju.
- Granična srednja satna vrijednost NO<sub>2</sub> u obliku ppm iznosi 0,1054 ppm te mjerenjem na kružnom toku nije prekoračena ni prema Pravilniku FBiH niti prema Uredbi RH.
- Samo na kružnom toku su zabilježene koncentracije NO<sub>2</sub>.
- Najveća zabilježena koncentracija NO<sub>2</sub> iznosi 0,08 ppm.
- Najveća vrijednost CO<sub>2</sub> izmjerena je na kružnom toku krajem prosinca 2023. godine i iznosila je 750 ppm.
- Najmanja vrijednost CO<sub>2</sub> izmjerena je u Gornjem Čajdrašu krajem svibnja 2024. godine i iznosila je 400 ppm.
- Najveća zabilježena koncentracija CO iznosila je 5 ppm i izmjerena je krajem veljače na kružnom toku i u naselju Tetovo.
- Posljednja mjerenja krajem svibnja nisu zabilježila prisutnost CO ni na jednoj mjestnoj postaji.

## **5. LITERATURA**

- [1] URL: <https://scied.ucar.edu/learning-zone/atmosphere/what-is-atmosphere#:~:text=The%20atmosphere%20is%20a%20mixture,differences%20between%20day%20and%20night> (Pristupljeno: 4. 9. 2024.)
- [2] URL: <https://science.nasa.gov/earth/earth-atmosphere/the-atmosphere-earths-security-blanket/> (Pristupljeno: 4. 9. 2024.)
- [3] URL: <file:///C:/Users/m/Downloads/The%20negative%20impact%20of%20global%20warming%20on%20biodiversity-Mahabahu.comcopy.pdf> (Pristupljeno: 4. 9. 2024.)
- [4] A. M. Holloway, R. P. Wayne, *Atmospheric Chemistry*, RSC Publishing, Cambridge, **2010**.
- [5] URL: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19960008864/downloads/19960008864.pdf> (Pristupljeno: 5. 9. 2024.)
- [6] URL: [http://jadran.gfz.hr/pojmovnik\\_s.html](http://jadran.gfz.hr/pojmovnik_s.html) (Pristupljeno: 6. 9. 2024.)
- [7] URL: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/atmosfera> (Pristupljeno: 6. 9. 2024.)
- [8] URL: [file:///C:/Users/m/Downloads/Environmental\\_Chemistry\\_pdf.pdf](file:///C:/Users/m/Downloads/Environmental_Chemistry_pdf.pdf) (Pristupljeno: 6. 9. 2024.)
- [9] S. E. Manahan, *Environmental Science, Technology, and Chemistry: Environmental Chemistry, 9th ed.*, CRC Press, Boca Raton, **2010**.
- [10] S. Banaji, SCIRP. **2023**, *13*, 62-71 <https://doi.org/10.4236/acs.2023.131005>
- [11] URL: <https://edutorij-admin-api.carnet.hr/storage/extracted/703858/kemija-8/m02/j02/index.html> (Pristupljeno: 6. 9. 2024.)
- [12] URL: [https://www.fkit.unizg.hr/\\_download/repository/Zrak.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/Zrak.pdf) (Pristupljeno: 7. 9. 2024.)
- [13] URL: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/dusikov-ciklus> (Pristupljeno: 7. 9. 2024.)
- [14] URL: [https://www.fkit.unizg.hr/\\_download/repository/Predavanje\\_1-2020.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/Predavanje_1-2020.pdf) (Pristupljeno: 9. 9. 2024.)
- [15] URL: [file:///C:/Users/m/Downloads/celan\\_mihaela\\_ktfst\\_2016\\_zavrs\\_sveuc.pdf](file:///C:/Users/m/Downloads/celan_mihaela_ktfst_2016_zavrs_sveuc.pdf) (Pristupljeno: 9. 9. 2024.)
- [16] URL: <https://advokat-prnjavorac.com/Zakon-o-zastiti-zraka-FBiH.html> (Pristupljeno: 22.09.2024.)
- [17] URL: <https://www.fhmzbih.gov.ba/latinica/ZRAK/regulativa.php> (Pristupljeno: 22.09.2024.)

- [18] URL:[https://fmoit.gov.ba/upload/file/pravilnik%20zrak%201\\_02.pdf](https://fmoit.gov.ba/upload/file/pravilnik%20zrak%201_02.pdf) (Pristupljeno: 22.09.2024.)
- [19] URL:<https://www.zakon.hr/z/269/Zakon-o-za%C5%A1titi-zraka> (Pristupljeno: 11. 9. 2024.).
- [20] URL: <https://www.zakon.hr/cms.htm?id=45100> (Pristupljeno: 11. 9. 2024.).
- [21] C. Maknae, *AJNS*. **2023**, 5, 1-11. <https://doi.org/10.47672/ajns.1731>
- [22] URL:  
[https://www.google.com/maps/@44.2104961,17.903423,13.48z?entry=tту&g\\_ep=EgoyMDI0MDkxMS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/@44.2104961,17.903423,13.48z?entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MDkxMS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D) (Pristupljeno: 11. 9. 2024.)
- [23] URL: [https://www.draeger.com/hr\\_hr/Products/X-am-8000](https://www.draeger.com/hr_hr/Products/X-am-8000) (Pristupljeno: 12. 9. 2024.).
- [24] URL: <https://www.fhmzbih.gov.ba/latinica/index.php> (Pristupljeno: 12. 9. 2024.).
- [25] A. Xu, C. Xiang, *Atmosphere* **2024**, 15, 11, <https://doi.org/10.3390/atmos15010011>
- [26] URL:[https://www.sustainable-carbon.org/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/reports/emmissionscontrol/Coke-production-the-impact-of-environmental-legislation-CCC-35.pdf](https://www.sustainable-carbon.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/reports/emmissionscontrol/Coke-production-the-impact-of-environmental-legislation-CCC-35.pdf) (Pristupljeno:13.09.2024.).
- [27] URL: <https://fhmzbih.gov.ba/PUBLIKACIJE/zrak/izvjestaj-2023.pdf> (Pristupljeno: 13. 9. 2024.).
- [28] S. Venturi, J. Cabassi, F. Tassi, G. Maioli, A. Randazzo, F. Capecchiacci, O. Vaselli, J. Environ. Monit. **2021**, 39, 100968, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100968>