

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DENIS VRBANEK

ANALIZA KVALITETE ZRAKA U GRADU ZABOKU

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2020.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za _____ u _____ sa
Obranu ovog rada kandidat će izvršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu
Varaždin, _____

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

izr. prof. dr. sc. Igor Petronić

Članovi povjerenstva

- 1) Doc. dr. sc. Ina Grčić
- 2) izr. prof. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić
- 3) Dr. sc. Viktor Breur, r. pred

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

ANALIZA KVALITETE ZRAKA U GRADU ZABOKU

KANDIDAT:

DENIS VRBANEK



MENTOR:

Dr. sc. IVANA GRČIĆ

VARAŽDIN, 2020.



Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet



ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: DENIS VRBANEK
Matični broj: 214 - 2018./2019.
Smjer: UPRAVLJANJE OKOLIŠEM

NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

ANALIZA KVALITETE ZRAKA U GRADU ZABOKU

Rad treba sadržati:

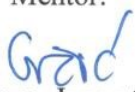
1. Uvod
2. Općenito o kvaliteti zraka
3. Glavna onečišćivala
4. Sustav praćenja kvalitete zraka u Republici Hrvatskoj
5. Općenito o gradu Zaboku
6. Zakonski okvir za izradu programa kontrole onečišćenja zraka
7. Utjecaj meteoroloških uvjeta na kvalitetu zraka
8. Analiza potencijalnih izvora onečišćenja zraka
9. Usporedba kvalitete zraka u Zaboku i Koprivnici
10. Zaključak

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 15.04.2020.

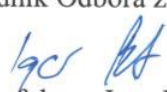
Rok predaje: 07.09.2020.

Mentor:


Doc.dr.sc. Ivana Grčić



Predsjednik Odbora za nastavu:


Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

ANALIZA KVALITETE ZRAKA U GRADU ZABOKU

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **Doc. dr. sc. Ivane Grčić**. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 31. 08. 2020.

DENIS VRBANEK

(Ime i prezime)

Denis Vrbaneck

(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

ANALIZA KVALITETE ZRAKA U GRADU ZABOKU

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog završnog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 31.08.2020.

Doc.dr.sc. IVANA GRUIC'
(Mentor)

IG

(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Stoljećima, pa čak i tisućljećima, ljudska aktivnost nije u većoj mjeri utjecala na čistoću okoliša i kvalitetu zraka. To se mijenja u trenutku kada dolazi do razvoja industrije. Ubrzanim razvojem društvenih zajednica dolazi do sve većeg štetnog utjecaja ljudi na životni okoliš. Danas je situacija i mnogo ozbiljnija, pa tako visoke koncentracije onečišćavala imaju izuzetno snažan utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje. Svojim djelima čovjek je uzrokovao mnoge negativne posljedice koje su pridonijele onečišćenju i rapidnom snižavanju kvalitete zraka na Zemlji. Primjera za to ima mnogo, poput industrijskog smoga, kiselih kiša, ubrzanog uništavanja ozonskog sloja, kao i krčenja šuma, što dovodi do gotovo nesagledivih posljedica na atmosferu. Redovito praćenje kvalitete zraka u Republici Hrvatskoj provodi se zbog očuvanja zadovoljavajuće kvalitete zraka jer ustavno pravo svih građana je pravo na čisti zrak.

Ključne riječi: kvaliteta zraka, CO₂, onečišćenje, atmosfera

ABSTRACT

For centuries, and even millennia, human activity has not had a major impact on environmental cleanliness and air quality. It started to change when industrial development took place. Fast development of social communities leads to an increasing harmful impact of people on the environment. Today, the situation is so serious that such high concentrations of pollutants have an enormous impact on the environment and human health. Man's actions have caused many negative consequences that have contributed to pollution and the rapid decline of air quality on the Earth, such as industrial smog, acid rain, an increase in the destruction of the ozone layer, as well as deforestation, which have almost unforeseeable consequences for the atmosphere. Constant air quality monitoring in the Republic of Croatia is carried out in order to preserve satisfactory air quality, because the constitutional law of all citizens is the right to clean air.

Key words: air quality, CO₂, pollution, atmosphere

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. OPĆENITO O KVALITETI ZRAKA.....	2
2.1. Sastav i svojstva zraka	3
2.2. Atmosfera.....	4
2.3. Kakvoća zraka i njen utjecaj na zdravlje čovjeka i okoliš	5
2.4. Izvori onečišćenja na otvorenom prostoru	8
2.5. Izvori onečišćenja u zatvorenim prostorima	9
3. GLAVNA ONEČIŠĆIVALA	10
3.1. Plinovita onečišćivala.....	10
3.1.1. Sumporovi oksidi	10
3.1.2. Dušikovi oksidi	10
3.1.3. Ugljikov monoksid.....	10
3.1.4. Ozon	11
3.2. Lebdeće čestice	12
4. SUSTAV PRAĆENJA KVALITETE ZRAKA U REPUBLICI HRVATSKOJ	14
4.1. Praćenje razine kvalitete zraka u Republici Hrvatskoj.....	15
4.2. Pokazatelji.....	17
4.3. Kategorije kakvoće zraka	18
4.4. Indeks kakvoće zraka	19
5. OPĆENITO O GRADU ZABOKU.....	21
6. ZAKONSKI OKVIR ZA IZRADU PROGRAMA KONTROLE ONEČIŠĆENJA ZRAKA	23
7. UTJECAJ METEOROLOŠKIH UVJETA NA KVALITETU ZRAKA.....	26
8. ANALIZA POTENCIJALNIH IZVORA ONEČIŠĆENJA ZRAKA.....	28
9. USPOREDBA KVALITETE ZRAKA U ZABOKU I KOPRIVNICI	30
9.1. Koncentracije onečišćivala u Gradu Zaboku	32
9.2. Usporedba Grada Zaboka i Grada Koprivnice	36
10. ZAKLJUČAK	40
LITERATURA.....	41
POPIS SLIKA	43
POPIS TABLICA.....	45

1. UVOD

Zrak je plinoviti omotač koji okružuje Zemlju. Neporeciva je činjenica da kada ne bi bilo zraka ne bi bilo ni života na Zemlji jer osnovu ljudskog preživljavanja uz vodu i hranu čini zrak. Treba napomenuti i da bez hrane čovjek može živjeti nekoliko tjedana, bez vode nekoliko dana, ali bez zraka život je moguć maksimalno nekoliko minuta. To je razlog zašto je izuzetno važno da kvaliteta zraka koji u dišemo bude na zadovoljavajućoj razini. Prisutnost štetnih tvari koje se nalaze u zraku je praktički nemoguće izbjeći, ali treba imati na umu da takve tvari uzrokuju onečišćenje zraka i jedan su od glavnih čimbenika koji negativno utječu na okoliš i ljudsko zdravlje. Može se sa sigurnošću tvrditi da onečišćenje okoliša, posebice zraka koji udišemo, predstavlja jedan od ključnih ekoloških problema današnjice. Izvori štetnih tvari u zraku mogu se podijeliti u dvije kategorije: prirodne i umjetne[1].

Usprkos činjenici da se emisije štetnih tvari konstantno nastoje smanjiti na prihvatljiviju mjeru, i danas u svijetu na godišnjoj razini umire oko tri milijuna ljudi kao direktna posljedica onečišćenja zraka, što predstavlja gotovo pet posto od ukupne godišnje smrtnosti. To je još jedan razlog zbog kojeg je neophodno provoditi stalan nadzor kakvoće zraka. U radu će se promatrati i utjecaj meteoroloških uvjeta na kvalitetu zraka. Naime, nepobitna je činjenica da meteorološki uvjeti igraju izuzetno važnu ulogu kada govorimo o koncentraciji atmosferskog onečišćenja. Sve od vremena izuma vatre ljudi koriste atmosferu kao odlično sredstvo da bi se otpustio dim. Atmosfera može razinu onečišćenja razrijediti i spustiti sve do razine koja odgovara pozadinskoj atmosferskoj koncentraciji, ali i zadržati veću količinu onečišćujućih tvari u sloju atmosfere u kojem se odvija većina života na Zemlji. U radu će se promotriti i stanje što se tiče kvalitete zraka u Zaboku i napraviti se usporedba s gradom Koprivnicom.

2. OPĆENITO O KVALITETI ZRAKA

Zrak je plinoviti omotač koji okružuje Zemlju. Da nema zraka ne bi bilo ni života na Zemlji jer osnovu ljudskog preživljavanja uz vodu i hranu čini zrak. Činjenica je da bez hrane čovjek može živjeti nekoliko tjedana, bez vode nekoliko dana, a bez zraka samo nekoliko minuta [2]. Zrak je isto tako i naziv za mješavinu plinova koji zajedno tvore Zemljinu atmosferu, dakle sloj plinova koji okružuju planet Zemlju i koji zadržava Zemljina gravitacija. Zemljina atmosfera, zajedno s litosferom i hidrosferom predstavlja komponentu okoliša koja tvori biosferu, drugim riječima sferu života koja omogućava razvoj te opstanak živih organizama.

Atmosfera tvori plinovitu fazu, tj. zrak koji predstavlja jedan od najosnovnijih životnih uvjeta, već samim time što je potreban za disanje i fotosintezu. On sadrži oko 80% dušika i oko 20% kisika, dok su količine ostalih plinova sasvim neznatne ili ih se može naći tek u tragovima. Kisik se unosi u tijelo putem disanja, a pri tom procesu iz tijela istovremeno izlazi ugljikov dioksid. Biljke koriste ugljikov dioksid da bi pripremale hranu za vrijeme fotosinteze i pritom daju kisik okolišu.

Od smoga koji lebdi nad gradovima do dima unutar kuća, onečišćenje zraka predstavlja veliku prijetnju zdravlju i klimi. Prema procjenama Svjetske zdravstvene organizacije „WHO“ kombinirani učinci onečišćenja zraka u okolini i kućanstvu uzrokuju oko sedam milijuna prijevremenih smrti svake godine, uglavnom kao rezultat povećane smrtnosti od moždanog udara, bolesti srca, kronične opstruktivne plućne bolesti, raka pluća i akutnih respiratornih infekcija. Podaci WHO-a pokazuju da 9 od 10 ljudi udiše zrak koji sadrži visoku razinu onečišćivala. Oko 91% populacije u svijetu živi u mjestima gdje je razina kvalitete zraka premašila granice WHO-a. Iako onečišćenje zraka utječe podjednako na razvijene zemlje i zemlje u razvoju, zemlje s niskim i srednjim dohotkom trpe najveće opterećenje, a najveći danak u zemljama Svjetske zdravstvene organizacije Tihog oceana i jugoistočne Azije. WHO surađuje sa zemljama na praćenju onečišćenja zraka i poboljšanju kvalitete zraka. Onečišćenje zraka u Zemljinoj atmosferi uzrokuju razni plinovi i kemikalije koji su u atmosferi iz godine u godinu sve brojniji, neki od plinova kao što su CO₂, CO, NO, SO₂, čestice nošene zrakom i sl. [3].

2.1. Sastav i svojstva zraka

Zrak, prema definiciji iz Zakona o zaštiti zraka podrazumijeva zrak troposfere na otvorenom prostoru, s time da se izuzima zrak na mjestu rada [4]. Za zrak se može reći da je plin bez boje, okusa i mirisa. Kroz njega se može gledati te ima sposobnost gibanja. Zrak se sastoji od dušika, koji je osnovni biogeni element potreban za izgradnju tijela, te kisika, koji predstavlja najvažniji element za gorenje i disanje, kao i plemenitih plinova, ali u vrlo malim količinama. Kisik se unosi u tijelo procesom disanja, pri čemu iz tijela izlazi ugljikov dioksid. Biljke pomoću ugljikovog dioksida pripremaju hranu tijekom fotosinteze i na taj način stvaraju kisik.

Tablica 1. Volumni udjeli plinova u čistom zraku [5].

Plin	Volumni udio, %
Dušik (N ₂)	78,10
Kisik (O ₂)	20,93
Ugljikov dioksid (CO ₂)	0,03
Metan (CH ₄)	0,00018
Argon (Ar)	0,9325
Neon (Ne)	0,0018
Helij (He)	0,0005
Kripton (Kr)	0,0001
Ksenon (Xe)	0,000009

2.2. Atmosfera

Atmosfera kakvu poznajemo danas je nastala različitim kemijskim i biokemijskim reakcijama Zemlje. Stručnjaci drže da je gotovo 99% današnje atmosfere neusporedivo mlađe u odnosu sa sastav praatmosfere. Ne može se sa pouzdanom sigurnošću reći od čega je ona bila sastavljena, ali su znanstvenici nakon mnogobrojnih istraživanja došli do zaključka da su praatmosferu uglavnom tvorili plinovi koji su nastali za vrijeme vulkanskih erupcija.

Atmosfera se s obzirom na temperaturu može podijeliti na sljedeće: troposferu, stratosferu, mezosferu, termosferu i egzosferu. Između njih nalaze se tropopauza, stratopauza, mezopauza i termopauza.

Vodena para, dušik, ugljikov dioksid i sumporov dioksid su plinovi koji nastaju kao posljedica taljenja Zemljine kore i tada odlaze u atmosferu. U prošlosti su praoceani nastajali uslijed kondenzacije vodene pare. Protekom vremena konstantno je dolazilo do mnogih promjena u praatmosferi poput otapanja plinova u vodi. Kao posljedica otapanja ugljikovog dioksida u vodi stvara se vapnenac od kojeg su nastali masivni planinski lanci. Ključna evolucija atmosfere desila se pojavljivanjem prvih, primitivnih biljaka.

Biljke su procesom fotosinteze proizvodile kisik, a istovremeno su trošile ugljikov dioksid. Kisik se u gornjim dijelovima atmosfere, kao posljedica ultraljubičastog zračenja, pretvara u ozon. Ozon u velikoj mjeri sprječava dolazak zračenja sa Sunca do Zemljine površine i na taj način omogućuje daljnji razvoj života na površini. Ovdje se svakako mora spomenuti da je u daljnjem procesu evolucije Zemljine atmosfere čovjek odigrao veliku ulogu.

Svojim djelima čovjek je uzrokovao mnoge negativne posljedice koje su pridonijele onečišćenju i rapidnom snižavanju kvalitete zraka na Zemlji. Primjera za to ima mnogo, poput industrijskog smoga, kiselih kiša, ubrzanog uništavanja ozonskog sloja, kao i krčenja šuma, posebice u Južnoj Americi. Ne treba izostaviti ni efekt staklenika, koji je također izazvao čovjek. Sve nabrojano dovodi do gotovo nesagledivih posljedica na atmosferu.

2.3. Kakvoća zraka i njen utjecaj na zdravlje čovjeka i okoliš

Prisutnost štetnih tvari u zraku je nemoguće izbjeći, ali treba imati na umu da navedene tvari uzrokuju onečišćenje zraka i jedan su od najčešćih čimbenika koji utječu na okoliš i ljudsko zdravlje. Izvori štetnih tvari u zraku mogu se podijeliti u dvije kategorije: Prirodne i umjetne (antropogene).

Onečišćujuće tvari iz prirodnih izvora su na primjer: leteći pepeo, dim, aeroalergeni, prašina nošena vjetrom, čestice morske soli, plinovi šumskih požara, plinovi močvara, mikroorganizmi, magla, vulkanski pepeo i plinovi, meteorska prašina, prirodna isparavanja te prirodna radioaktivnost.

Pod umjetne izvore ubrajamo transport, industrijska postrojenja, proizvodnja toplinske i električne energije, spaljivanje otpada, ali i ostale djelatnosti kao npr. procesi kemijskog čišćenja, tiskanja, bojanja, građevinski radovi.

Izvori onečišćivanja zraka se također dijele na:

1. Nepokretne izvore emisija:

- točkasti izvori – štetne tvari ispuštaju u zrak kroz za to oblikovane ispuste (postrojenja, tehnološki procesi, ložišta, plinske turbine, spalionice otpada, uređaji, građevine)
- difuzni izvori - štetne tvari se ispuštaju u zrak bez ispusta/dimnjaka (određeni uređaji, aktivnosti, površine i druga mjesta)

2. Pokretne izvore emisija (motorna vozila, šumarski, poljoprivredni traktori i ne cestovni pokretni strojevi, lokomotive, plovni objekti i zrakoplovi) [6].

Važno je napomenuti i razliku između pojedinačnih i kolektivnih izvora emisija. Prethodno navedeni izvori ubrajaju se u uglavnom pojedinačne izvore emisija kod kojih je moguće detektirati znatne količine onečišćujućih tvari u zraku. Za razliku od navedenih izvora emisija, kolektivni izvori emisija odnose se na skup onečišćivača koji pojedinačno ispuštaju onečišćujuće tvari u neznatnim količinama, no na lokalnoj i regionalnoj skali doprinose ukupnom onečišćenju pojedinim tvarima. Primjer takvih izvora su domaćinstva i poljoprivredne površine koje ukupno gledajući značajno doprinose kvaliteti zraka na pojedinim područjima, a vrlo je teško kontrolirati pojedinačne subjekte [6].

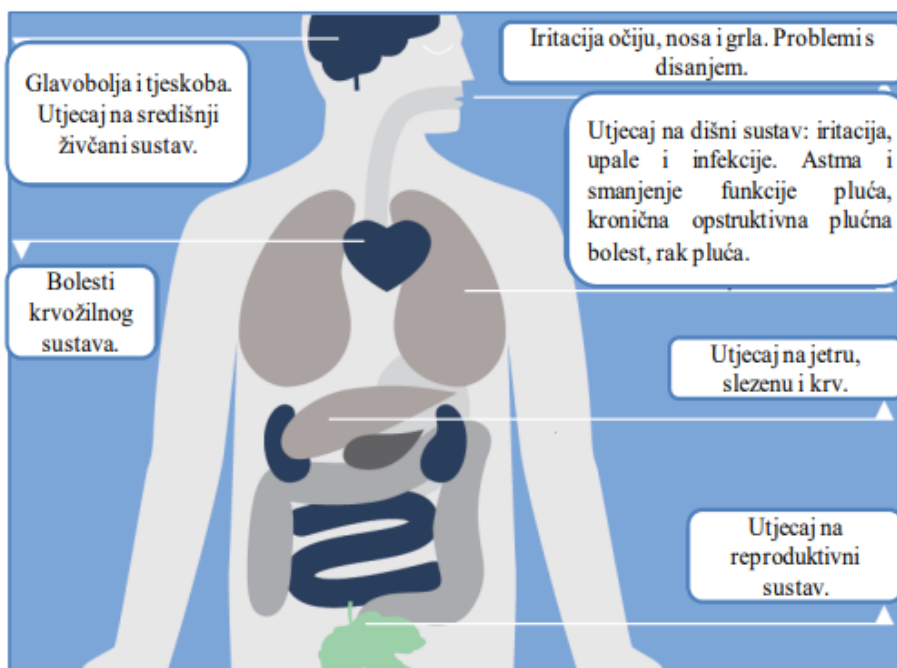
Danas postoje propisi iz područja zaštite zraka kojima je striktno propisana obveza praćenja sljedećih štetnih tvari u zraku: lebdećih čestica (PM), sumporova dioksida (SO_2), dušikova dioksida (NO_2), ugljikova dioksida (CO_2), ugljikova monoksida (CO), nemetanskih hlapljivih organskih spojeva (NMHOS), metana (CH_4), benzena, ozona (O_3) te prisutnost arsena (As), olova (Pb), kadmija (Cd), nikla (Ni), talija (Tl) i žive (Hg) u ukupnoj taložnoj tvari (UTT). U nastavku će se dati kratki osvrt na svojstva i izvore pojedinih štetnih tvari [6].

Učinci na ljudsko zdravlje su različiti i po ozbiljnosti i po simptomima. Simptomi mogu varirati od obične nelagode, do blago bolesnog stanja, ozbiljne bolesti, ali i sve do same smrti. Činjenica je i da postoje velike razlike u osjetljivosti među ljudima, jer pojedinci mogu vrlo različito reagirati na štetne utjecaje kojima su izloženi iz okoliša. Takve razlike ovise o mnogo čimbenika kao što su dob pojedinca i opće stanje zdravlja, pa je neosporno da će na zdravlje male djece, starijih osoba, trudnica, osoba s kroničnim bolestima znatno brže i ozbiljnije utjecati štetne tvari iz okoliša.

Kada štetne tvari dospiju u okoliš, one se najčešće prenose zrakom, vodom, tlom, hranom, ali isto tako i živim organizmima i različitim proizvodima. U situaciji gdje štetna tvar uđe u organizam putem disanja, adsorpcijom kroz kožu ili putem probave ona često može uzrokovati cijeli niz zdravstvenih problema. Uzroci onečišćenja zraka na zdravlje čovjeka mogu se svrstati u dvije skupine:

- Akutni učinci: vrlo naglo se razvijaju zbog visoke koncentracije onečišćenja kao posljedica industrijskih incidenata te nepovoljnih meteoroloških uvjeta
- Kronični učinci: imaju utjecaj zbog svakodnevne izloženosti relativno niskoj koncentraciji onečišćujućih tvari.

U velikoj većini slučajeva kraće razdoblje izloženosti umjereno onečišćenom zraku neće uzrokovati ozbiljnije posljedice na zdravlje, ali s druge strane dugotrajnije izlaganje može lako dovesti do ozbiljnih zdravstvenih problema. Kao posljedica se najčešće javljaju bolesti dišnog sustava, kao što su alergija, astma, plućne bolesti, ali i srčane bolesti, kožne bolesti, bolesti osjetila i rak.



Slika 1. Utjecaj onečišćujućih tvari prisutnih u zraku na zdravlje ljudi [7].

Ovdje se treba napomenuti da usprkos tome što se emisije štetnih tvari konstantno nastoje umanjiti na prihvatljiviju mjeru, i danas u svijetu na godišnjoj razini umire oko tri milijuna ljudi kao direktna posljedica onečišćenja zraka, što predstavlja gotovo pet posto od ukupne godišnje smrtnosti. To je razlog zbog kojeg je neophodno provoditi stalan nadzor kakvoće zraka.

Tablica 2. Propisane granične vrijednosti koncentracija za štetne tvari u zraku [8].

Onečišćujuća tvar	Vrijeme usrednjavanja	Granična vrijednost (GV)
Sumporov(IV) oksid	1 sat	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 sata	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dušikov(IV) oksid	1 sat	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Kalendarska godina	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ugljikov(II) oksid	Maksimalna dnevna	10 mg/m^3
	8-satna srednja vrijednost	
PM ₁₀	24 sata	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Kalendarska godina	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Benzen	Kalendarska godina	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Olovo u PM ₁₀	Kalendarska godina	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ukupna plinovita živa	Kalendarska godina	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

2.4. Izvori onečišćenja na otvorenom prostoru

Glavni izvori onečišćenja na otvorenom uključuju vozila, proizvodnja električne energije, izgradnja sustava grijanja, poljoprivreda / spaljivanje otpada i industrija. Politike i ulaganja koja podržavaju čišći promet, energetske učinkovito stanovanje, proizvodnju električne energije, industriju i bolje upravljanje komunalnim otpadom mogu učinkovito smanjiti ključne izvore onečišćenja okoliša. Kvaliteta zraka usko je povezana sa zemljom, klimom i ekosustavima na globalnoj razini.

Mnogi pokretači onečišćenja zraka (izgaranje fosilnih goriva) također su izvori velike emisije CO₂. Stoga politike za smanjenje onečišćenja zraka nude strategiju „win-win“ i za klimu i za zdravlje, smanjujući teret bolesti koji se mogu pripisati onečišćenju zraka, kao i doprinoseći dugoročnom i dugoročnom ublažavanju klimatskih promjena [2].

2.5. Izvori onečišćenja u zatvorenim prostorima

Jedan od vodećih uzroka bolesti i prijevremene smrti na svijetu u razvoju je onečišćenje zraka u kućanstvima. Svake godine izloženost dimu kuhinjskih požara uzrokuje 3,8 milijuna prijevremenih smrti, najviše u zemljama s srednjim i niskim dohotkom. Izgaranjem goriva poput smeća, drva i ugljena u neučinkovitim pećima ili na otvorenim ognjištima nastaju različiti štetni za zdravlje onečišćujuće tvari, uključujući čestice (PM), metan, ugljični monoksid, poliaromatski ugljikovodici (PAH) i isparljivi organski spojevi (VOC). Izgaranje petroleja u petrolej svjetiljkama također stvara značajne emisije sitnih čestica i drugih onečišćivača.

Čestice su onečišćujuće tvari. Mnoge su studije pokazale izravnu vezu između izloženosti PM-u i negativnih zdravstvenih utjecaja. Čestice manjeg promjera (PM_{2,5} ili manji) općenito su opasnije, a ultrafine čestice (promjera jednog mikrona ili manje) mogu prodrijeti u tkiva i organe što predstavlja još veći rizik od utjecaja sustavnog zdravlja.

Izloženost onečišćivačima zraka u zatvorenim prostorima može dovesti do širokog raspona štetnih zdravstvenih ishoda kod djece i odraslih, od respiratornih bolesti do raka te do problema s očima. Članovi kućanstava koji se oslanjaju na onečišćujuća goriva i uređaje također su izloženi većem riziku od opekline, trovanja, ozljeda koštano-mišićnog sustava i nesreća [2].

3. GLAVNA ONEČIŠĆIVALA

3.1. Plinovita onečišćivala

3.1.1. Sumporovi oksidi

„Sumporov dioksid (sumporov(IV) oksid), SO_2 , bezbojan, otrovni plin, otapanjem u vodi daje sumporastu kiselinu. Dobiva se izgaranjem sumpora i sumporovodika te prženjem sulfidnih ruda, a nalazi se u plinovima izgaranja tvari koje sadrže sumpor, pa tako i u ispušnim plinovima i jedan je od glavnih uzročnika nastanka kiselih kiša. Rabi se kao među proizvod u proizvodnji sumporne kiseline, u proizvodnji sulfitne celuloze, za bijeljenje i za dezinfekciju, u borbi protiv štetočina, u rashladnim strojevima“[9].

3.1.2. Dušikovi oksidi

„Dušikovi oksidi, niz spojeva dušika i kisika opće formule NO_x ($x = 0,5$ do 2) koji nastaju oksidacijom atmosferskoga dušika pri visokim temperaturama izgaranja (industrijski procesi, automobilske motori) ili pod utjecajem elektromagnetskog izboja (munje, kozmičke zrake). Osim dušikova(I) oksida, N_2O , svi dušikov oksid, prisutni u atmosferi, u manjoj su ili većoj mjeri otrovni i nadražuju ljudske dišne organe. Oni su glavna komponenta onečišćenja atmosfere, uključeni u stvaranje *kiselih kiša* i *fotokemijskoga smoga* te stvaranje i razgradnju ozonskoga sloja u stratosferi. U prirodnom ciklusu dušika dušikov oksid su bitna sastavnica *nitrifikacije*“[10].

3.1.3. Ugljikov monoksid

„Ugljikov monoksid (ugljkov(II) oksid), CO , kemijski spoj koji se sastoji od jednog ugljikova atoma vezanoga kovalentnom vezom na jedan kisikov atom. To je plin bez boje i mirisa. U kapljevinu prelazi pri temperaturi od $-191,5\text{ }^\circ\text{C}$, a u krutinu pri $-204\text{ }^\circ\text{C}$. Nastaje izgaranjem ugljika i organskih spojeva bez dovoljne prisutnosti kisika, pa se nalazi i u ispušnim plinovima benzinskih motora. U zraku je zapaljiv, gori

karakterističnim plavičastim plamenom, pri čem nastaje ugljikov dioksid; s čistim kisikom reagira eksplozivno“[11].

„S brojnim metalima stvara metalne karbonile, primjerice pentakarbonilželjezo ($\text{Fe}(\text{CO})_5$), a s nemetalima nemetalne karbonile poput karbonil-diklorida, (COCl_2 , bojni otrov fozgen). Neke bakterije mogu stvarati ugljikov monoksid iz metana, a druge ga oksidirati u ugljikov dioksid. Industrijski se može dobiti u obliku generatorskog i vodenoga plina. Važan je u modernoj tehnologiji kao reaktant ili kao sirovina za mnoge proizvode. U metalurgiji služi kao reducens za redukciju metalnih oksida pri dobivanju nekih metala (ponajprije željeza u visokoj peći), a u organskoj kemiji kao polazni spoj mnogih tehničkih sinteza, npr. u sintezi metanola, Fischer-Tropschovoj sintezi i dr.“[11].

„Vrlo je otrovan jer se mnogo bolje od kisika veže na hemoglobin u crvenim krvnim zrnima te onemogućuje vezanje kisika, njegovo raznošenje po organizmu i oksigenaciju stanica. Udjel ugljikova monoksida u zraku manji od 0,01% uzrokuje glavobolju i vrtoglavicu, a udjel od 0,065 do 0,070% može prouzročiti smrt“[11].

3.1.4. Ozon

„Ozon (njem. *Ozon*, prema grč. *ὄζειν*: mirisati), alotropska modifikacija kisika s tri kisikova atoma u molekuli, O_3 . U čistom stanju to je modrikast plin, koji se na $-111,9\text{ }^\circ\text{C}$ kondenzira u kapljevinu modroljubičaste boje. Ima karakterističan, jak miris (sličan mirisu klora), koji se osjeća i u velikom razrjeđenju. U vodi je znatno topljiviji od kisika. Koncentrirane su otopine ozona eksplozivne. Ozon se na sobnoj temperaturi sporo, a na visokoj temperaturi brzo raspada uz oslobađanje kisikova atoma, pa je zbog toga najjače poznato oksidacijsko sredstvo: oksidira sve metale osim zlata, platine i iridija, uništava mnoge organske boje, ubija bakterije; u dodiru s ozonom zapale se eter, alkohol i mnoge organske kapljevine“[12].

„Ozon se zato rabi za izbjeljivanje (ulja, masti, voskova, celuloze, papira, tekstila), za dezinfekciju pitke vode, za osvježavanje i dezinfekciju zraka i dr. Ozon nadražuje dišne organe, veće količine uzrokuju krvarenje iz nosa i glavobolju“[12].

„Ozon se može dobiti u ozonizatoru propuštanjem kisika ili zraka kroz područje električnog izbijanja, pri čem nastaje plinska smjesa koja sadrži do 15% ozona. Čisti ozon dobiva se ukapljivanjem te smjese i njezinom frakcijskom destilacijom. Većina ozona u prirodi postoji u višim dijelovima atmosfere, gdje se neprekidno stvara djelovanjem ultraljubičastoga zračenja na kisik, ali se i raspada. Ozonski omotač ima iznimnu važnost za život na Zemlji, jer sprječava da velik dio štetnog ultraljubičastoga zračenja dopre do Zemljine površine. Osim u atmosferi, ozon na Zemlji nastaje u troposferi djelovanjem Sunčeva zračenja na ispušne plinove, što dovodi do stvaranja fotokemijskog smoga, a ima i štetne biološke posljedice te mijenja svojstva materijala organskoga podrijetla kao što su guma, koža, tekstil, boje i lakovi, oštećujući ih i smanjujući im vijek trajanja“[12].

3.2. Lebdeće čestice

Razlikujemo fine i grube lebdeće čestice. S time da su one fine puno opasnije od onih grubih. Najsitnije čestice su fine lebdeće čestice (imaju promjer 2,5 mikrometra i manje). Sitne su toliko da se mogu detektirati samo posebnim uređajima. Motorna vozila, termoelektrane, izgaranje drva i ugljena u pojedinačnim pećima, požari, izgaranje poljoprivrednog zemljišta, industrijski procesi i svi drugi procesi izgaranja glavni su izvori finih čestica. Čestice promjera između 2,5 i 10 mikrometara ($PM_{2,5}$ i PM_{10}) nazivaju se „grube“ i nastaju postupcima drobljenja i mljevenja, dizanjem prašine uz cestu od strane motornih vozila itd [13].

Od lebdećih čestica se ne možete zaštititi običnim maskama, šalovima itd. nego posebnim maskama za $PM_{2,5}$ čestice, a zrak možete „očistiti“ od njih samo posebnim uređajima s HEPA filterima zraka. Zajedno sa zrakom udišemo lebdeće čestice PM_{10} , prodiru duboko u pluća. Fizički nepoželjno tijelo dopijeva u naša pluća kao i mnoge kemikalije i organske tvari opasne po ljudsko zdravlje prenošene do naših unutrašnjih organa, uzrokuju niz bolesti od kojih neka završavaju smrću, kao što je rak, moždani udar i oštećenja na još nerođenoj djeci. Onečišćenje sa PM_{10} česticama i većinom bolesti organa za disanje, bolesti srca, te povećane smrtnosti postoji jaka veza.

Također, lebdeće čestice predstavljaju mješavinu različitih kemijskih spojeva, kao što su prašina, morska sol, crni ugljen, zgusnute čestice određenih kemikalija, te čestica vode. Veličina lebdećih čestica se može poprilično razlikovati i uglavnom varira od 1 do 10 μm [13]. Lebdeće čestice lebde zrakom te kod disanja mogu prodrijeti duboko u pluća. Lebdeće čestice uzrokuju različita oboljenja, što može uključiti i rak, posebice rak pluća, kao i moždani udar ili smrt.

Iz tog se razloga putem monitoringa konstantno prate lebdeće čestice koje su promjera manjeg od 1 μm (PM_1) koje imaju utjecaj na alveole u plućima, lebdeće čestice promjera manjeg od 2,5 μm ($PM_{2,5}$) koje mogu utjecati na dušnik, kao i lebdeće čestice koje imaju manji promjer od 10 μm (PM_{10}) koje imaju prvenstveno učinak na područje nosa [14]. Prirodni izvori navedenih lebdećih čestica mogu biti prašina, aktivni vulkani, šumski požari, a umjetni izvori su sagorijevanje krutih i fosilnih goriva poput drva i ugljena, motorna vozila, građevinski radovi, te industrijsko onečišćenje.

4. SUSTAV PRAĆENJA KVALITETE ZRAKA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Na lokalnoj i državnoj razini pratimo kvalitetu zraka mrežom mjernih postaja, postoje mjerne stanice jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave, državna mreža za kontinuirano praćenje kakvoće zraka i mjerne stanice onečišćivača. Za praćenje i procjenu kvalitete zraka te za predlaganje i provođenje mjera za smanjivanje i sprječavanje onečišćenja zraka koriste se dobiveni mjereni podaci. Određuje se na godišnjoj osnovi i jednom godišnje za svaku onečišćujuću tvar za prethodnu godinu. Godišnja Izvješća o kvaliteti zraka s ocijenom kvalitete zraka na području Republike Hrvatske izdaje Ministarstvo zaštite okoliša i energetike. Rezultati mjerenja kakvoće zraka sa svih etabliranih mjernih postaja u Republici Hrvatskoj kontinuirano se dostavljaju i objavljuju svakih sat vremena na web stranici Hrvatske agencije za okoliš i prirodu u bazi podataka „Kvaliteta zraka u Republici Hrvatskoj“.

Onečišćujuće tvari u zraku postoje samo u dva osnovna fizikalna stanja: plinovito i kruto (čestice), te mogu biti produkti ljudskih aktivnosti ili procesa u prirodi. Najčešće se provode mjerenja i uspoređuje koncentracija sljedećih onečišćujućih tvari: lebdećih čestica, dušikovih oksida (NO_x), sumporovog dioksida (SO₂), ugljikovog monoksida (CO) ozona (O₃) i benzena (C₆H₆) dok na kvalitetu života još mogu negativno utjecati i plinovi neugodnog mirisa kao što su amonijak (NH₃) i sumporovodik (H₂S) [14].

Zavod za zaštitu okoliša i prirode pri Ministarstvu zaštite okoliša i energetike:

- Prikuplja, obrađuje i objedinjava podatke o zraku
- Razvija i vodi informacijski sustav zaštite zraka
- Razvija i izrađuje pokazatelje za praćenje stanja u području zraka
- Izrađuje izvješća
- Proviđa izvješćivanje o obvezama iz propisa Europske unije, dostavlja podatke o zraku Europskoj informatičkoj i promatračkoj mreži za zaštitu okoliša (EIONET), te surađuje s tijelima EU
- Osigurava i olakšava pristup informacijama o zraku

4.1. Praćenje razine kvalitete zraka u Republici Hrvatskoj

Procjenjivanje razine kvalitete zraka je postupak koji se koristi za mjerenje, izračunavanje te procjenu razine onečišćenosti. U Republici Hrvatskoj se procjena razine onečišćenosti zraka vrši analizom postojećeg stanja koje se temelji na rezultatima mjerenja koja su se provela u razdoblju od minimalno pet godina, primjenom indikativnih mjerenja, kao i standardiziranih matematičkih modela te drugih metoda procjene validnih unutar prostora Europske unije.

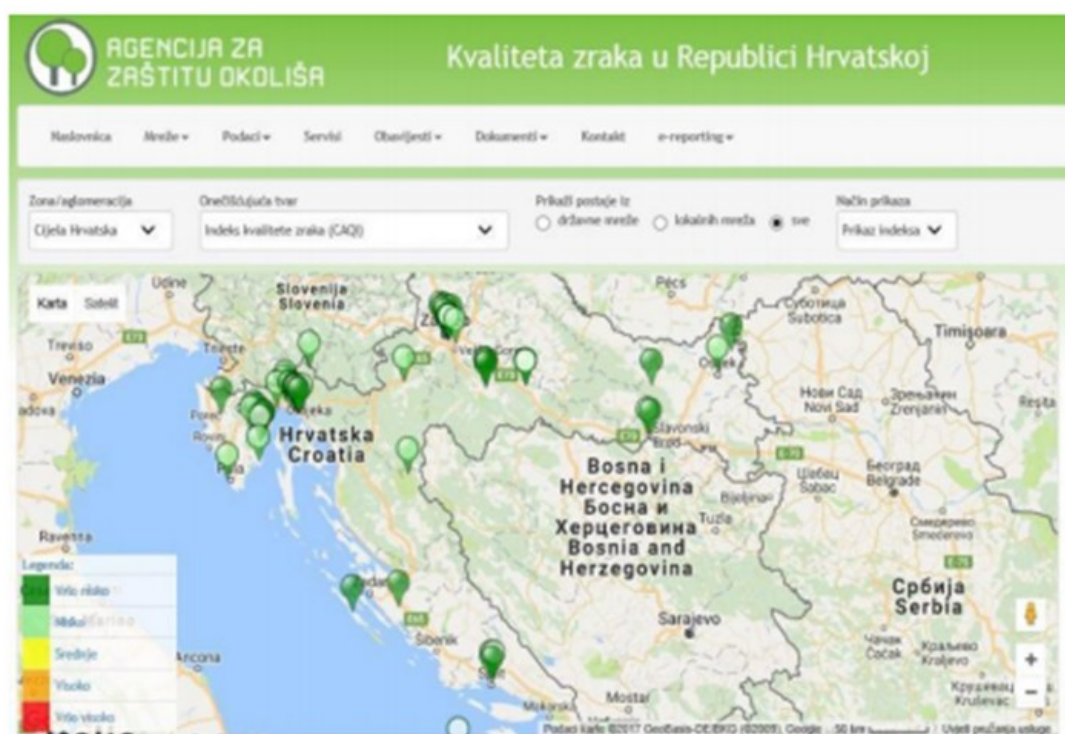
Praćenje razine kvalitete zraka prati se na sljedećim temeljima:

- mjerenja na stalnim mjernim mjestima i/ili ocjene razina onečišćenosti zraka u zonama i aglomeracijama
- mjerenja na stalnim mjernim mjestima i/ili ocjene razina onečišćenosti zraka uslijed daljinskog i prekograničnog prijenosa štetnih tvari u zraku i oborini na području Republike Hrvatske
- mjerenja i analize meteoroloških uvjeta i kakvoće zraka
- mjerenja i opažanja promjena koje ukazuju na učinak onečišćenosti zraka na tlu, biljkama, građevinama, u biološkim nalazima, i sl.
- modeliranja prijenosa i disperzije štetnih tvari odgovarajućim atmosferskim modelima
- drugih metoda procjene i mjerila koje se primjenjuju na području Europske unije.

„Na teritoriju Republike Hrvatske praćenje procjena kvalitete zraka provodi se u zonama i aglomeracijama, po Uredbi o određivanju zona i aglomeracija prema razinama onečišćenosti zraka na području Republike Hrvatske.“ Postupak procjene kvalitete zraka vrši se za olovo, živu, prizemni ozon, ugljikov monoksid, benzen, sumporov dioksid, dušikove okside, nikal, kadmij i benzo(a) piren. Na razini zona i aglomeracija kvaliteta zraka prati se putem državne i lokalne mreže. Državna mreža se financira iz državnog proračuna i njezinim radom upravlja Državni hidrometeorološki zavod. Podaci dobiveni

putem državne mreže se objavljuju na stranicama Hrvatske Agencije za okoliš i prirodu, te su sastavni dio Informacijskog sustava zaštite zraka [14].

Procjena razine onečišćenosti zraka se provodi na cijelom teritoriju Republike Hrvatske. Na onim mjestima gdje razina onečišćenosti ne prelazi ni gornju ni donju granicu procjenjivanja, ocjenjivanje se provodi uglavnom primjenom metoda matematičkog modeliranja, ali i drugim metodama prihvaćenima u svijetu. U naseljenim mjestima, mjestima gdje dolazi do kritične razine i mjestima gdje razina onečišćenosti prelazi tolerantnu vrijednost, ocjenjivanje se vrši mjerenjem.



Slika 2. Praćenje kvalitete zraka u Republici Hrvatskoj putem web stranice Hrvatske Agencije za okoliš i prirodu [15].

4.2. Pokazatelji

„Pokazatelj ili indikator reprezentativna je vrijednost nekog promatranog slučaja. Pokazatelj kvantificira informaciju agregiranjem različitih, diskretnih i periodičkih mjerenja u numerički reprezentativnu veličinu. Rezultat je izvedena informacija. Ili ukratko, pokazatelji su informacije o okolišu koje nam pomažu da sagledamo složeni događaj.[16]“

Nacionalni pokazatelji

„Prema čl. 36.a Zakona o zaštiti okoliša (Narodne novine, br. 80/13, 153/13, 78/15, 12/18, 118/18) djelatnost Ministarstva zaštite okoliša i energetike (u daljnjem tekstu: Ministarstvo) obuhvaća izradu Nacionalne liste pokazatelja. Nacionalna lista pokazatelja, koju je predložilo imenovano Povjerenstvo, izrađena je na temelju posebnih propisa i međunarodnih ugovora, odnosno popisa pokazatelja Europske agencije za okoliš (European Environment Agency, EEA) te drugih europskih relevantnih tijela (DG Environment). Objavljivanjem NLP u Narodnim novinama za razdoblje od dvije godine, popis postaje obvezujući dokument i vrijedan alat za izradu Izvješća o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj“ [16].

Pokazatelji u području zraka

Koristeći metodologiju Europske agencije za okoliš Ministarstvo je, s ciljem standardizacije izvješćivanja o okolišu pokrenulo izradu Nacionalne liste pokazatelja okoliša. Iz područja zraka utvrđen je ukupno 21 pokazatelj koji će se koristiti za praćenje postizanja strateških ciljeva i ocjenjivanje kakvoće zraka u Republici Hrvatskoj (Tablica 3.) [16].

Tablica 3: Pokazatelji ocjenjivanja kakvoće zraka [16].

Z 1	Kakvoća zraka u urbanim područjima; broj dana u godini s prekoračenjem graničnih vrijednosti za onečišćujuće tvari SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ i O ₃
Z 2	Kakvoća zraka u ruralnim područjima; broj dana u godini s prekoračenjem graničnih vrijednosti za onečišćujuće tvari SO ₂ , NO ₂ i O ₃
Z 3	Kakvoća zraka u urbanim područjima; trend onečišćenja zraka u urbanim područjima za onečišćujuće tvari SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ i O ₃
Z 4	Kakvoća zraka u urbanim područjima; trend broja višestrukih, uzastopnih prekoračenja graničnih vrijednosti za onečišćujuće tvari SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ i O ₃
Z 5	Kakvoća zraka u urbanim područjima; broj dana u godini s čistim ili neznatno onečišćenim zrakom, umjereno onečišćenim zrakom i prekomjerno onečišćenim zrakom za onečišćujuće tvari SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ i O ₃
Z 6	Kakvoća zraka u ruralnim područjima; broj dana u godini s čistim ili neznatno onečišćenim zrakom, umjereno onečišćenim zrakom i prekomjerno onečišćenim zrakom za onečišćujuće tvari SO ₂ , NO ₂ i O ₃
Z 7	Kakvoća zraka u urbanim područjima; srednji godišnji broj dana s prekoračenjem graničnih vrijednosti za onečišćujuće tvari SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ i O ₃
Z 8	Kakvoća zraka u ruralnim područjima; srednji godišnji broj dana s prekoračenjem graničnih vrijednosti za onečišćujuće tvari SO ₂ , NO ₂ i O ₃
Z 9	Taloženje oksidiranih (NO _x) i reduciranih (NH _x) dušikovih spojeva i taloženje oksidiranih sumpornih spojeva (SO _x)
Z 10	Emisija zakiseljavajućih tvari
Z 11	Emisija prekursora ozona
Z 12	Emisija primarnih čestica i sekundarnih prekursora čestica
Z 13	Izloženost ekosustava zakiseljavanju, eutrofikaciji i prizemnom ozonu
Z 14	Emisija dušikovih oksida – NO _x
Z 15	Emisija ne-metanskih hlapivih organskih spojeva – NMVOC
Z 16	Emisija sumporovog dioksida - SO ₂
Z 17	Emisija čestica
Z 18	Emisija amonijaka - NH ₃
Z 19	Emisija ugljikovog monoksida – CO
Z 20	Emisija postojanih organskih onečišćujućih tvari – POO
Z 21	Indeks emisija teških metala

4.3. Kategorije kakvoće zraka

Kao što je već rečeno, procjena razine onečišćenosti zraka provodi se na cijelom teritoriju Republike Hrvatske, putem metode matematičkog modeliranja te drugih prihvaćenih metoda. Prema razinama onečišćenosti, vezno za propisane granične vrijednosti (GV), tolerantne vrijednosti (TV), ciljne te dugoročne ciljeve za ozon se utvrđuju ove kategorije kakvoće zraka:

- Kategorija prve kakvoće zraka - nema prekoračenja graničnih vrijednosti kao ni dugoročnih ciljeva - zrak je čist ili neznatno onečišćen.
- Kategorija druge kakvoće zraka - nema prekoračenja tolerantnih i ciljnih vrijednosti, prekoračene su granične vrijednosti i dugoročni ciljevi za ozon - zrak je umjereno onečišćen [17].

Podatci o onečišćenju okoliša prikupljaju se u Registru onečišćavanja okoliša (ROO). ROO je izrađen sukladno Pravilniku o Registru onečišćavanja okoliša i definira se kao jedinstveni registar o ispuštanju i/ili prijenosu onečišćujućih tvari u sastavnice okoliša: zrak, vodu, more, tlo te proizvodnji, skupljanju i obradi otpada. Ovim su pravilnikom jasno definirani obvezni sadržaj i način vođenja ROO, metodologije i rokovi prikupljanja i dostavljanja podataka o ispuštanju, prijenos onečišćujućih tvari u okoliš, podatci o otpadu, tvrtki, postrojenju, onečišćivaču, organizacijskoj jedinici u sustavu onečišćivača, obveznicima dostave podataka, način provjere, osiguranje kvalitete podataka, rok i način obavještanja javnosti i obavljanje stručnih poslova vođenja ROO [17].

Navedeni podaci se dobivaju iz različitih industrijskih i neindustrijskih djelatnosti, što pozitivno utječe na raznovrsnost ovih podataka, pa se ROO smatra izuzetno korisnim izvorom podataka. Štoviše, ROO je bitan državnim tijelima i javnim ustanovama jer pruža jasan uvid u realno stanje u okolišu pa samim time pruža važnu pomoć pri donošenju odluka oko zaštite okoliša. Objava ovih podataka preko publikacija, izvješća i internet stranice uvelike pridonosi informiranju javnosti [17].

Podacima baze ROO može se pristupiti na sljedeće načine:

- izravnim pristupom putem internet preglednika ROO
- neizravnim pristupom putem godišnjih Izvješća o podacima ROO [17].

4.4. Indeks kakvoće zraka

Indeks kakvoće zraka (AQI) je relativna mjera onečišćenja zraka. Indeks kakvoće zraka ima vrijednosti u rasponu od 0 (vrlo niska) do > 100 (vrlo visoka). Ovaj se indeks sastoji od pet različitih razina:

- crvena boja (vrlo visoko onečišćenje)
- narančasta (visoko onečišćenje)

- žuta (srednje onečišćenje)
- svijetlo zelena (nisko onečišćenje)
- tamno zelena (vrlo nisko onečišćenje) [17].

Niže vrijednosti indeksa označavaju čišći zrak. Vrijednost indeksa ovisi o koncentracijama sljedećih šest onečišćujućih tvari: dušikovog dioksida (NO_2), sumporovog dioksida (SO_2), ozona (O_3), lebdećih čestica PM_{10} i $\text{PM}_{2,5}$ i ugljikovog monoksida (CO) što je u skladu sa Europskom Common Air Quality Index-om (CAQI). Za svaku onečišćujuću tvar indeks se računa na temelju izmjerene koncentracije. Ukupni indeks po satu je najveći indeks određene onečišćujuće tvari u datom trenutku, na pojedinoj postaji za mjerenje kakvoće zraka. U tablici 4 prikazane su koncentracije onečišćujućih tvari za određivanje indeksa kakvoće zraka po CAQI metodi.

Tablica 4. Tablica za određivanje indeksa kakvoće zraka po CAQI metodi [17].

Onečišćenje	Raspon vrijed. indeksa	Koncentracije onečišćujućih tvari ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
		NO_2	PM_{10}		O_3	$\text{PM}_{2,5}$		CO	SO_2
		1 h	1 h	24 h	1 h	1 h	24 h	8 h	1 h
Vrlo visoko	> 100	> 400	> 180	> 100	> 240	> 110	> 60	> 20000	> 500
Visoko	75-100	201-400	91-180	51-100	181-240	56-110	31-60	10001-20000	351-500
Srednje	50-75	101-200	51-90	31-50	121-180	31-55	21-30	7501-10000	101-350
Nisko	25-50	51-100	26-50	16-30	61-120	16-30	11-20	5001-7500	51-100
Vrlo nisko	0-25	0-50	0-25	0-15	0-60	0-15	0-10	0-5000	0-50

5. OPĆENITO O GRADU ZABOKU

Grad Zabok nalazi se na jugozapadnom rubu Krapinsko-zagorske županije i udaljen je oko 30 kilometara od Zagreba. Na površini od 34,41 km² nalazi se 16 naselja s 9.365 stanovnika u 2.931 domaćinstva. Grad Zabok ima važan strateški i geoprometni položaj u Krapinsko-zagorskoj županiji, što mu daje značajne razvojne prednosti u odnosu na ostale jedinice naše lokalne samouprave. Važni državni prometni koridori prolaze kroz područje grada Zaboka, dolinom rijeke Krapine, koja dijeli grad na gotovo dva jednaka dijela [18].

1857. godine Zabok je bio mjesto sa samo 281 stanovnikom. Tek se 1910. godine broj stanovnika popeo na 600, a nakon Drugog svjetskog rata, 1948. godine, kada je započela intenzivna industrijalizacija, broj stanovnika prvi je put premašio brojku od 1000 stanovnika. Prema rastu stanovništva između 1890. i 1910. godine, lako se može zaključiti da je u ovom vremenskom razdoblju došlo do ubrzanog rasta i napretka naselja. U tom je razdoblju ljevkast i nastavak ispred crkve počeo poprimati oblik trga [19].

Nakon izgradnje željezničke pruge kroz Zagorje 1886. godine, u Zaboku je formirano još jedno prostorno žarište pored željezničke stanice, gdje se nalazilo sajmište. Prostor na kojem se nalaze željeznička i autobusna stanica i na današnjem području grada Zaboka središnje je gradsko područje. U međuratnom razdoblju uz kolodvor je izgrađena tvornica tekstila, što će biti početak industrijalizacije Zaboka, intenzivirane u razdoblju nakon rata [19].

Autocesta D-1 / E-59 (Zagreb - Macelj), koja je dio međudržavnog Pyhrnskog koridora, prolazi kroz grad Zabok. Cesta D-24 za istočne dijelove Županije - Bedekovčinu, Zlatar Bistricu i dalje - vodi rubnim dijelovima grada i dolinom rijeke Krapine, odvajajući se od čvora Mokrice i autoceste D-1. Od spomenutog čvora prolazi dio važne državne ceste D-205 (Gubaševo - Kumrovec) u dolini potoka Horvatska. Ova

je cesta od velike važnosti za gradski prometni sustav, a s juga olakšava pristup naselju Zabok [18].

Osim cesta, na razvoj Zaboka presudno su utjecale i željeznički pravci, što će dati važan zamah razvoju Zaboka u budućnosti. Danas je Zabok drugo najveće prometno središte u Hrvatskoj. Stoga je najvažnije željezničko križište u Županiji, iz četiri smjera: Zagreb, Varaždin, Đurmanec i Gornja Stubica. Kroz njega svakodnevno prolazi 96 (90 putničkih, 6 teretnih i 4 izvanredna vlaka) [18].

Oko 217 tvrtki i 256 obrtnika ima sjedište u Zaboku. Zabok godinama gradi svoju poslovnu zonu za prihvaćanje nove industrije, nazvanu "Gospodarska zona grada Zaboka", površine 170 ha, u kojoj se danas nalaze 32 poslovna subjekta, a i dalje postoji veliki interes stranih i domaćih investitora za izgradnju kapaciteta u postojećoj zoni, čak i u zoni njezina širenja [18].

6. ZAKONSKI OKVIR ZA IZRADU PROGRAMA KONTROLE ONEČIŠĆENJA ZRAKA

„Zakonska osnova za izradu Programa kontrole onečišćenja zraka (u nastavku Program) je Zakon o zaštiti okoliša (Narodne novine, broj 80/13, 153/13, 78/15 i 12/18), Zakon o zaštiti zraka (Narodne novine, broj 130/11, 47/14 i 61/17) i Uredba NEC“ [14], [20]. Republika Hrvatska potpisala je niz međunarodnih ugovora, odnosno konvencija i protokola, uključujući ugovore i protokole koji se odnose na onečišćenje atmosfere. Konvencija o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka iz 1979. (LRTAP Konvencija) sporazum je kojim se države obvezuju boriti se protiv onečišćenja zraka.

Protokoli su najvažniji pravni instrumenti u vezi s pitanjem smanjenja razine onečišćenja zraka. Konvencija LRTAP slijedi osam protokola koji određuju potrebne mjere za smanjenje onečišćenja zraka, kao i onečišćujućih tvari, točnije: dušikovih oksida (NO_x), sumporovog dioksida (SO), hlapljivih organskih spojeva (VOC), postojanih organskih zagađivača (POPs) i teških metala (TM). Tu je obavezu prihvatila Republika Hrvatska kao članica Konvencije o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka iz 1979. (Konvencija LRTAP) (Narodne novine - Međunarodni ugovori, br. 12/93) i Protokola o suzbijanju protiv zakiseljavanja, eutrofikacije i prizemnog ozona, takozvani " Gothenburški Protokol " (Narodne novine - Međunarodni ugovori, br. 07/08) [20].

Gothenburški Protokol uzima u razmatranje različite učinke pojedinih onečišćujućih tvari, s ciljem sprječavanja ili minimaliziranja prekoračenja kritičnih opterećenja zakiseljavanja, kao i opterećivanja hranjivim dušikom te kritične razine prizemnog ozona na zdravlje ljudi i biljnog svijeta. Gothenburški Protokol jasno definira nacionalne emisijske kvote, a svaka zemlja članica ima obvezu održavati ispod definirane vrijednosti za sljedeće onečišćujuće tvari: SO₂, NO_x, NH₃ i VOC. Ovaj je Protokol prenesen putem Direktive 2001/80/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2001., te Direktivom 2001/81/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o gornjim granicama emisije članica za određene onečišćujuće tvari (stara NEC Direktiva).

Direktivom NEC-a propisane su obveze smanjivanja određenih onečišćujućih tvari u zraku za VOC-eve, PM_{2,5}, NH₃, NO_x i SO₂, što se odnosi na period od 2020. do 2029. godine, ali i nakon 2030. godine u određenom postotnom (%) smanjenju u odnosu na količine iz 2005. godine, što predstavlja godinu preko koje se prati proces ispunjavanja preuzetih obveza. Sljedeći je zahtjev da do 2025. godini bude jasno vidljivo linearno smanjenje emisija, uz postojanje nekih izuzeća. Treba napomenuti da su novom Direktivom NEC-a preuzete i obveze koje su predložene u dopunjenom i izmijenjenom Protokolu [21].

Obveze smanjenja emisija i emisijskih kvota onečišćujućih tvari u državi članici propisane su Uredbom NEC. Ovom se Uredbom propisuju nacionalne obveze smanjenja emisija za određeno definirano razdoblje na teritoriju Republike Hrvatske, a metodama se izračunavaju emisije za definirane onečišćivače zraka koji uzrokuju razne nepovoljne i štetne učinke eutrofikacije, zakiseljavanja i fotokemijskog onečišćenja [21].

Ključni cilj Uredbe NEC je postizanje ograničenja antropogenih emisija određenih onečišćujućih tvari u zraku, s ciljem jasnog napretka u porastu takve razine kvalitete zraka, koja ne bi dovodila do osjetnijih negativnih učinaka i posljedica na zdravlje ljudi i na okoliš [21].

Uredbom NEC ujedno se dodatno doprinosi:

- „ciljevima kvalitete zraka utvrđenim pozitivnim nacionalnim propisom kojim se uređuju razine onečišćujućih tvari u zraku i napretku u smjeru dugoročnog cilja EU za postizanje kvalitete zraka u skladu sa smjernicama o kvaliteti zraka koje je objavila Svjetska zdravstvena organizacija.“

- „ciljevima EU u području bioraznolikosti i ekosustava u skladu sa Sedmim programom djelovanja za okoliš.“

- „jačanju sinergija između politika EU koje se odnose na kvalitetu zraka i drugih relevantnih politika EU, osobito klimatskih i energetske politike.“

Ukupne nacionalne emisijske kvote koje vrijede do 2020.g. su sljedeće:

- sumporov dioksid (SO₂): 70 kt
- dušikovi oksidi (NO_x): 87 kt
- nemetanski hlapivi organski spojevi (NMVOC): 90 kt
- amonijak (NH₃): 30 kt [20].

Tablica 5: Emisijske kvote za razdoblje do 2020. g. prema članku 5. Uredbe NEC [21].

Onečišćujuća tvar	Emisijska kvota za 2010. g. i u godinama nakon nje
sumporov dioksid (SO ₂)	70 kt
dušikovi oksidi (NO _x)	87 kt
nemetanski hlapljivi organski spojevi (NMVOC)	90 kt
amonijak (NH ₃)	30 kt

7. UTJECAJ METEOROLOŠKIH UVJETA NA KVALITETU ZRAKA

Nepobitna je činjenica da meteorološki uvjeti igraju vrlo važnu ulogu kada govorimo o koncentraciji atmosferskog onečišćenja. Sve od vremena izuma vatre ljudi koriste atmosferu kao odlično sredstvo da bi se otpustio dim. Atmosfera može tolerirati popriličnu razinu onečišćenja koju onda procesima disperzije razrjeđuje i spušta sve do razine koja odgovara pozadinskoj atmosferskoj koncentraciji.

Ipak, ne smije se zaboraviti da i atmosfera ima određena ograničenja. Određeni negativni meteorološki uvjeti pospješuju nakupljanje velikih količina onečišćenja koji onda rapidno snižavaju kvalitetu okoliša i mogu predstavljati ozbiljnu prijetnju zdravlju ljudi. Iz tog je razloga za izradu točnih prognoza kakvoće zraka vrlo bitno poznavanje kako vremenski uvjeti utječu na koncentraciju atmosferskih polutanata. Razina kvalitete zraka ovisi o vremenskim uvjetima, u rasponu od velikih anticiklonalnih polja, koje mogu doseći nekoliko tisuća kilometara, do lokalnih strujanja oko stambenih zgrada [22].

Tablica 6. Meteorološke prostorne skale [22].

Prostorna skala	Veličina područja (km)	Vremenski period	Meteorološki fenomeni
MAKROSKALA			
MEZO-alfa (sinoptička, regionalna)	> 200	tjedni-mjesečni	atmosferska cirkulacija vremenske fronte polja visokog i niskog tlaka kopneni i morski povjetarci urbani toplinski otoci vjetrovi u dolini cikloni ponašanje perjanice dima optjecanje i vrtloženje oko zgrada turbulentna strujanja
MEZO-beta (regionalna)	20-200	satni-dnevni	
MEZO-gama (regionalna, lokalna)	2-20	satni	
MIKROSKALA (lokalna, urbana)	< 2	minutni-satni	

Antropogeni i biogeni izvori onečišćenja su u većini slučajeva locirani u niskom sloju koji je blizu zemljine površine. Kod izvora onečišćenja emitirani plinovi i čestice imaju prilično visoke koncentracije pa zbog toga direktno utječu na rapidnu degradaciju kvalitete okoliša uz izvor onečišćenja. Dok je difuzija proces koji prilično brzo raspršuje onečišćenje u neposrednu okolicu samog izvora, disperzija je proces koji se uglavnom nalazi u nižim slojevima troposfere, i to jakim pod utjecajem mikroskalnih i mezoskalnih meteoroloških fenomena, te topografije terena. Makroskalna kretanja zraka su uzročnik disperzije polutanata s dužim rezidentnim vremenom u troposferi poput halogenih spojeva (CFC) i ugljičnog dioksida (CO_2) [22].

Ključni meteorološki utjecaji na regionalnu kakvoću zraka su sljedeći: horizontalne advekcije vjetrom, sezonske i dnevne varijacije sunčevog zračenja, dnevne recirkulacije nastale uz utjecaj lokalnih polja tlaka, vertikalno miješanje koja se odvija unutar atmosferskog graničnog sloja, te promjena temperature i vlage zraka [22].

8. ANALIZA POTENCIJALNIH IZVORA ONEČIŠĆENJA ZRAKA

Onečišćenje zraka ima vrlo štetne posljedice, kako zdravlju ljudi, tako i na onečišćenje okoliša. Tijekom posljednjih 20-30 godina u Europi su se poprilično smanjile emisije raznovrsnih onečišćivača zraka, što je u velikoj mjeri podiglo razinu kvalitete zraka. No, s druge strane, koncentracije onečišćivača zraka su i dalje na previsokoj razini i problemi vezani za kvalitetu zraka nisu posve riješeni. Relativno veliki udio europskog stanovništva živi na područjima, gdje se gotovo nikada ne postiže zadovoljavajući standard kvalitete zraka. To se posebice odnosi na urbane centre.

Najozbiljnije ugroze zdravlju predstavljaju onečišćenje ozonom, dušičnim dioksidom, ali u velikoj mjeri i lebdećim česticama. Bez obzira na trend smanjivanja razine onečišćenja, i dalje je nužno raditi na smanjivanju razine onečišćenja zraka. Treba istaknuti da je onečišćenje zraka ozbiljan problem ne samo na lokalnoj razini nego i na globalnoj. Onečišćivači zraka koji su ispušteni u nekoj regiji mogu atmosferom s lakoćom stići u drugu regiju ili zemlju, pa mogu i tamo utjecati na pad kvalitete zraka [23].

Za najopasnije onečišćivače drže se lebdeće čestice i prizemni ozon. Čvrsto se vjeruje da one svakako imaju najtoksičniji utjecaj na ljudsko zdravlje. Izloženost ovim onečišćivačima može imati kobne posljedice za ljude, ovisno o koncentraciji i koliko je sama izloženost trajala. Posljedice mogu varirati od oštećenja respiratornog sustava pa sve do preuranjene smrti. U današnje je vrijeme barem 40% gradskog stanovništva vjerojatno širom Europe izloženo vanjskim koncentracijama krupnih lebdećih čestica (PM_{10}) koje premašuju ograničenja Europske unije, kojima se štiti ljudsko zdravlje [23].

Vrlo je vjerojatno da je gotovo 50% gradskog stanovništva bilo izloženo količini ozona koja je iznad ciljne vrijednosti Europske unije. Stručnjaci smatraju da sitne lebdeće čestice ($PM_{2,5}$) u zraku u prosjeku smanjuju očekivano trajanje života u Europskoj uniji za preko osam mjeseci, pa je neosporno da je onečišćenje zraka izuzetno štetno za zdravlje ljudi. Treba imati na umu da u najonečišćenijim gradovima i dijelovima Europe ove

čestice smanjuju očekivano trajanje života za više od dvije godine. Nužno je da članice EU čim prije usklade vlastito zakonodavstvo sa standardima kvalitete zraka Europske unije i da reduciraju emisije onečišćivača zraka.

Može se ustvrditi da kvaliteta zraka ne raste automatski nakon što dođe pada broja antropogenih emisija onečišćivača zraka, dakle onih onečišćenja koje uzrokuju ljudi. To se događa iz sljedećih razloga:

- nije dokazan izravan linearan odnos između smanjenja broja emisija i koncentracija onečišćivača u zraku;
- povećava se prijenos onečišćivača zraka u Europu iz drugih zemalja na sjevernoj polutki [23].

Iz tog je razloga nužno i dalje ulagati ozbiljan napor za smanjenje emisija da bi se poboljšala razina zaštite ljudskog zdravlja, ali i okoliša u Europi.

9. USPOREDBA KVALITETE ZRAKA U ZABOKU I KOPRIVNICI

Analiza kvalitete zraka na području Grada Zaboka i Grada Koprivnice provodi se u suradnji sa hrvatskom IT tvrtkom Smart Sense u sklopu projekta Smart City sufinanciran EU fondovima. Platforma smart senzora koja nadzire razinu onečišćivača u zraku dolazi u vrlo prilagodljivoj kutiji koja može prijaviti onečišćenje zraka putem WiFi-a, telekomunikacijskog signala (GPRS mreže) te na isti način biti konfigurirana i održavana.



Slika 3. Uređaj za mjerenje kvalitete zraka, Smart AirQ [24].

Smart AirQ uređaj mjeri parametre u zraku svakih sat vremena te ih šalje u bazu podataka kod operatera. Na Tablici 5 prikazana je baza podataka za 01.01.2020. od 00:00h do 23:00h. Ovom analizom mjerena je razina najzastupljenijih onečišćivača u zraku kao što su : NO_2 , O_3 , CO , SO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ i NO .

Podatci mjerenja za diplomski rad provodila su se od 01.01.2020. do 01.05.2020. na dvije lokacije u Zaboku (trg Ksavera Šandora Đalskog i Opća bolnica Zabok) te jedna u Koprivnici (ulica Hrvatske državnosti).

Tablica 6: Prikaz baze podataka za 01.01.2020. godinu

Datoteka		Polazno	Umetanje	Raspored stranice	Formule	Podaci	Pregled	Prikaz	Pomoć	Zajedničko korištenje										Komentari	
B5																					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
1	Date	caqi-background	T	RH	P	NO2	NO2 AQI	O3	O3 AQI	CO	CO AQI	SO2	SO2 AQI	PM10	PM10 AQI	PM2.5	PM2.5 AQI	PM1	NO		
2	1.1.2020 0:00	87	-0,4	77,4	102	35,7	18	0	0	1410	7	0	0	96,5	77	81,8	87	51,6	107,4		
3	1.1.2020 1:00	70	-1	77,6	102	32,2	16	0,2	0	1500	7	0	0	60,6	57	49,9	70	39,1	89,7		
4	1.1.2020 2:00	68	-1,2	78	102	32,8	16	0,8	0	1594	8	0	0	55,8	54	47,5	68	37,4	95,4		
5	1.1.2020 3:00	76	-1,7	78,7	102	29,1	15	1,5	1	1657	8	0	0	67,6	61	57,9	76	44	83,3		
6	1.1.2020 4:00	73	-2,3	79,2	102	27,1	14	1,9	1	1705	9	0	0	59,6	56	52,7	73	41	84,4		
7	1.1.2020 5:00	67	-2,8	79,9	102	23,8	12	2,3	1	1698	8	0	0	52,2	51	46,5	67	36,8	64,6		
8	1.1.2020 6:00	67	-3	80,1	102	23,9	12	2,1	1	1715	9	0	0	51,8	51	46,5	67	37	67,1		
9	1.1.2020 7:00	67	-3,1	80,1	102	21,8	11	2,4	1	1704	9	0	0	51,8	51	47,4	67	37,6	50,2		
10	1.1.2020 8:00	67	-2,8	79	102	26	13	2,1	1	1643	8	0	0	51,4	51	46,7	67	37,1	54,1		
11	1.1.2020 9:00	65	-1,2	77,3	102	32,7	16	3,4	1	1581	8	0	0	50,1	50	45,1	65	36,1	41,2		
12	1.1.2020 10:00	60	1,1	75,3	102	43,3	22	6,5	3	1520	8	0,2	0	50,3	50	40,2	60	31,8	30,5		
13	1.1.2020 11:00	48	5,4	64,7	102	55,4	28	14,2	6	1444	7	0	0	33,3	33	28,9	48	23,8	33,6		
14	1.1.2020 12:00	32	8,6	55,6	102	32,7	16	27,9	12	1324	7	0	0	23,7	24	19,3	32	15,7	19,7		
15	1.1.2020 13:00	25	8,6	55,2	102	19,5	10	39,5	16	1194	6	0	0	18,8	19	15,2	25	11,6	14,9		
16	1.1.2020 14:00	20	7,8	56,4	102	31,5	16	41,8	17	1052	5	0	0	15,2	15	11,8	20	8,4	9,4		
17	1.1.2020 15:00	20	7,1	59	102	40,5	20	28,1	12	927,7	5	0	0	16,4	16	11,8	20	8,2	15,8		
18	1.1.2020 16:00	31	4,7	68,4	102	54,1	27	3,4	1	862,3	4	0	0	24,9	25	18,9	31	14,2	26,5		
19	1.1.2020 17:00	47	2,9	74,2	102	53,6	27	0,7	0	826,2	4	0	0	34,2	34	28,1	47	21,7	52,7		
20	1.1.2020 18:00	42	1,8	77,8	102	52,2	26	0,6	0	791,5	4	0	0	30,8	31	25,1	42	19,3	68,6		
21	1.1.2020 19:00	50	0,9	79,7	102	46,1	23	0,8	0	793	4	0	0	36,5	37	30	50	22,8	82		
22	1.1.2020 20:00	55	0,8	80,4	102	47,1	24	1,1	0	863,6	4	0	0	41,1	41	35,3	55	27,4	57,3		
23	1.1.2020 21:00	64	0	80,8	102	41,2	21	0,8	0	987,5	5	0	0	49,6	50	43,8	64	32,9	78,1		

Koristeći bazu podataka izrađeni su grafovi prosječnih koncentracija mjerenih parametara.

Lokacija:

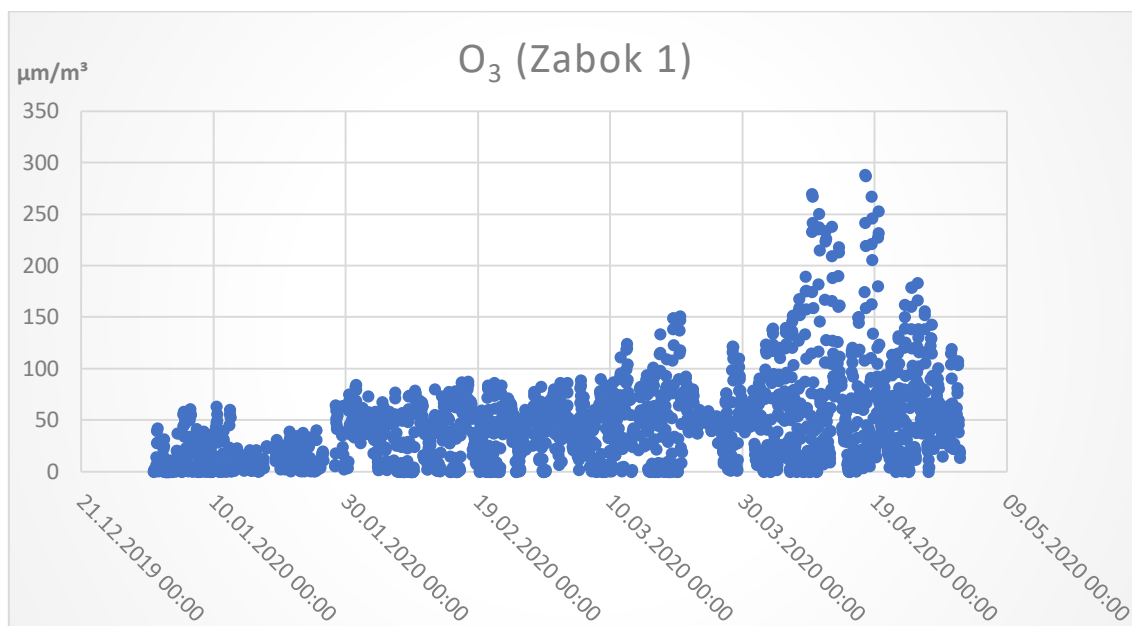
Zabok (trg Ksavera Šandora Đalskog)

Zabok 2 (Opća bolnica Zabok)

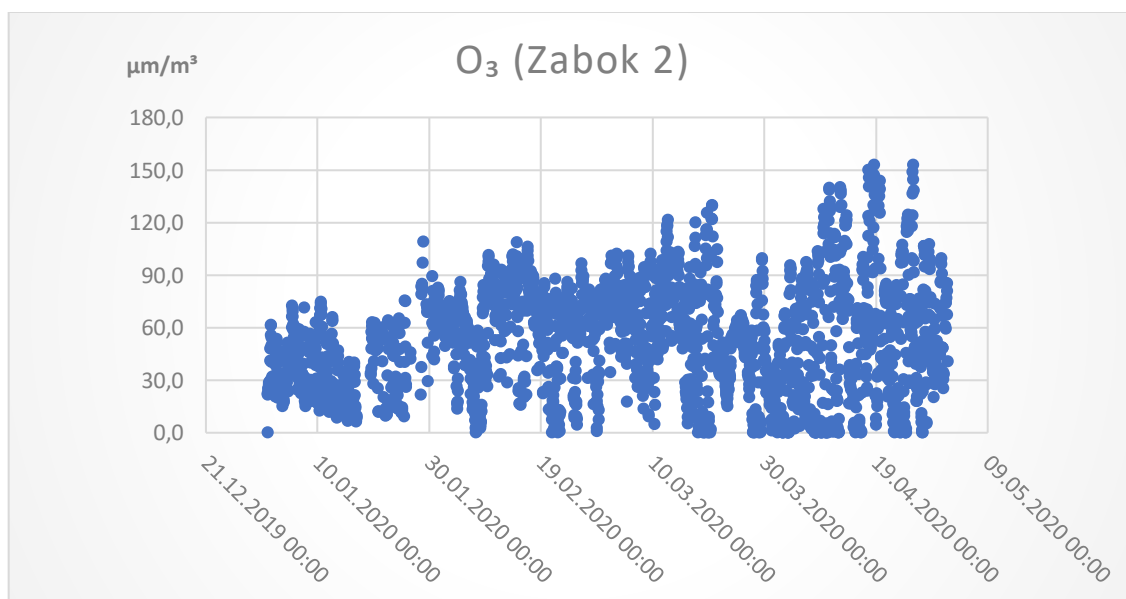
Koprivnica (ulica Hrvatske državnosti)

9.1. Koncentracije onečišćivala u Gradu Zaboku

Na slikama 4 i 5 vidimo da se koncentracija O_3 povećava sa toplijim vremenom. Sunčevo zračenje zajedno sa dušičnim oksidima i hlapljivim organskim spojevima povećava koncentraciju ozona. 17.04.2020. u 15:00h na lokaciji Zabok 1 izmjeren je maksimum, $288 \mu\text{m}/\text{m}^3$. 18.04.2020. u 15:00h te 25.4.2020. u 14:00h na lokaciji Zabok 2 izmjereno je $153,1 \mu\text{m}/\text{m}^3$.

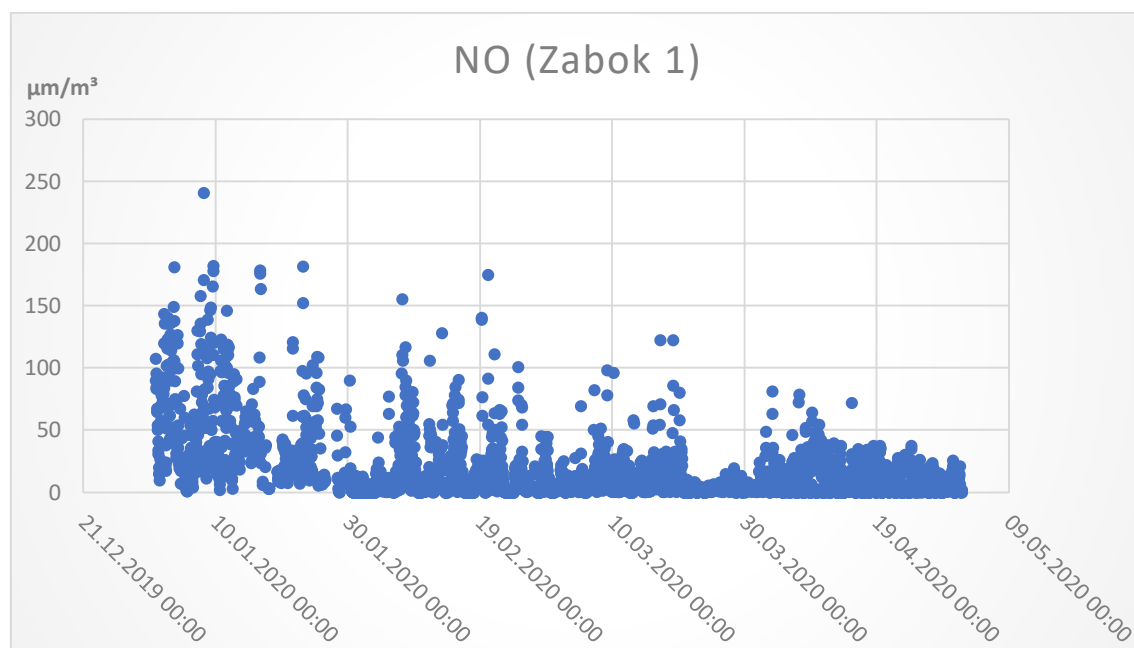


Slika 4. Grafički prikaz koncentracije O_3 na lokaciji Zabok 1.

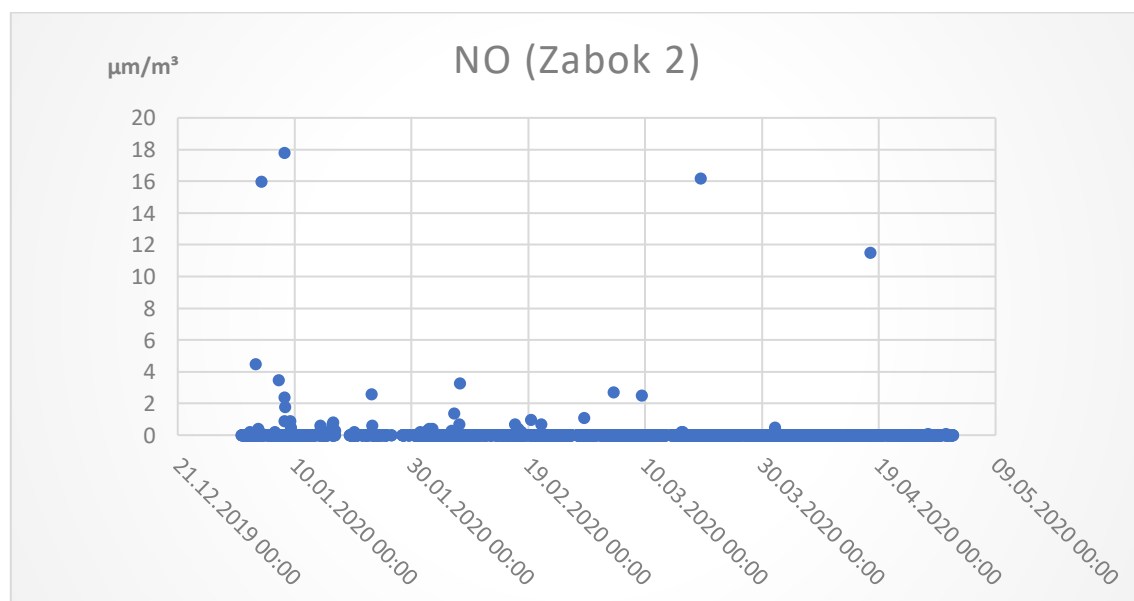


Slika 5. Grafički prikaz koncentracije O_3 na lokaciji Zabok 2.

Koncentracija dušikovog monoksida na lokacijama Zabok 1 i 2 razlikuje se u velikom rasponu zbog same sredine u kojoj je postavljen mjerni uređaj. Zabok 1 nalazi se uz glavnu ulicu koja prolazi centrom grada, a Zabok 2 nalazi se u predgrađu grada na brežuljku okružen šumom gdje nije toliko prometno. Maksimum koncentracije NO zabilježen je $240,9 \mu\text{m}^3$ 08.01.2020. u 08:00h na lokaciji Zabok 1, $17,8 \mu\text{m}^3$ 08.01.2020. u 08:00h na lokaciji Zabok 2.

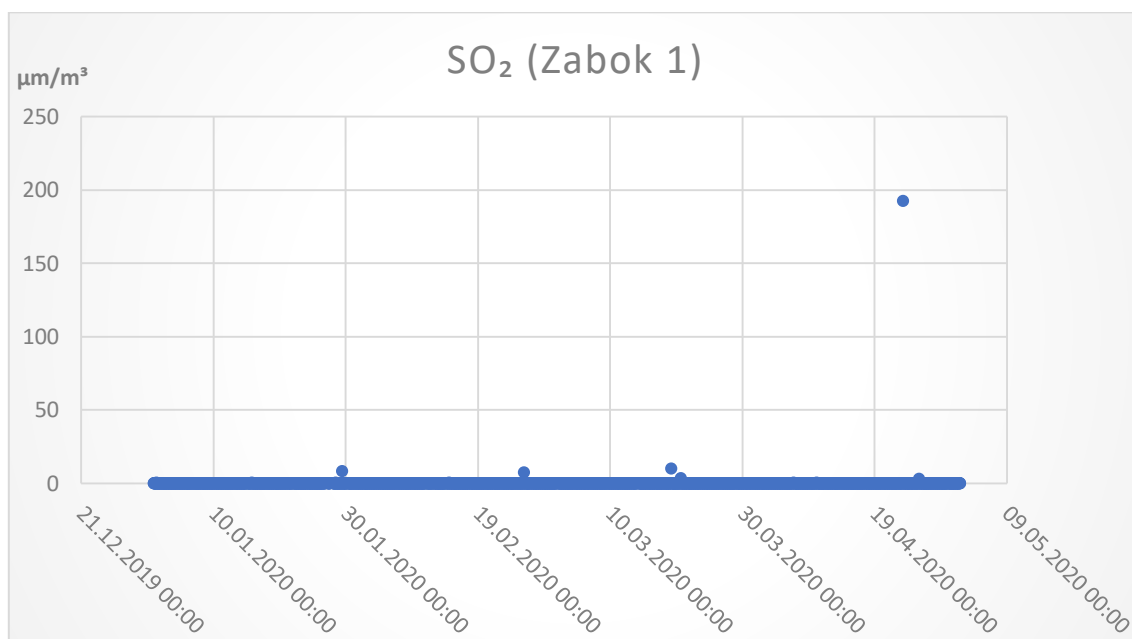


Slika 6. Grafički prikaz koncentracije NO na lokaciji Zabok 1.

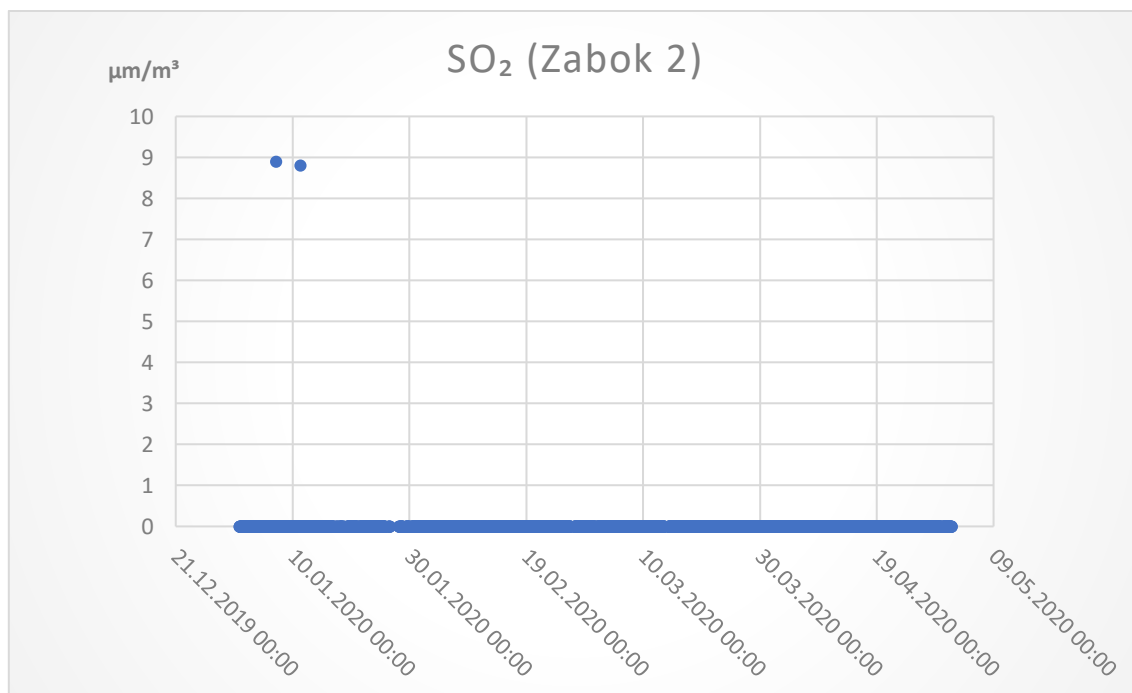


Slika 7. Grafički prikaz koncentracije NO na lokaciji Zabok 2.

Sumporov dioksid na lokacijama mjerenja zanemarive je koncentracije iako na lokaciji Zabok 1, 23.4.2020 u 9:00h izmjereno je 192,7 $\mu\text{m}/\text{m}^3$. Indeks kvalitete zraka po CAQI metodi svrstava koncentraciju SO_2 u srednje onečišćenje za taj dan. Na lokaciji Zabok 2 maksimalno je izmjereno 8,9 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ 07.01.2020 u 06:00h.

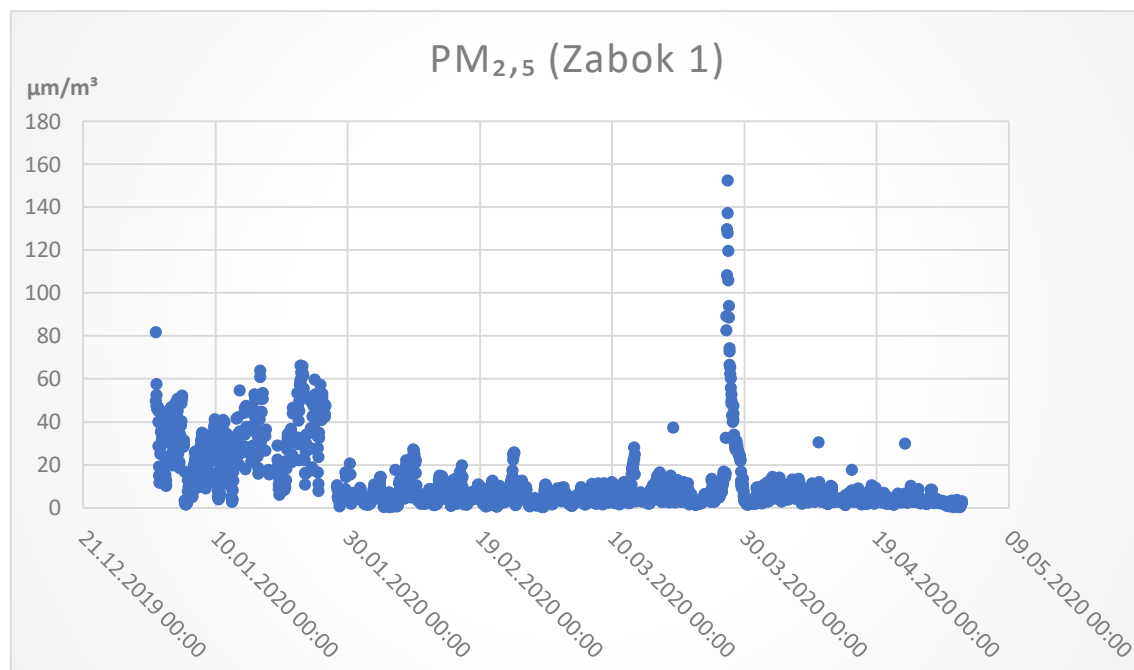


Slika 8. Grafički prikaz koncentracije SO_2 na lokaciji Zabok 1.

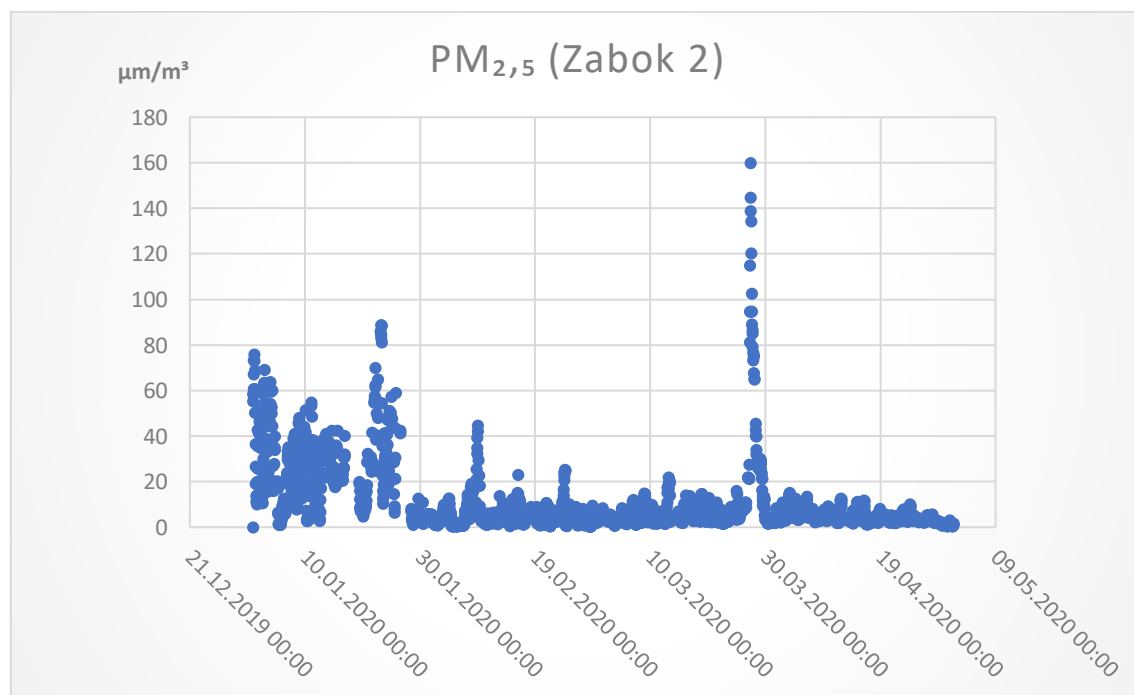


Slika 9. Grafički prikaz koncentracije SO_2 na lokaciji Zabok 2.

Na slici 10 i 11 koncentracije $PM_{2,5}$ čestica povišene su u mjesecu Siječnju te jedan visoki skok 27.03.2020. u 11:00h sa koncentracijom $152,7 \mu m/m^3$ na lokaciji Zabok 1 i $159,9 \mu m/m^3$ na lokaciji Zabok 2 u isto vrijeme.



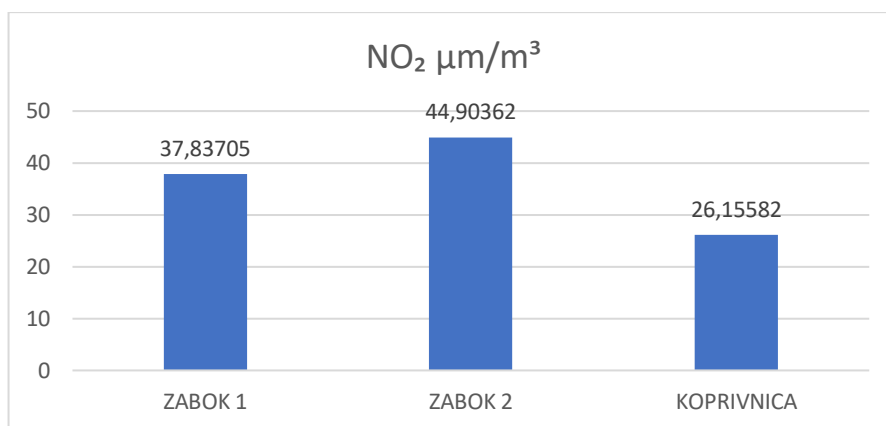
Slika 10. Grafički prikaz koncentracije $PM_{2,5}$ na lokaciji Zabok 1.



Slika 11. Grafički prikaz koncentracije $PM_{2,5}$ na lokaciji Zabok 2.

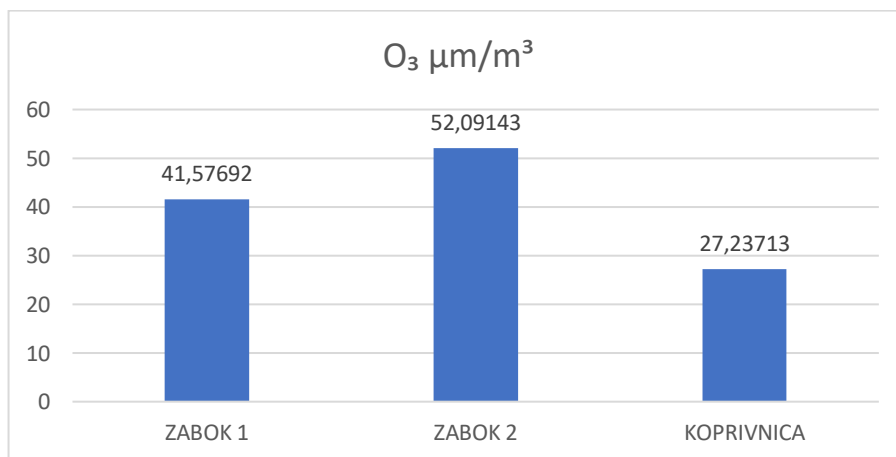
9.2. Usporedba Grada Zaboka i Grada Koprivnice

Usporedbom razine NO_2 u Zaboku i Koprivnici vidimo razlike u smislu da je količina NO_2 gotovo dvostruko veća u Zaboku. Iako po indeksu kakvoće zraka po CAQI metodi spada u kategoriju vrlo niskog onečišćenja. Posljedica veće koncentracije NO_2 u Zaboku dolazi zbog blizine industrijskih procesa lokaciji mjerenja.



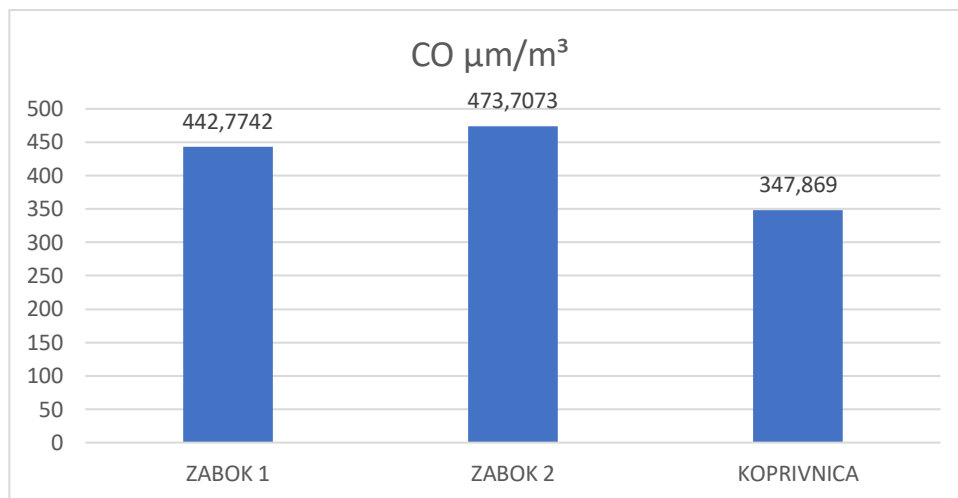
Slika 12. Grafički prikaz prosječne koncentracije NO_2 u zraku za razdoblje od 1.1.2020. do 1.5.2020.

Razina ozona kao i kod NO_2 je gotovo dvostruko veća u Zaboku nego u Koprivnici. Moguća posljedica veće koncentracije u Zaboku su procesi sterilizacije u bolnici na lokaciji Zabok 2 i blizina tvornice papira na lokaciji Zabok 1. Spada u kategoriju vrlo niskog onečišćenja.



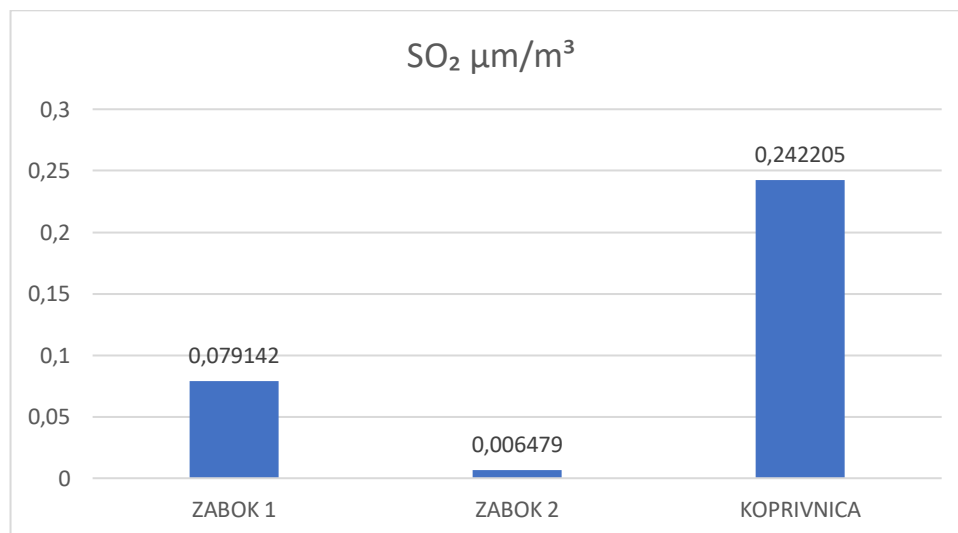
Slika 13.. Grafički prikaz prosječne koncentracije O_3 u zraku za razdoblje od 1.1.2020. do 1.5.2020.

Razina ugljičnog monoksida spada u kategoriju vrlo niskog onečišćenja prema indeksu kakvoće zraka prema CAQI metodi za oba grada.



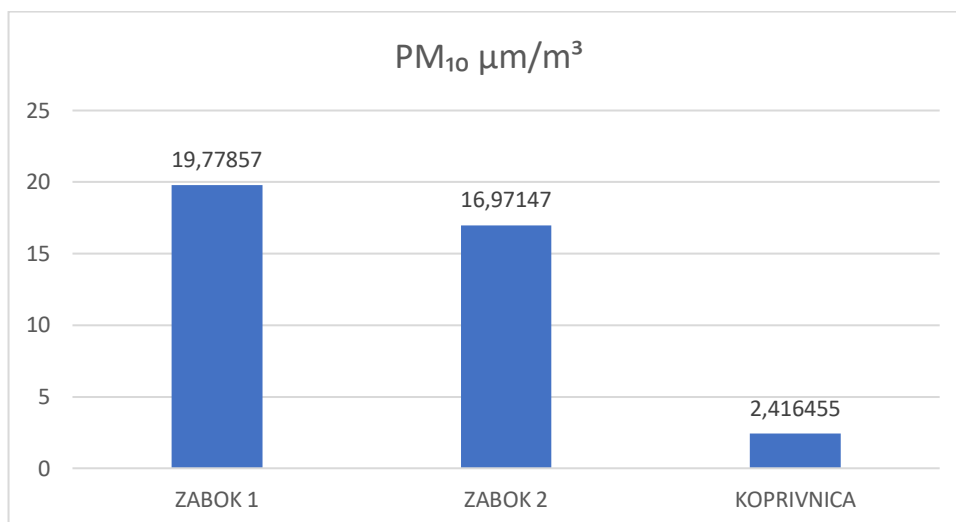
Slika 14. Grafički prikaz prosječne koncentracije CO u zraku za razdoblje od 1.1.2020. do 1.5.2020.

Koncentracija SO₂ u zraku zanemariva je s obzirom na ostale onečišćivače.



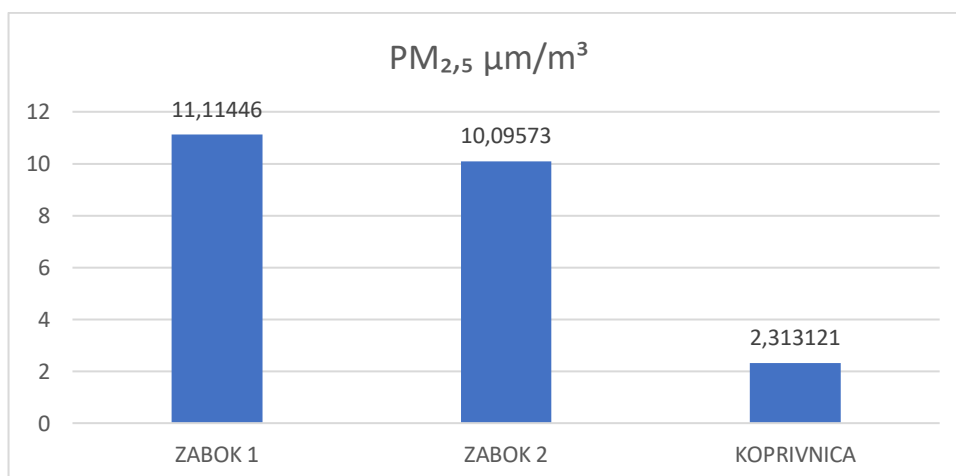
Slika 15. Grafički prikaz prosječne koncentracije SO₂ u zraku za razdoblje od 1.1.2020. do 1.5.2020.

Koncentracija lebdećih čestica PM_{10} u Zaboku spada u kategoriju niskog onečišćenja. Posljedice malo veće koncentracije čestica mogu biti radovi na obnovi industrijske i brze ceste u tijeku mjerenja na lokaciji Zabok te dizanje prašine zbog velikog broja ljudi u krugu bolnice. Koncentracija u Koprivnici spada u kategoriju vrlo niskog onečišćenja.



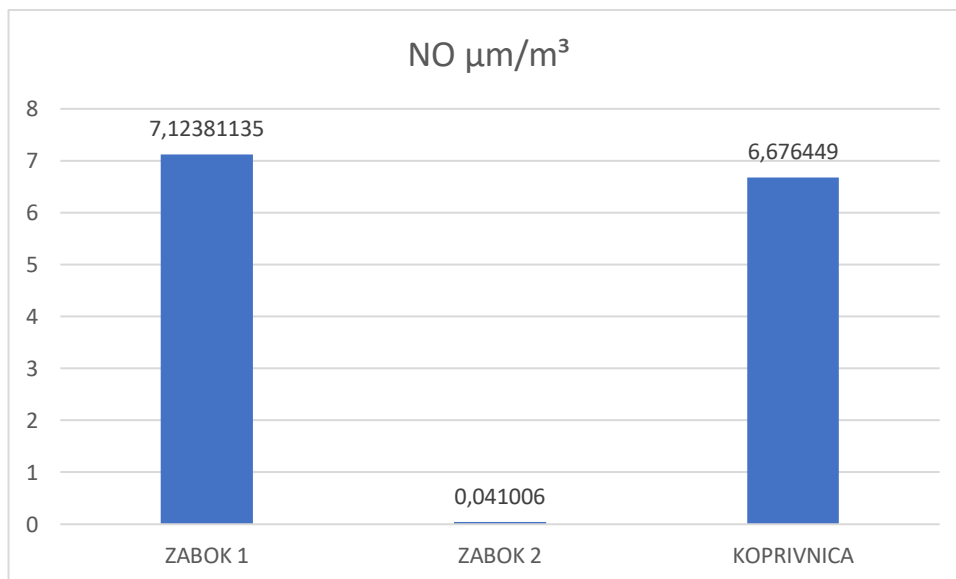
Slika 16. Grafički prikaz prosječne koncentracije PM_{10} u zraku za razdoblje od 1.1.2020. do 1.5.2020.

Iako koncentracija čestica $PM_{2,5}$ spada u kategoriju vrlo niskog onečišćenja prema indeksu kvalitete zraka u oba grada, Zabok ima pet puta više od Koprivnice. Veću koncentraciju treba pripisati radovima na cesti i prašini kao i za čestice PM_{10} .



Slika 17. Grafički prikaz prosječne koncentracije $PM_{2,5}$ u zraku za razdoblje od 1.1.2020. do 1.5.2020.

Dušikov monoksid na lokaciji Zabok 1 i Koprivnica povećanih je koncentracija s obzirom na lokaciju Zabok 2 zbog većeg prisustva motornih vozila.



Slika 18. Grafički prikaz prosječne koncentracije NO u zraku za razdoblje od 1.1.2020. do 1.5.2020.

10. ZAKLJUČAK

Čovjek svojim aktivnostima, posebice u posljednji 100 godina, konstantno onečišćuje okoliš, posebice vodu i zrak. Svakim danom sve je više stanovnika na ovoj planeti i zato je izuzetno važno naći optimalan način za očuvanje kvalitete života, što prvenstveno znači očuvanje kvalitete zraka i okoliša. Vidljivo je i da ljudi još nisu našli adekvatne modele nošenja sa problemima onečišćenja te da se ne znaju nositi s ekološkim katastrofama. Ipak, veliki je pomak napravljen razvitkom svjesnosti da visoke koncentracije onečišćenja i onečišćivala katastrofalno utječu na ekosustav i ljudsko zdravlje, pa se sve više poduzimaju mjere koje će održati i povećati razinu kvalitete života i čistoće zraka, kao i uložiti potrebne napore da se razina onečišćenja Zemlje u što većoj mjeri umanjuje.

Grad Zabok ovom analizom pokazuje da prati trendove onečišćenja zraka sa ostalim gradovima u regiji, ovisno o lokaciji mjerenja koncentracije onečišćivala variraju, ali ne u prevelikim razlikama. Sveukupno, pokazatelji razine koncentracija onečišćivala za Zabok u kratkom periodu prikupljanja podataka mjerenja po indeksu kvalitete zraka po CAQI metodi spada u vrlo nisku onečišćenost zraka.

Analizom kvalitete zraka u Gradu Zaboku te usporedbom sa Gradom Koprivnica, Zabok je neznatno onečišćeniji. Na veću onečišćenost može utjecati mnogo faktora kao što je gušći promet, radovi, tvornice, lokacija uređaja za mjerenje ali i kratko razdoblje prikupljanja podataka mjerenja.

Diplomski rad može poslužiti kao podloga za iscrpnije istraživanje kvalitete zraka u Gradu Zaboku i Gradu Koprivnici.

LITERATURA

- [1] Pallavi Saxena, *Air Pollution: Sources, Impacts and Controls*. Cabi, 2019.
- [2] “Izvori onečišćenja na otvorenom prostoru,” 2020. .
- [3] “Air pollution.” .
- [4] *Zakon o zaštiti zraka*. Hrvatski sabor, 2011.
- [5] V. Tomašić, “Tehnološki procesi u zaštiti zraka,” Zagreb: Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, 2018.
- [6] T. Sofilić, *Ekotoksikologija*. Sisak: Metalurški fakultet, 2014.
- [7] “Godišnje izvješće o praćenju kvalitete zraka na području Republike Hrvatske za 2013. godinu,” Zagreb, 2014.
- [8] T. Sofilić, “Zdravlje i okoliš,” Sisak: Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, 2015.
- [9] “Sumpor,” *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*, 2020.
<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=58761>.
- [10] “Dušikovi oksidi,” *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*, 2020.
<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=16718>.
- [11] “Ugljikov monoksid,” *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*, 2020.
<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=63002>.
- [12] “Ozon,” *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*, 2020.
<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=46028>.
- [13] “Što znači - lebdeća čestica u zraku?,” *Znanost.st*, 2020. .
- [14] *Odluka o donošenju programa kontrole onečišćenja zraka za razdoblje od 2020. do 2029 godine*. Narodne novine, 2019.
- [15] “Kvaliteta zraka,” 2020. .
- [16] “Nacionalna lista pokazatelja onečišćenja zraka,” *Ministarstvo zaštite okoliša i energetike*, 2020. .

- [17] *Pravilnik o Registru onečišćavanja okoliša.* 2015.
- [18] “Karakteristike grada Zaboka,” 2020. .
- [19] “Povijest Zaboka.” .
- [20] “Nacrt prijedloga programa kontrole onečišćenja zraka,” Zagreb, 2019.
- [21] “Program kontrole onečišćenja zraka za razdoblje od 2020. do 2029. godine,” 2018.
- [22] M. Cavrak, “Modeliranje i simulacija onečišćenja zraka nad širim riječki područjem,” Sveučilište u Rijeci, 2006.
- [23] P. Krnežić, “Onečišćenje okoliša,” Veleučilište u Karlovcu, 2015.
- [24] “Smart sense u razvoju i akvizicije ulaže tridesatak milijuna kuna,” 2020. .

POPIS SLIKA

Slika 1. Utjecaj onečišćujućih tvari prisutnih u zraku na zdravlje ljudi.

Slika 2. Praćenje kvalitete zraka u Republici Hrvatskoj putem web stranice Hrvatske Agencije za okoliš i prirodu.

Slika 3. Uređaj za mjerenje kvalitete zraka, Smart AirQ.

Slika 4. Grafički prikaz koncentracije O_3 na lokaciji Zabok 1.

Slika 5. Grafički prikaz koncentracije O_3 na lokaciji Zabok 2.

Slika 6. Grafički prikaz koncentracije NO na lokaciji Zabok 1.

Slika 7. Grafički prikaz koncentracije NO na lokaciji Zabok 2.

Slika 8. Grafički prikaz koncentracije SO_2 na lokaciji Zabok 1.

Slika 9. Grafički prikaz koncentracije SO_2 na lokaciji Zabok 2.

Slika 10. Grafički prikaz koncentracije $PM_{2,5}$ na lokaciji Zabok 1.

Slika 11. Grafički prikaz koncentracije $PM_{2,5}$ na lokaciji Zabok 2.

Slika 12. Grafički prikaz prosječne koncentracije NO_2 u zraku za razdoblje od 1.1.2020. do 1.5.2020.

Slika 13. Grafički prikaz prosječne koncentracije O_3 u zraku za razdoblje od 1.1.2020. do 1.5.2020.

Slika 14. Grafički prikaz prosječne koncentracije CO u zraku za razdoblje od 1.1.2020. do 1.5.2020.

Slika 15. Grafički prikaz prosječne koncentracije SO_2 u zraku za razdoblje od 1.1.2020. do 1.5.2020.

Slika 16. Grafički prikaz prosječne koncentracije PM_{10} u zraku za razdoblje od 1.1.2020. do 1.5.2020.

Slika 17. Grafički prikaz prosječne koncentracije $PM_{2,5}$ u zraku za razdoblje od 1.1.2020. do 1.5.2020.

Slika 18. Grafički prikaz prosječne koncentracije NO u zraku za razdoblje od 1.1.2020. do 1.5.2020.

POPIS TABLICA:

Tablica 1. Volumni udjeli plinova u čistom zraku.

Tablica 2. Propisane granične vrijednosti koncentracija za štetne tvari u zraku.

Tablica 3. Pokazatelji ocjenjivanja kakvoće zraka.

Tablica 4. Tablica za određivanje indeksa kakvoće zraka po CAQI metodi.

Tablica 5. Emisijske kvote za razdoblje do 2020. g. prema članku 5. Uredbe NEC.

Tablica 6. Meteorološke prostorne skale.

Tablica 7. Prikaz baze podataka za 01.01.2020. godinu.