

Emisije onečišćujućih tvari kao pokazatelj procjene kvalitete zraka

Sabljak, Mihaela

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Medicine / Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:184:368123>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-08**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Medicine - FMRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
MEDICINSKI FAKULTET
PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
SANITARNOG INŽENJERSTVA

Mihaela Sabljak

EMISIJE ONEČIŠĆUJUĆIH TVARI KAO POKAZATELJ PROCJENE KVALITETE
ZRAKA

Završni rad

Rijeka, 2022.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
MEDICINSKI FAKULTET
PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
SANITARNOG INŽENJERSTVA

Mihaela Sabljak

EMISIJE ONEČIŠĆUJUĆIH TVARI KAO POKAZATELJ PROCJENE KVALITETE
ZRAKA

Završni rad

Rijeka, 2022.

Mentor rada: doc.dr.sc. Željko Linšak, dipl.sanit.ing.

Završni rad obranjen je dana 13.09.2022. godine na Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci, pred povjerenstvom u sastavu:

1. izv.prof.dr.sc. Sandra Pavičić Žeželj, dipl.sanit.ing.
2. doc.dr.sc. Dijana Tomić Linšak, dipl.sanit.ing.
3. doc.dr.sc. Željko Linšak, dipl.sanit.ing.

Rad sadrži 37 stranica, 12 slika, 9 tablica, 19 literaturnih navoda.

Sažetak

Sve zagađenija atmosfera rezultat je velike količine onečišćujućih tvari koja se iz dana u dan ispušta iz nekog izvora onečišćenja, a naziva se emisijom. U svrhu zadržavanja emisija u granicama prihvatljivim za okoliš i zdravlje ljudi, u Hrvatskoj je donesena Uredba o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora (NN 42/21) koja označava najveće dopušteno ispuštanje onečišćujućih tvari u zrak iz nekog pokretnog ili nepokretnog izvora onečišćenja.

Kako bi se smanjile emisije onečišćujućih tvari u okoliš, kontinuirano se moraju provoditi mjerenja, kao i potrebne mjere ukoliko izmjerene vrijednosti nisu unutar propisanih graničnih vrijednosti. Kontinuirana mjerenja koncentracija dimnih plinova ispuštenih iz mnogobrojnih pokretnih ili nepokretnih izvora onečišćenja, koja su ujedno vrlo štetna za okoliš i zdravlje ljudi, regulirana su Uredbom koja daje realnu sliku o količini onečišćujućih tvari ispuštenih iz nekog izvora onečišćenja i o veličini mogućeg zagađenja zraka.

U radu će biti definirano onečišćenje zraka, koje su vrste izvora onečišćenja te koji su putovi prijenosa, kao i posljedice do koji može dovesti. Biti će opisane i onečišćujuće tvari, s naglaskom na lebdeće čestice te dušikove okside i sumporov dioksid. Svrha ovog završnog rada je istražiti i opisati princip mjerenja emisija onečišćujućih tvari i naglasiti važnost kontinuiranog mjerenja i praćenja eventualnih promjena u kvaliteti zraka.

Ključne riječi: onečišćujuće tvari, emisija, zrak, mjerenja

Summary

The increasingly polluted atmosphere is the result of a large amount of pollutants that are released day by day from some source of pollution, which is called emissions. In order to keep emissions within acceptable limits for the environment and human health, the Regulation on limit values of emissions of pollutants into the air from stationary sources (Official Gazette 42/21) was adopted in Croatia, which indicates the maximum permitted release of pollutants into the air from a mobile or stationary source pollution.

In order to reduce emissions of pollutants into the environment, measurements must be carried out continuously, as well as the necessary measures if the measured values are not within the prescribed limit values. Continuous measurements of flue gas concentrations released from numerous mobile or stationary sources of pollution, which are also very harmful to the environment and human health, are regulated by the Regulation that gives a realistic picture of the amount of pollutants released from a certain source of pollution and the magnitude of possible air pollution.

The paper will define air pollution, what are the types of pollution sources and what are the transmission routes, as well as the consequences it can lead to. Polluting substances will also be described, with an emphasis on floating particles and nitrogen oxides and sulfur dioxide. The purpose of this final paper is to investigate and describe the principle of pollutant emissions measurement and to emphasize the importance of continuous measurement and monitoring of possible changes in air quality.

Keywords: pollutants, emission, air, measurements

Sadržaj

1.	Uvod	1
1.1.	Sastav zraka	1
1.2.	Onečišćenje zraka	2
1.2.1.	Izvori onečišćenja zraka	4
1.2.2.	Prijenos onečišćenja zrakom	5
1.2.3.	Učinci i posljedice onečišćenja zraka	7
1.2.4.	Emisije onečišćujućih tvari	11
1.2.5.	Zrak i zakonski propisi	14
1.3.	Onečišćujuće tvari	16
1.3.1.	Lebdeće čestice	17
1.3.2.	Dušikovi oksidi	18
1.3.3.	Sumporov dioksid	19
2.	Cilj istraživanja	21
3.	Materijali i metode	22
3.1.	Princip rada mjernog uređaja	22
3.2.	Podaci o uređaju za loženje	24
3.3.	Popis primijenjenih normi	26
4.	Rezultati	27
4.1.	Izmjerene koncentracije dimnih plinova u 2018. godini	27
4.2.	Izmjerene koncentracije dimnih plinova u 2020. godini	29
4.3.	Usporedba izmjerenih koncentracija dimnih plinova iz 2018. i 2020. godine	31
5.	Rasprava	32
6.	Zaključak	34
7.	Literatura	35
8.	Životopis	37

1. Uvod

1.1. Sastav zraka

Neophodna ljudska potreba, koja ujedno doprinosi zdravom i dugotrajnom životu je čisti zrak. Atmosferski zrak je mehanička smjesa plinova, od kojih su najzastupljeniji dušik i kisik, a u manjoj količini nalaze se ugljični dioksid i plemeniti plinovi, u koje se ubrajaju argon, ksenon, neon te helij. Sastav i svojstva zraka ovise o temperaturi, tlaku i koncentraciji mogućih prisutnih zagađivala. U prosjeku, gledano na morskoj razini, zrak sadrži približno 78% dušika, 21% kisika, 0,93% argona i oko 0,03% ugljičnog dioksida. (1)

Život na Zemlji omogućuje plinoviti omotač koji ju okružuje, atmosfera. Riječ je o složenom sustavu koji je nastao oslobađanjem plinova sa Zemljine površine. Atmosfera uvjetuje nastanak i učestalost strujanja zraka, kruženje vode u prirodi te štiti Zemlju od prejake sunčane topline i štetnih zračenja. Ljudska djelatnost, primarno u razvijenijim krajevima svijeta, pogoduje promjenama u dinamičkim procesima (kruženju elemenata i strujanju zraka) u atmosferi. Posljedica tih promjena je povećana razina stakleničkih plinova u troposferi, najnižem sloju atmosfere, što dovodi do postepenog povećanja prosječne Zemljine temperature i temperature mora i oceana, poznatog kao globalno zagrijavanje. Staklenički plinovi, čiji su najznačajniji predstavnici ugljikov dioksid, diđušikov oksid, metan i klorfluorugljici, se nakupljaju i zadržavaju u atmosferi i do nekoliko stotina godina. Industrijalizirane i urbanizirane zemlje su najvećim dijelom odgovorne za emisije stakleničkih plinova. (1, 2)

Promjene u kvaliteti zraka mogu imati značajan utjecaj na ljudsko zdravlje. Nepovoljni meteorološki uvjeti, poput inverzije temperature ili nedostatka strujanja zraka, mogu rezultirati nakupljanjem onečišćenja u nižim slojevima atmosfere, što posljedično dovodi do opasne izloženosti ljudi te životinjskog i biljnog svijeta. Čovjek može biti ugrožen i posredno, apsorpcijom onečišćenja u biljkama, životinjama i drugim ekološkim sustavima, što za posljedicu može imati ulazak onečišćenja u prehrambene lance i vodu za piće. (3) Nažalost, brojna istraživanja prikazuju kako je onečišćenje zraka među najvećim problemima u cijelom svijetu. Onečišćenja zrakom se brzo šire zbog čega mogu dosegnuti velike udaljenosti od samog izvora onečišćenja i na taj način početni lokalni problem, postaje globalnim problemom. (2)

1.2. Onečišćenje zraka

Onečišćenje zraka je prisutnost ili unošenje zagađivala u atmosferu, u tolikoj koncentraciji, toliko dugo i u takvim uvjetima da štetno djeluju na život i zdravlje ljudi i životinja, a prirodno se ne nalaze u sastavu atmosfere. Zagađivalo zraka je tvar koja je ispuštena u atmosferu prirodnim procesima ili ljudskim djelovanjem te je u stanju izazvati nesagledive posljedice. (1) Najčešće se pojavljuje u obliku aerosola i lebdećih čestica, što će ovisiti o veličini čestica zagađivala i njihovom kemijskom sastavu. Ako je riječ o česticama $> 10 \mu\text{m}$, pojavljivat će se u formi prašine, čestice veličine od $1 \mu\text{m}$ do $10 \mu\text{m}$ biti će u formi aerosola, a čestice $< 1 \mu\text{m}$ u formi dima. (2)

Prva ozbiljnija onečišćenja zraka posljedica su industrijske revolucije i uporabe otvorenih ložišta. Iako je poznato da se izgaranje fosilnih goriva danas smatra najvećim izvorom zagađenja zraka, ona će se nastaviti koristiti i u budućnosti, jer se kroz istraživanja pokazalo da ih obnovljivi izvori energije, poput Sunca, vjetra, valova, plime i oseke te geotermalne energije, ne mogu u potpunosti zamijeniti. (1)

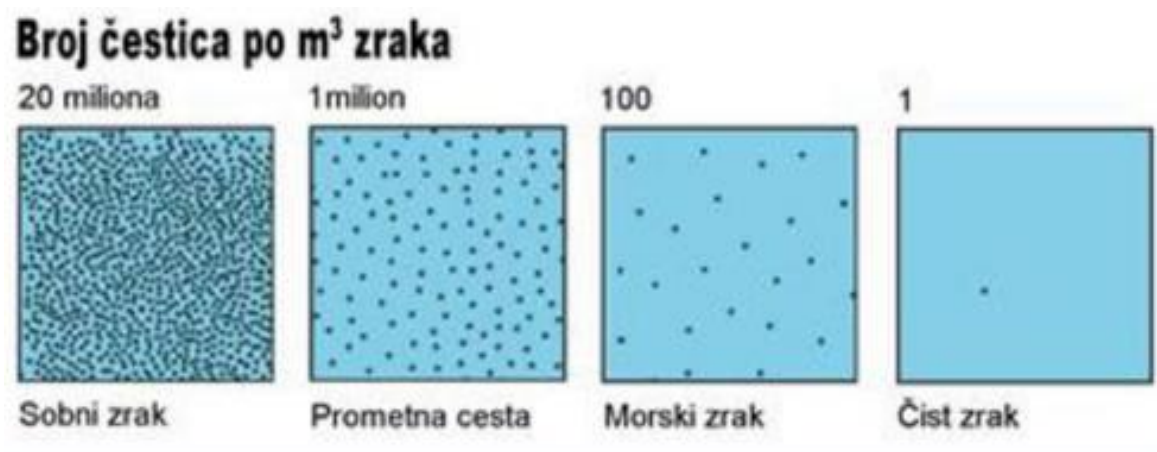
Onečišćenje se nakuplja na površinama u obliku smoga. Može biti potencirano maglom, a najčešće se javlja u kotlinama i to u situacijama anticiklone bez prisutnosti vjetra. Kao posljedica onečišćenja zraka dolazi do klimatskih promjena koje mogu promijeniti disperziju primarnih zagađivača i potaknuti stvaranje sekundarnih zagađivača. Primarna zagađivala se izravno ispuštaju u okoliš iz različitih izvora onečišćenja, a uključuju lebdeće čestice različitih dimenzija (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, $\text{PM}_{0,1}$), spojeve sumpora (uglavnom SO_2), dušikove okside (NO , NO_2 , N_2O), ostale dušikove spojeve poput amonijaka (NH_3), hlapljive organske spojeve (VOC), ugljikove spojeve (CO , CO_2), halogene i teške metale. Sekundarna zagađivala, poput ozona, nastaju reakcijom primarnih zagađivala pod utjecajem Sunčeve svjetlosti u nižim slojevima atmosfere. (3, 4)

Uz vanjsko onečišćenje zraka, treba spomenuti i unutarnje onečišćenje zraka kojem se pridaje sve veća pozornost s obzirom da čovjek u prosjeku provodi i više od 80% svoga vremena u zatvorenim prostorima. Najviše vremena čovjek provodi u svome domu i na poslu (većina ljudi radi u zatvorenim prostorima poput kancelarija) te povremeno u sportskim dvoranama, kazalištima, kinima, čekaonicama, bolnicama i slično. Činjenica je da onečišćujuće tvari, koje su prisutne u unutarnjim prostorima, mogu biti puno opasnije od istih tvari prisutnih u okolišu. Razlog tome je ograničena količina dostupnog zraka, zbog čega će koncentracija

onečišćujućih tvari biti viša, a opasnosti pridonosi i dugotrajna izloženost. Onečišćenja unutarnje atmosfere se mogu podijeliti u četiri skupine:

1. onečišćenja koja se oslobađaju iz namještaja i građevinskog materijala (hlapljivi organski spojevi, formaldehid, azbest i druga vlakna);
2. onečišćenja nastala kao rezultat aktivnosti ljudi koji borave u zatvorenim prostorijama (duhanski dim, pesticidi);
3. proizvodi izgaranja (ugljič monoksid, dušikovi oksidi, hlapljivi organski spojevi);
4. onečišćenja koja su u unutarnju atmosferu dospjela iz okoliša (pesticidi, ugljič monoksid, radon, različite čestice). (3)

Za djelovanje onečišćenja zraka u zatvorenim prostorima, na stanovništvo koje u njima boravi, uveden je termin „*sindrom bolesne zgrade*“ („sick building syndrome“). Sindrom opisuju nespecifični simptomi, u prvom redu oni psihičke prirode, poput tjeskobe, alergija, oštećenja pluća, glavobolje i simptoma sličnih lakšoj prehladi. Karakterističan je uglavnom u uredima i drugim prostorijama javne uporabe, a vrlo rijetko će se pojaviti i u stambenim prostorima. (3)



Slika 1. Broj lebdećih čestica po m³ zraka s obzirom na onečišćeno područje

Izvor: Wang L K, Pereira N C, Hung Y. Air Pollution Control Engineering. Humana Press Totowa, New Jersey, 2004.

1.2.1. Izvori onečišćenja zraka

Čovjek je počeo narušavati kvalitetu zraka već otkrićem i paljenjem prve vatre. Izvori onečišćenja zraka koji umanjuju njegovu kvalitetu mogu biti prirodnog porijekla, gdje se ubrajaju šumski požari, vulkanske erupcije, pješčane oluje, pelud, bakterije i virusi, ili mogu biti rezultatom ljudske djelatnosti, odnosno antropogeni izvori. Kako se broj antropogenih izvora emisije različitih zagađivala svakim danom povećava, njima se pridaje veća pozornost nego prirodnim izvorima. (1)

Sagorijevanjem fosilnih goriva prilikom proizvodnje toplinske, električne ili neke druge vrste energije, prometom, industrijskim procesima te poljoprivredom čovjek sam dovodi do onečišćenja koja mu mogu naškoditi. Posljedice nastalih zagađenja za čovjeka ovisiti će o svojstvima zagađivala, njihovoj koncentraciji u zraku i vremenu izloženosti na zagađenom području. (2)

Najrasprostranjeniji antropogeni izvor onečišćenja zraka je sagorijevanje. Radi se o kućnim i industrijskim ložištima gdje dolazi do stvaranja dima prilikom nepotpunog sagorijevanja i tada sumporni spojevi, koji čine najveći dio sastava goriva, izgaraju u okside sumpora. Smjesa u zrak ispuštenog dima i sumporovog dioksida uz prisutnost magle čini smog, koji ima nepovoljno djelovanje na zdravlje ljudi i životinja te na biljke i razne materijale. Kroz dimnjake industrijskih pogona također se ispušta velika količina onečišćenja koja izlaze i zadržavaju se u najvećoj koncentraciji u atmosferi naseljenih područja u kojima je pogon smješten. Negativan utjecaj na sastav atmosfere imaju i sve brojnija prometna sredstva na tlu, vodi i u zraku. Opasnost se očituje u nagomilavanju ugljikovog dioksida u atmosferi, koji povećava koncentraciju stakleničkih plinova, što uzrokuje globalno zagrijavanje. U antropogene izvore onečišćenja zraka još se ubrajaju poljoprivreda, proizvodnja i upotreba organskih kemikalija, boja, otapala i sličnih proizvoda te obrada i odlaganje otpada. (3)

Osnovna razlika između prirodnih i antropogenih ispuštanja onečišćujućih tvari očituje se u veličini masenog protoka te u površini ispuštanja. Za prirodna ispuštanja karakterističan je malen emitirani maseni protok i velika površina emisije (s izuzetkom vulkanskih erupcija), dok je pri antropogenim ispuštanjima emitirani maseni protok velik, a ukupna površina emisije mala. Emitirani maseni protok definira se kao protok onečišćujuće tvari na mjestu ispusta iz nekog izvora tijekom ispuštanja otpadnih plinova u okoliš, a izražava se u kg/h. (1)

Izvori onečišćenja zraka podijeljeni su i s obzirom na mobilnost izvora na pokretne i nepokretne emisijske izvore. Pokretni ili mobilni izvori zagađenja zraka su prijevozna sredstva koja izgaranjem pogonskog goriva ispuštaju zagađivala u okoliš (motorna vozila, željeznički promet, prekomorska plovila i zrakoplovi). Nepokretnim ili stacionarnim izvorima pripadaju postrojenja, industrijski pogoni i uređaji te tehnološki procesi kojima se zagađivala ispuštaju u zrak. (5)

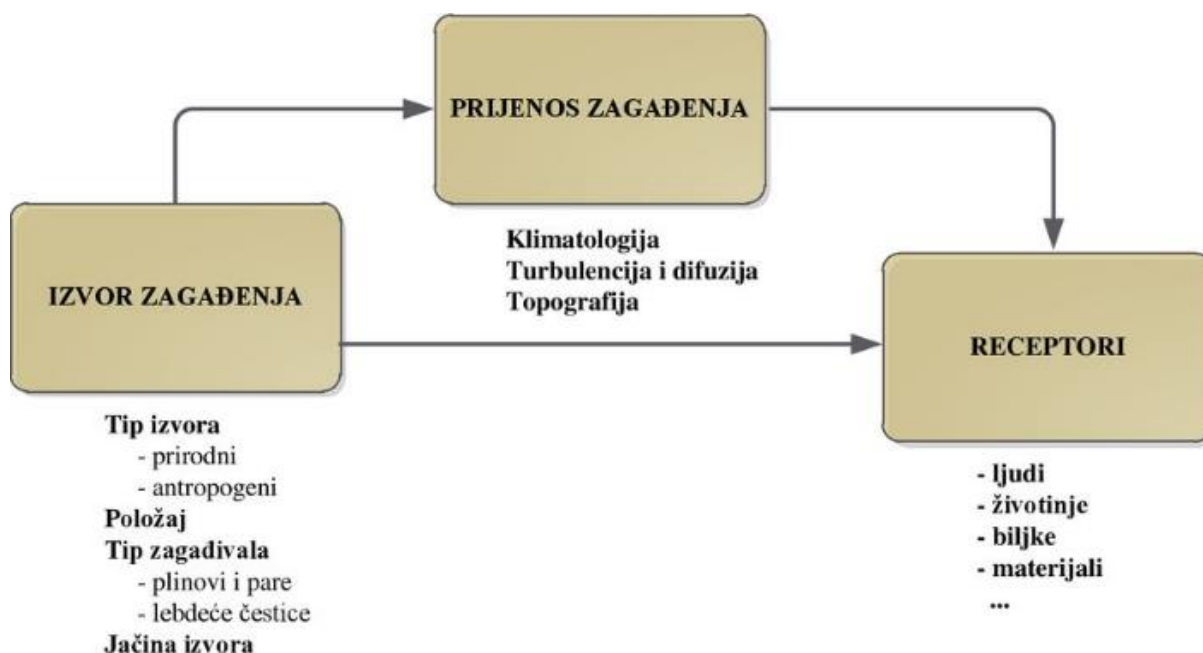
Nepokretni izvori onečišćenja zraka mogu biti točkasti i difuzni. Kod točkastih izvora, zagađivala dopijevaju u zrak u znatnim količina kroz oblikovana mjesta ispuštanja, obično u postrojenjima, industrijskim pogonima, tehnološkim procesima i slično. Ispuštanje iz točkastih izvora iskazuje se masenim udjelom ili masenom koncentracijom i emisijskim faktorima (broj koji iskazuje masu emitirane onečišćujuće tvari u odnosu na vrijednosti djelatnosti toka izvora). Iz difuznih izvora zagađivala u zrak dopijevaju bez određenog mjesta ispuštanja, odnosno dimnjaka, a primjeri takvih izvora su automobili i benzinske crpke. Mogu se spomenuti još i promjenjivi ili slučajni izvori, poput ispuštanja hlapljivih organskih spojeva iz različitih otapala u zrak, tlo ili vodu, te površinski izvori koji ispuštaju male količine zagađivala. (1)

1.2.2. Prijenos onečišćenja zrakom

Na prijenos onečišćenja zrakom može utjecati više faktora:

- meteorološki uvjeti (temperatura zraka, brzina i smjer strujanja zraka, postotak vlage u zraku),
- vrsta izvora onečišćenja (točkasti ili difuzni izvor),
- razina na kojoj dolazi do ispuštanja onečišćujućih tvari (na velikim visinama iz dimnjaka ili uz samo tlo iz ispušnih cijevi prometnih vozila),
- geografske značajke (topografija). (1)

Onečišćujuće tvari, odnosno zagađivala, se mogu razrijediti tijekom prijenosa zrakom, a zbog fotokemijskih reakcija (utjecajem ultraljubičastog zračenja sunca) u atmosferi može doći i do njihove pretvorbe u nove kemijske spojeve (nastanak sekundarnih zagađivača). Neka zagađivala se mogu istaložiti na tlo djelovanjem gravitacije ili ispiranjem kišom. (1)



Slika 2. Zagađenje zraka: izvor – prijenos – primatelj

Izvor: Kaštelan-Macan M, Petrović M. Analitika okoliša. Manualia Universitatis studiorum Zagabiensis, 2013.

Godišnje promjene u koncentracijama zagađivala događaju se zbog varijacija u intenzitetima ispuštanja iz različitih izvora te zbog klimatskih razlika u godišnjim dobima. S obzirom da kratkotrajne pojave zagađenja mogu nastati iznenadno, procjena raspršenja zagađivala u okolišu zahtjeva kontinuirano mjerenje njihovih ispuštanja u atmosferu. U tu svrhu se primjenjuju koncentracijski modeli koji mogu predvidjeti koncentracije zagađivala na temelju njihovih već poznatih vrijednosti pri odgovarajućim meteorološkim uvjetima, u određenim vremenskim razdobljima i na određenim lokacijama. Najčešće primjenjivan je Gaussov matematički model koji se zasniva na pretpostavci da će se zagađivalo raspršiti u skladu sa statističkom raspodjelom, dok parametri modela ovise o udaljenosti od izvora emisije i atmosferskoj stabilnosti. (4)

Na temelju približno izmjerene buduće koncentracije zagađivala u zraku i izloženosti ljudi istim, mogu se procijeniti i budući utjecaji klimatskih promjena na zdravstvene učinke povezane sa onečišćenjem zraka. Projekcije modela prikazuju da bi se doprinos vanjskog onečišćenja zraka preranoj smrtnosti mogao udvostručiti do 2050. godine. (4)

1.2.3. Učinci i posljedice onečišćenja zraka

Dugačak je popis mogućih negativnih učinaka kojima prethodi onečišćenje zraka. Zapažena su očekivana djelovanja na smanjenje vidljivosti i ubrzano propadanje različitih materijala, no dugogodišnjim istraživanjima dokazana su i nespecifična djelovanja na živi svijet, u obliku narušavanja zdravlja ljudi te negativan utjecaj na životni vijek i potomstvo životinja i biljaka.

Djelovanje onečišćujućih tvari dovodi do pojave smoga što rezultira smanjenom vidljivošću koja može prouzročiti smetnje u zračnom i cestovnom prometu te u prometu na vodi. Zbog takve neugodne atmosfere, zabilježeno je znatno smanjenje prihoda u turizmu, kao i slučajevi preseljenja populacije i industrije iz područja s onečišćenom atmosferom. Krute čestice onečišćenja nošene zrakom udaraju u površine različitih materijala uzrokujući oštećenja i smanjujući njihovu kvalitetu. Neka onečišćenja neće napasti materijale izravno, već se kemijskim putem pretvaraju u spojeve koji su štetni. Najbolji primjer za to je apsorpcija sumpornog dioksida u materijale od kože i pretvaranje u sumpornu kiselinu koja u znatnoj mjeri skraćuje vijek trajanja i kvalitetu proizvoda od kože. U prisutnosti vode, onečišćujuće tvari stvaraju mikroelektrokemijske stanice, pogotovo na površini predmeta izrađenog od željeza, zbog čega dolazi do elektrokemijske korozije. Prema procjeni jednog istraživanja, za održavanje željezničkih pruga u urbanim područjima s onečišćenim zrakom potroši se 30% više potrebnih resursa, nego u seoskim područjima s razmjerno čistim zrakom. (3)

Povećana emisija onečišćujućih tvari u zraku kroz godine ostavlja posljedice i na živi svijet. Na negativan utjecaj onečišćenog zraka prve će reagirati biljke. Specifična osjetljivost nekih biljnih vrsta poslužila je kao indikator razine onečišćenja zraka. Zbog toga se danas u blizini industrijskih postrojenja uzgajaju posebne vrste biljaka s pomoću kojih se može kontinuirano pratiti intenzitet djelovanja i smjer širenja onečišćenja koja se ispuštaju u okoliš kroz dimnjake. Tri su glavne posljedice djelovanja onečišćene atmosfere na biljni svijet:

1. popuštanje strukture lišća biljke,
2. kloroza ili druge promjene u boji lišća biljke,
3. promjene u rastu biljke. (3)

Plinovite onečišćujuće tvari u biljku ulaze putem zraka kroz pore na listovima prilikom procesa respiracije biljaka. Tada se u listovima odvija reakcija između klorofila i onečišćujuće tvari koja rezultira uništavanjem klorofila i poremećajem procesa fotosinteze. Sumporov

dioksid, ozon, fluoridi, dušikovi oksidi, halogeni elementi i kiseline te neki metali glavni su izvor onečišćenja za vegetaciju. Posljedica povećane koncentracije sumporovih oksida u zraku, odnosno sumporne kiseline, je nastanak kiselih kiša koje su glavni krivac za uništenje šuma. (6)

Od dugotrajnog onečišćenja zraka oboljevaju i ugibaju i životinje, za koje su čak dokazani slučajevi pojave kroničnih bolesti. Utvrđena su dva načina unosa onečišćujućih tvari iz zraka kod životinja, a to su udisanjem onečišćenog zraka i ispašom na onečišćenom području. Istraživanjima se pokazalo da oba načina mogu utjecati na smanjenje proizvodnje jaja u kokoši i mlijeka u krava. (3)



Slika 3. Posljedice onečišćenja zraka s obzirom na veličinu zahvaćenog područja

Izvor: Wang L K, Pereira N C, Hung Y. Air Pollution Control Engineering. Humana Press Totowa, New Jersey, 2004.

Boravak u područjima s onečišćenom atmosferom ostavlja značajne tragove i na zdravlje ljudi. Dokazano je da je u takvim područjima život nekvalitetniji, ljudi više poboljevaju i mlađi umiru. Učinci onečišćenog zraka na zdravlje sažimaju se u dvije skupine, ovisno o vremenu izloženosti, na akutne i kronične učinke. Akutni učinci se naglo razvijaju, nakon kratkotrajnog izlaganja, kada se koncentracije onečišćenja znatno povećaju, najčešće zbog nepovoljnih meteoroloških uvjeta ili kao posljedica industrijskih incidenata. Na temelju

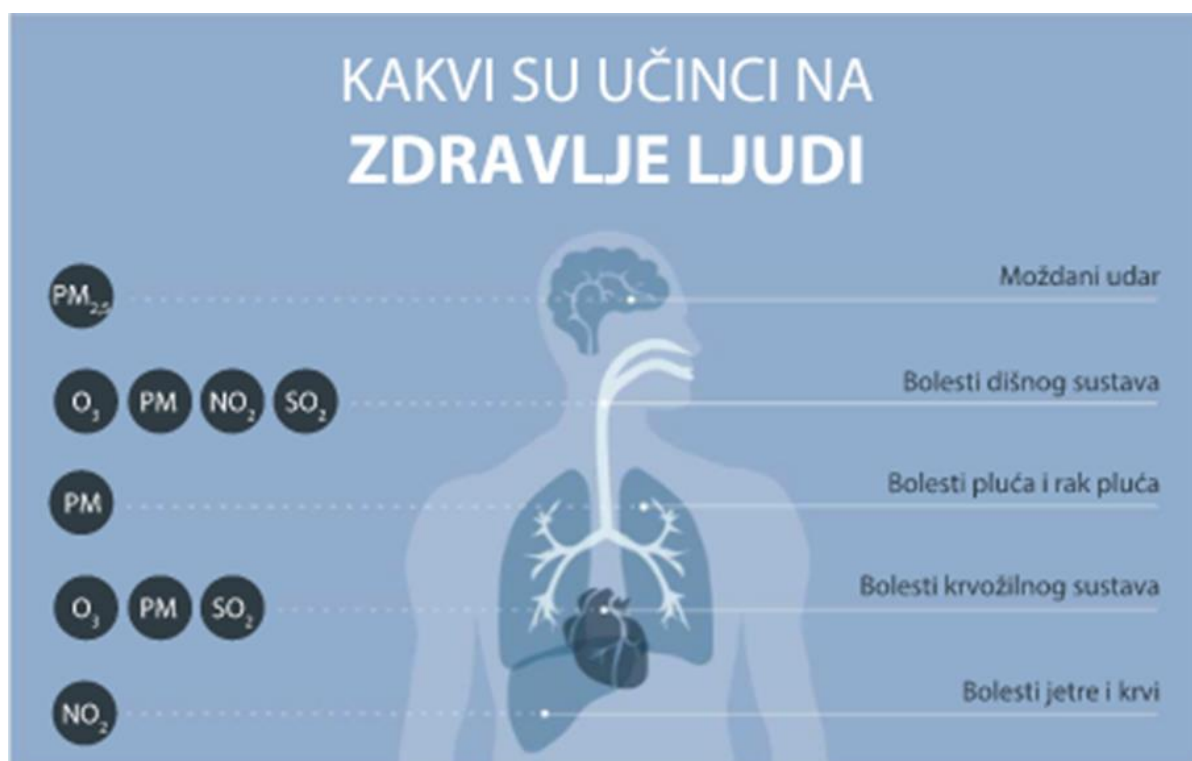
svakodnevne izloženosti malim koncentracijama onečišćenja nastaju kronični učinci, koji postaju vidljivi tek nakon dugotrajnog djelovanja, zbog čega ih je i teže otkriti. (6)

Navedeni nepovoljni učinci na zdravlje nastaju djelovanjem triju skupina atmosferskih onečišćenja:

1. kompleksa sumporov dioksid-čestice koji nastaje izgaranjem fosilnih goriva, koja u svom sastavu sadrže sumpor,
2. kompleksa fotokemijskih oksidansa koji nastaju kemijskim reakcijama iz dušikovih oksida i ugljikovodika (prvenstveno ozon),
3. skupine specifičnih onečišćenja nastalih zbog emisije arsena, azbesta, olova, kadmija i sumporovodika (iz lokalnih izvora poput rafinerije ili kemijske industrije). (3)

Težina zdravstvenih problema, nastalih djelovanjem onečišćenog zraka, ovisiti će o vrsti i stupnju onečišćenja. Štetne tvari iz zraka u tijelo mogu ući izravno udisanjem, preko kože te konzumacijom kontaminirane hrane i vode. S obzirom da je najčešći put unosa onečišćenja udisanjem, posljedično su u najvećem broju prisutne smetnje u gornjim dišnim putovima, sa simptomima kašlja, nadražene sluznice te plitkog disanja. Kod težih kliničkih slika, mogu se razviti i bolesti respiratornih organa poput astme, bronhitisa i raka pluća. Česte su i iritacije nosne i očne sluznice uz prisutan osjećaj iscrpljenosti i umora, koje su pokazatelj visokog stupnja onečišćenja (u prvom redu unutarnje atmosfere). Povećana koncentracija ugljikovog monoksida u zraku štetno će djelovati na ljude sa srčanim bolestima i bolestima krvnih žila zbog njegovog ulaska u krvotok i vezanja za hemoglobin, zamjenjujući na taj način kisik. (2, 3)

Istraživanjima je ustanovljeno kako sumporovi oksidi potiču nastanak respiratornih bolesti, osobito bronhitisa i raka pluća; ugljikov monoksid rezultira povraćanjem i glavoboljom te u težim slučajevima može izazvati komu pa čak i smrt; fotokemijski oksidansi mogu nadražiti oči, dišne putove te grlo; dok metali selen, kadmij, mangan, nikal i olovo mogu izazvati rak. (6)



Slika 4. Učinci onečišćujućih tvari (PM-a, NO₂, SO₂ i O₃) na zdravlje ljudi

Izvor: Wojciechowski J, Wisniewska-Danek K, Radecka-Moroz K, Friel C, Coelho J, et. al.

Air pollution: Our health still insufficiently protected. Curia Rationum, 2018. (br. 23)

Podaci Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) ukazuju na to kako onečišćenje zraka svake godine uzrokuje prijevremenu smrt više od 7 milijuna ljudi, što predstavlja oko 3% smrtnosti godišnje, uz još veći broj hospitalizacija. Poznato je kako čovjek u odsutnosti hrane može živjeti tjednima, u odsutnosti vode danima, a život u odsutnosti kisika se mjeri u minutama. Svakog dana udahnemo čak 20 000 puta, što znači da u svoja pluća unesemo otprilike 12 000 litara zraka kako bi se opskrbili količinom kisika neophodnom za život. (7)

Rastuće urbano stanovništvo u različitim gradovima svijeta dovodi do degradacije okoliša i iscrpljivanja prirodnih resursa, što rezultira povećanjem korištenja resursa po glavi stanovnika i emisijama stakleničkih plinova, kao i onečišćenjem zraka, sa značajnim utjecajem na zdravlje. Očekuje se da će urbano stanovništvo, koje je najveći proizvođač onečišćenja zraka, rasti s 3,6 milijardi u 2010. na 5,2 milijarde u 2050. godini, a u kombinaciji s povećanjem koncentracije onečišćujućih tvari u zraku, utjecaj na zdravlje će eskalirati. (4)

1.2.4. Emisije onečišćujućih tvari

Emisija je proces izravnog ili neizravnog ispuštanja onečišćujućih tvari, radijacije, buke, mirisnih tvari ili topline iz različitih pokretnih ili nepokretnih izvora u zrak, vodu ili tlo. Najveća koncentracija tih ispuštenih tvari nalazi se na samome izvoru te se postupno smanjuje prilikom miješanja sa zrakom i udaljavanjem od izvora. Provode se kontinuirana mjerenja emisija onečišćujućih tvari s obzirom na prethodno naveden niz negativnih učinaka, s naglaskom na praćenje njihovog utjecaja na kvalitetu zraka. Praćenja kvalitete zraka podrazumijevaju kontinuirana mjerenja i procjenjivanja količine onečišćenosti. Dobiveni mjerni rezultati se pohranjuju ručno, poluautomatski ili automatski. Zakonom o zaštiti zraka (NN 127/19, 57/22), propisana je i emisijska kvota onečišćujućih tvari, koja podrazumijeva dopuštenu godišnju količinu emisija iz pojedinih izvora onečišćenja na teritoriju Republike Hrvatske, a izražena je u jedinicama mase koja je ispuštena u određenom vremenu. (5)

U svrhu zadržavanja emisija unutar prihvatljivih granica za okoliš i zdravlje ljudi, u Hrvatskoj je donesena Uredba o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora (NN 42/21), koja propisuje najveću dopuštenu količinu emisija s mogućnošću izražavanja preko koncentracije onečišćujućih tvari u otpadnim plinovima ili količine ispuštenih onečišćujućih tvari u određenom vremenu pri konstantnim uvjetima (temperaturi 273,15 K i tlaku 101,3 kPa). Granična vrijednost emisija (GVE) se primjenjuje na mjestu na kojem emisije napuštaju postrojenje, odnosno na izvoru onečišćenja. Uredba, osim masene koncentracije onečišćujućih tvari, određuje i dopuštene vrijednosti dimnog broja i zacrnjenja. Zacrnjenje (ljestvica sa šest stupnjeva crnine, od 0 do 5, te je svaki viši stupanj 20% crniji od prethodnog) se određuje vizualno uz Ringelmanovu ljestvicu, a takva metoda se prakticira prilikom mjerenja emisije ložišta na kruta goriva, dok se dimni broj (stupanj crnine površine filter-papira, od 0 do 9, izazvane otpadnim plinovima) također određuje vizualno, ali prema Bacharach ljestvici. Radi se o metodi pri mjerenju emisije ložišta na plinska ili tekuća goriva. (9)

Preobrazbom gospodarstva i zbog posljedica zaostalih nakon ratnih razaranja, u Hrvatskoj je došlo do smanjenja gospodarskih aktivnosti, a s njima je i bitno smanjena emisija onečišćujućih tvari. Jedna je analiza pokazala kako je u 1995. godini, u usporedbi sa 1991. godinom, umanjena emisija: sumporovog dioksida za 65%, dušikovih oksida za 34%, metana za 21%, ugljikovog monoksida za 35% te amonijaka za 27%. (3)

Stupanj onečišćenja zraka, izazvan emisijama iz različitih izvora, može se odrediti mjerenjem:

- promjena u nenaseljenim područjima izazvanim onečišćenjem zraka (takozvano pozadinsko onečišćenje),
- promjena nastalih zbog prekograničnog prijenosa određene koncentracije različitih onečišćujućih tvari,
- onečišćenja zraka po gradovima i industrijskim zonama,
- onečišćenja zraka u blizini industrijskih pogona, difuznih izvora onečišćenja i tehnoloških procesa,
- parametara u atmosferi, odnosno definiranjem meteoroloških uvjeta na mjernim lokacijama za kvalitetu zraka i
- opažanjem deformacija na biljkama, kao posrednim pokazateljima kvalitete zraka, koje ukazuju na veličinu učinka onečišćenja zraka. (10)

Koliko često će se mjeriti emisija onečišćujućih tvari iz nepokretnih izvora određeno je temeljem omjera emitiranog masenog protoka ($Q_{\text{emitirani}}$) s graničnim masenim protokom ($Q_{\text{granični}}$). Njihov omjer propisan je Uredbom (NN 42/21) i prikazan je u Tablici 1. Učestalost mjerenja emisija za pojedini nepokretni izvor će se odrediti s obzirom na ishod, odnosno dobivene rezultate prvog mjerenja. (9)

Tablica 1. Učestalost mjerenja emisija onečišćujućih tvari ispuštenih iz nepokretnih izvora s obzirom na omjer emitiranog i graničnog masenog protoka ($Q_{\text{emitirani}}/Q_{\text{granični}}$)

$Q_{\text{emitirani}}/Q_{\text{granični}}$	Učestalost mjerenja emisija
0,1 - 1	najmanje jednom u pet godina
>1 - 2	najmanje jednom u tri godine
>2 - 5	najmanje jednom godišnje
>5	kontinuirana mjerenja

Izvor: Uredba (NN 42/21)

Mjerenja emisija onečišćujućih tvari mogu se provoditi kao prva, povremena, kontinuirana i posebna (pojedinačna) mjerenja na mjestu ispusta iz nekog stacionarnog izvora. Izmjerene vrijednosti uspoređuju se s propisanim graničnim vrijednostima emisija. U slučaju kada dobivene vrijednosti premašuju GVE, pravna osoba je dužna poduzeti mjere koje će osigurati pravilan rad postrojenja. Nakon što se uspostavi pravilan rad postrojenja, pravna osoba ponovno provodi mjerenje kako bi se dokazalo poštivanje propisanih GVE. (9)

Mjerenja u atmosferi nisu potrebna samo za praćenje kvalitete zraka, već i za različite svrhe u vremenskoj prognozi i proučavanju klimatskih promjena, proizvodnji energije, poljoprivredi, prometu, industriji, zaštiti zdravlja te u turizmu. Ovisno o različitim ciljevima, dostupne su tehnike mjerenja na licu mjesta, zemaljske, zrakoplovne i svemirske tehnike daljinskog istraživanja te integrirane mjerne tehnike. Promatranja putem satelita su sve veće područje interesa i razvoja, a počele su se koristiti i bespilotne letjelice za mjerenje onečišćenja zraka. (10)



Slika 5. Onečišćenje zraka u gradu Zagrebu; pojava fotokemijskog smoga

Izvor: Filić B. (08.07.2021.)

1.2.5. Zrak i zakonski propisi

Upravljanje i nadzor nad kvalitetom zraka provodi se međunarodnim ugovorima i u prvom redu Zakonom o zaštiti zraka (NN 127/19, 57/22). Njihovi zadaci su urediti i ustanoviti: temeljne ciljeve zaštite zraka, ovlaštene institucije i osobe za provedbu Zakona, princip praćenja i utvrđivanja kvalitete zraka, uočavanje i praćenje količina emisija iz stacionarnih izvora, praćenje kvalitete zraka i emisija u zrak, mjere za potencijalno sprječavanje ili u najmanju ruku smanjivanje onečišćavanja zraka, informacijski sustav o kvaliteti zraka, financiranje zaštite i poboljšanja kvalitete zraka, nadzor, prekršaje i novčane kazne te odredbe kojima se određuju rokovi provedbe Zakona. (1)

Prema razini onečišćenosti, odnosno s obzirom na striktno određene granične, ciljne i dozvoljene vrijednosti, definiraju se dvije kategorije kvalitete zraka u Republici Hrvatskoj:

- prva kategorija obuhvaća čist ili neznatno onečišćen zrak, u kojemu nisu premašene propisane granične i ciljne vrijednosti, kao niti dozvoljene vrijednosti za prizemni ozon i
- druga kategorija obuhvaća onečišćen zrak, u kojemu su premašene propisane granične i ciljne vrijednosti, kao i dozvoljene vrijednosti za prizemni ozon (5)

Prva kategorija se nastoji utvrditi za svaku onečišćujuću tvar zasebno s ciljem zaštite zdravlja ljudi, kvalitete življenja te zaštite cjelokupnog ekosustava. Utvrđivanje se vrši jednom godišnje, a godišnje izvješće o praćenju kvalitete zraka na državnoj razini izrađuje Ministarstvo. (5)

Kvaliteta zraka se nastoji očuvati nizom detaljno napisanih uredbi i pravilnika. Sukladno Uredbi o načinu trgovanja emisijskim jedinicama stakleničkih plinova (NN 89/20), osobe nadležne za praćenje emisija tih plinova, dostavljaju izvješće Ministarstvu nadležnom za zaštitu okoliša. Tom uredbom se gospodarstvu u Europskoj uniji omogućuje učinkovito izvršavanje obveza preuzetih Kyotskim protokolom (direktiva kojom se utvrđuje način trgovanja emisijskim kvotama stakleničkih plinova). Uredba o praćenju emisija stakleničkih plinova, politike i mjera za njihovo smanjenje u Republici Hrvatskoj (NN 5/17) propisuje i definira obvezu njihova praćenja i izrade izvještaja o antropogenim emisijama iz različitih izvora. Uredbom o kritičnim razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 77/20) propisane su kritične razine masenih koncentracija za sumporov dioksid ($500 \mu\text{g m}^{-3}$) i dušikov dioksid ($400 \mu\text{g m}^{-3}$) te kritična ($240 \mu\text{g m}^{-3}$) i upozoravajuća ($180 \mu\text{g m}^{-3}$) razina koncentracije ozona

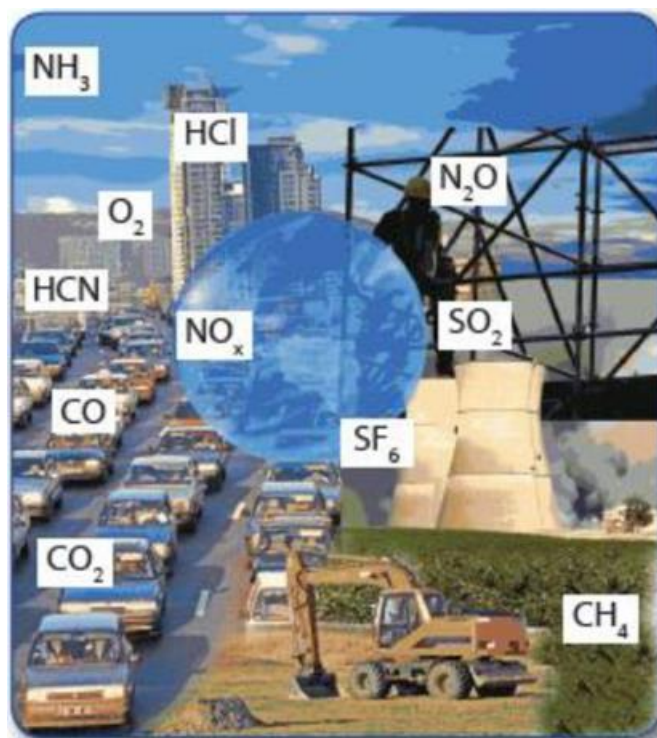
u zraku, u svrhu sprječavanja štetnih i opasnih posljedica po ljudsko zdravlje i okoliš. Uredbom o ozonu u zraku (NN 133/05) propisuju se granične i tolerantne vrijednosti ozona u zraku za zaštitu zdravlja ljudi i vegetacije. Pravilnik o praćenju kvalitete zraka (NN 72/20) propisuje na koji način pratiti i prikupljati podatke o kvaliteti zraka, koji su mjerni postupci i odredbe te naglašava važnost prikaza mjernih rezultata i redovitog obavješćavanja javnosti o istim. (1) Bitno je spomenuti i Nacionalni plan djelovanja na okoliš (NN 46/22), čiji je cilj smanjiti emisije u zrak na globalnoj razini. (11)

Za praćenje koncentracija emisija onečišćujućih tvari koje se ispuštaju u zrak, propisane su već spomenuta Uredba o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnih izvora (NN 42/21) koja je donesena temeljem Zakona o zaštiti zraka i Pravilnik o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnih izvora (NN 47/21), koji određuje načine mjerenja emisija, mjerne postupke, način provjere ispravnosti i umjeravanja potrebnih mjernih uređaja, postupak vrednovanja rezultata te upute o obavješćivanju javnosti. Praćenje emisija vrši pravna osoba koja je tehnički i stručno osposobljena na način koji propisuje norma HRN EN ISO/IEC 17025. (1)

U svrhu procjene razine onečišćenosti, definirana je ciljna kvaliteta podataka s obzirom na nesigurnost metode mjerenja i zahtijevanu točnost prilikom mjerenja. Ta ciljna vrijednost određena je zbog poželjnog sprječavanja pojave štetnih učinaka ili barem smanjivanja njihove težine po zdravlje ljudi te ju je potrebno ostvariti u zadanom razdoblju. (5) Provjera ispravnosti samog mjerenja, načina obrade izmjerenih vrijednosti i zapisa mjernih rezultata kao i ocjena njihove pouzdanosti, vrši se na temelju zahtjeva norme HRN EN ISO/IEC 17025. (1)

1.3. Onečišćujuće tvari

Onečišćivači zraka, kako je već i opisano u prethodnim poglavljima, se mogu kategorizirati kao primarni i sekundarni onečišćivači. Primarne onečišćujuće tvari izravno se ispuštaju u atmosferu, dok sekundarne onečišćujuće tvari nastaju u atmosferi iz prekursora onečišćujućih tvari kemijskim reakcijama. Onečišćivači zraka mogu biti prirodnog, antropogenog ili mješovitog podrijetla, što će ovisiti o njihovim izvorima ili izvorima njihovih prekursora. Ključni primarni onečišćivači zraka uključuju: čestice (PM, engl. particulate matter), crni ugljik (BC), sumporne okside (SO_x), dušikove okside (NO_x), amonijak (NH_3), ugljikov monoksid (CO), metan (CH_4), nemetanske hlapive organske spojeve (NMVOC) te određene metale i policikličke aromatske ugljikovodike (PAH). Postoji podjela onečišćujućih tvari i prema njihovom učinku, na fotooksidativne tvari (NO_x i NMVOC), kisele tvari (NO_x , SO_2 i NH_3) i plinove koji potiču eutrofikaciju (NO_x i NH_3). Fotooksidativni plinovi su značajni zbog sudjelovanja u formiranju opasnog prizemnog sloja ozona, a kiseli plinovi uzrokuju pojavu kiselih kiša. (12) U nastavku rada biti će detaljnije opisana najučestalije pojavljivana i mjerena onečišćivala u zraku, a to su lebdeće čestice (PM), NO_x i SO_2 .



Slika 6. Prikaz pojedinih onečišćujućih tvari ispuštenih iz različitih izvora

Izvor: Wojciechowski J, Wisniewska-Danek K, Radecka-Moroz K, Friel C, Coelho J, et. al.

Air pollution: Our health still insufficiently protected. Curia Rationum, 2018. (br. 23)

1.3.1. Lebdeće čestice

Lebdeće ili suspendirane čestice (PM) podrazumijevaju krute čestice različitih veličina i podrijetla, koje lebde u zraku. Pojavljuju se u formi prašine, dima, čađe, pepela te rjeđe i u formi minerala. S obzirom da su vrlo malih dimenzija, zbog čega nemaju značajnu brzinu taloženja, mogu kroz dulje vrijeme ostati raspršene u struji ispušnih plinova. Gledano po veličini, lebdeće čestice se mogu podijeliti prema dimenzijama u tri skupine:

- grube čestice: $2,5 - 10 \mu\text{m}$ (PM_{10})
- fine čestice: $< 2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$)
- ultrafine čestice $< 0,1 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{0,1}$) (1)

Glavni izvori emisija lebdećih čestica su procesi izgaranja u cestovnom prometu, u industrijskim ložištima te prilikom procesa proizvodnje azbesta, cementa, željeza i sličnih proizvoda. Čestice PM_{10} su inhalibilne te udisanjem dospijevaju u pluća, a njihove se vrijednosti u zraku u naseljenim područjima kreću od 20 mg/m^3 do 30 mg/m^3 . Čestice $\text{PM}_{2,5}$ su respirabilne, što znači da za razliku od PM_{10} prodiru dublje u pluća, sve do alveola i ne mogu se iz njih ukloniti prirodnim putem. Njihove uobičajene vrijednosti u naseljenim područjima iznose između 10 mg/m^3 i 20 mg/m^3 , a njihove prirodno prisutne koncentracije iznose od 1 mg/m^3 do 5 mg/m^3 . Uz lebdeće čestice, u zraku se nalaze i koloidno raspršene čvrste ili tekuće čestice u obliku aerosola (dima ili magle) te pare koja će se javiti u plinovitom ili tekućem stanju. (1)

Lebdeće čestice dugotrajnim djelovanjem mogu izazvati mnogobrojne akutne i kronične bolesti kod velikog broja ljudi. Njihovo negativno djelovanje može dovesti do oštećenja imunološkog, neurološkog i reproduktivnog sustava, problema u rastu i razvoju, nastanka niza bolesti respiratornog sustava, pa sve do pojave malignih promjena. (13)



Slika 7. Predodžba dimenzija lebdećih čestica usporedbom sa ljudskom vlasi i zrnom pijeska

Izvor: WHO global air quality guidelines; Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization, 2021.

1.3.2. Dušikovi oksidi

Postoji puno kemijskih vrsta dušikovih oksida (NO_x), ali vrsta od najvećeg interesa, s obzirom na ljudsko zdravlje, je dušikov dioksid (NO_2). NO_2 je otrovni, crvenkastosmeđi plin karakterističnog oštrog mirisa. Dušikov oksid (NO) spontano proizvodi NO_2 kada je izložen zraku. Plinoviti NO_2 jak je oksidans i reagira s vodom stvarajući dušičnu kiselinu i dušikov oksid. Važan je atmosferski plin, u tragovima, jer apsorbira vidljivo sunčevo zračenje i doprinosi smanjenoj atmosferskoj vidljivosti, također apsorbira vidljivo zračenje i ima izravnu ulogu u globalnim klimatskim promjenama te igra ključnu ulogu u određivanju koncentracija ozona u troposferi. (14)

Najčešći izvor NO_x je promet, koji čini približno 50% prisutnih NO_x u zraku, ali u znatnijim količinama nastaju i prilikom sagorijevanja. Emisije NO_x višestruko rastu s brzinom vožnje, tako na primjer povećanjem brzine vožnje sa 70 km/h na 120 km/h, emisije NO_x se povećavaju sa 1g na 4g. Upravo zbog tog podatka, jasno je kako su im koncentracije najviše u blizinama velikih prometnica. NO_x su iritansi, zbog čega djeluju nagrizajuće za sluznicu očiju i nosa. Izloženost višim koncentracijama može izazvati simptome poput kašalja, grlobolje, vrtoglavice, te bolova u prsima. (2)

1.3.3. Sumporov dioksid

Sumporov dioksid (SO_2) je plin bez boje, lako topiv u vodi, koji nastaje izgaranjem fosilnih goriva koja sadrže sumpor (pri taljenju metala, rafiniranju nafte i sl.) i glavni je onečišćivač zraka diljem svijeta. Oksidacija SO_2 , osobito na površini čestica u prisutnosti metalnih katalizatora, dovodi do stvaranja jake sumporne kiseline. Prirodni izvori sumpora su njegove reducirane vrste, poput sumporovodika (H_2S), ugljikova disulfida (CS_2) i karbonil sulfida (COS). Procjenjuje se kako prirodni izvori sumpora doprinose ukupnim emisijama SO_2 24%, a prinos antropogenih emisija iznosi 76%. (1)

SO_2 je toksičan u velikim koncentracijama, a utjecaj na okoliš je vidljiv nastankom kiselih kiša i aerosola (tzv. zimskog smoga). Inhalacija SO_2 u čovjeka uzrokuje suženje dišnih putova, kao preduvjeta za nastanak astme, a ukoliko je već prisutna astma, kod inhalacije većih koncentracija SO_2 može doći do pogoršanja bolesti. Kako bi se reducirala emisija sumpornih spojeva u industriji, termoelektranama i u općoj potrošnji, trebalo bi zabraniti uporabu ugljena i loživih ulja sa sadržajem sumpora većim od 1%. Preporuka je upotrebljavati ekstralako loživo ulje s udjelom sumpora do 0,2% te lako, srednje, teško i ekstrateško loživo ulje s maksimalnim udjelom sumpora do 1%. (2)



Slika 8. Doprinos pojedinih ljudskih djelatnosti onečišćenju zraka prikazan kroz najčešće onečišćujuće tvari (%)

Izvor: European Environment Agency (EEA) „Air quality in Europe — 2020 report“

U Europskoj uniji, emisije najvažnijih plinovitih onečišćivača zraka smanjile su se tijekom posljednjih 30 godina. CO pokazuje smanjenje od najmanje 60%, a SO₂ od gotovo 90%. Također, emisije NO_x i nemetanskih hlapivih organskih spojeva (NMVOC) smanjile su se za približno 50%, dok NH₃ pokazuje mnogo niža smanjenja, od svega 20%, kao i emisije čestica (PM). Samo crni ugljik (BC) pokazuje znatno veće smanjenje zbog uloženi napa da se ukloni iz upora be u prometnoj industriji. Dok je promet najvažniji sektor za emisije NO_x i crnog ugljena, emisije čestica uglavnom proizlaze iz brojnih malih emisijskih jedinica poput kućanstava i komercijalnih ustanova. (10)

Tijekom prošlog desetljeća došlo je do značajnog razvoja u području istraživanja kvalitete zraka, koji uključuje poboljšanja u karakterizaciji izvora i emisija onečišćenja zraka, nove mjerne tehnologije, koje nude mogućnost napretka u predviđanju kvalitete zraka i u razumijevanju interakcija s meteorologijom. (13) No, unatoč postepenom razvoju u tom području, nedavno ažuriranje smjernica za kvalitetu zraka Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) naglasilo je potrebu za daljnjim smanjenjem emisija onečišćujućih tvari u zrak i poboljšanjem kvalitete zraka na globalnoj razini. (14)

2. Cilj istraživanja

Ciljevi ovog istraživanja su:

- prikazati i analizirati izmjerene vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnog izvora smještenog u prostorijama kotlovnice Nastavnog zavoda za javno zdravstvo Primorsko – goranske županije (NZZJZ PGŽ),
- usporediti i komentirati dobivene rezultate mjerenja iz 2018. i 2020. godine,
- utvrditi utjecaj izmjerenih vrijednosti emisija na kvalitetu zraka.

3. Materijali i metode

3.1. Princip rada mjernog uređaja

Mjerenje emisija onečišćujućih tvari u zrak iz plinskog kondenzacijskog kotla provedeno je mjernim uređajem, analizatorom dimnih plinova RBR-ECOM J2KNpro iz 2013. godine, od proizvođača RBR Meßtechnik GmbH. Uređaj u sebi ima sonde za ugljikov monoksid, kisik, dušikov monoksid i dušikov dioksid te se udio ugljikovog dioksida može izračunati. Analizator dimnih plinova je sposoban zabilježiti čak i najmanje količine zagađenja, a njegova opremljenost omogućava jednostavnu uporabu i precizne mjerne vrijednosti pogodne za daljnju obradu. (18)

Prije svakog izlaska na teren, odnosno lokaciju mjerenja, treba provjeriti ispravnost analizatora, napunjenost baterije, ispravnost rada pumpe te ga umjeriti. (17) Analizator se umjerava pomoću boca kalibracijskih plinova poznatih koncentracija (CO , NO , NO_2 i SO_2). Navedeni plinovi se puste kroz mjerni uređaj te on potom pokaže neku vrijednost. Ukoliko ta vrijednost odstupa od poznate koncentracije kalibracijskih plinova za više od 2%, analizator je potrebo umjeriti. Prema uputama proizvođača, analizator se servisira i umjerava u službenoj firmi jedanput godišnje. No, s obzirom na vremenske uvjete, razlike u tlakovima i vlažnosti kojima se analizator izlaže, može se desiti da prilikom mjerenja pokaže određena odstupanja od realnih vrijednosti, zbog čega se treba umjeravati prije i poslije svakog mjerenja i odlaska na teren.

Analizator u sebi ima pumpu koja pumpa vanjski zrak iz dimnjaka preko spojene sonde. Sonda je za analizator spojena putem tri priključka; priključak za crijevo plina, priključak za mjerenje statičkog tlaka i priključak za mjerenje temperature plina. Prilikom mjerenja, sonda je smještena u središtu dimovodnog kanala plina, u području najviše temperature plina. Nakon što je sonda postavljena, uključuje se uređaj za loženje te kroz dimovodni kanal prolaze ispušni plinovi čije su vrijednosti vidljive na kontrolnoj jedinici mjernog uređaja. Mjerne vrijednosti na kontrolnoj jedinici prikazane su mjernom jedinicom ppm (engl. parts per million), a u Uredbi (NN 42/21) stoji mjerna jedinica mg/m^3 kao primarna mjerna jedinica. Analizator ima mogućnost pretvorbe mjernih jedinica iz ppm u mg/m^3 , ali s obzirom da su plinovi u kalibracijskim bocama također u ppm, jednostavnije je pri analizi mjernih vrijednosti pretvoriti ih kompjuterski u mg/m^3 . (15)



Slika 9. Kontrolna jedinica analizatora

Izvor: Ninoslav Dimkovski. Radna uputa za određivanje mjernog mjesta, Ecocommission d.o.o., Varaždin, 2016.

Analizator sadrži multimedijску memorijsku karticu na koju se spremaju točni podaci mjerenja, kako bi se mogli naknadno obraditi. Podaci se za vrijeme mjerenja bilježe svake dvije sekunde, a vrijednosti mjerenja, nakon što se memorijska kartica iz analizatora stavi u čitač kartica, se otvaraju u formi Excel tablice.



Slika 10. Analizator dimnih plinova RBR-ECOM J2KNpro

3.2. Podaci o uređaju za loženje

Uređaj za loženje, prema Uredbi (NN 42/21), je uređaj u kojem dolazi do oksidacije goriva kako bi se mogla iskoristiti tim načinom proizvedena toplina. S obzirom na vrstu goriva i ukupnu ulaznu toplinsku snagu, uređaji za loženje mogu se podijeliti na mali (MUL), srednji (SUL) i veliki (VUL) uređaj za loženje na način prikazan u Tablici 2. (9)

Tablica 2. Veličina uređaja za loženje određena prema ukupnoj ulaznoj toplinskoj snazi i vrsti goriva

Uređaj za loženje	Gorivo od biomase i kruto gorivo	Plinsko i tekuće gorivo
Mali (MUL)	$0,1 \leq \text{MUL} < 1 \text{ MW}$	$0,1 \leq \text{MUL} < 1 \text{ MW}$
Srednji (SUL)	$1 \leq \text{SUL} < 50 \text{ MW}$	$1 \leq \text{SUL} < 50 \text{ MW}$
Veliki (VUL)	$50 \text{ MW} \leq \text{VUL}$	$50 \text{ MW} \leq \text{VUL}$

Izvor: Uredba (NN 42/21)

Kako bi se utvrdila emisija onečišćujućih tvari u ispuštenim otpadnim plinovima kod malih uređaja za loženje, potrebno je provoditi povremena mjerenja, koja se vrše barem jednom u dvije godine. Granične vrijednosti emisija (GVE) su izražene pomoću masene koncentracije onečišćujućih tvari u suhom otpadnom plinu pri konstantnoj temperaturi i tlaku. (9)

Tablica 3. Granična vrijednost emisija za male uređaje za loženje, koji iskorištavaju plin kao gorivo, uz udio kisika od 3 %

	GVE
Dimni broj	0
CO	100 mg/m ³
NO _x	200 mg/m ³

Izvor: Uredba (NN 42/21)

Mjerenje emisija onečišćujućih tvari u zrak izvršeno je na malom uređaju za loženje Nastavnog zavoda za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije. Riječ je o plinskom kondenzacijskom kotlu proizvođača Hoval, tip Ultra GAS-400 sa maksimalnom toplinskom snagom od 400 kW. Uređaj kao gorivo iskorištava zemni plin, a svojom kondenzacijskom tehnikom koristi toplinu koja nastaje prilikom sagorijevanja goriva, ali i toplinu koja kod primjene drugih tehnologija uglavnom ostane neiskorištena. Kondenzacijski kotlovi imaju sposobnost gotovo potpuno iskoristiti toplinu koja je u sastavu dimnih plinova i pretvaraju je u toplinu namijenjenu za grijanje. (19) Podaci o uređaju za loženje prikazani su i u Tablici 4.

Tablica 4. Podaci o uređaju za loženje

Uređaj za loženje na kojem se vrši mjerenje	Uređaj	mali uređaj za loženje (400 kW)
	Namjena	grijanje
	Gorivo	zemni plin
	Proizvodni medij	topla voda

Izvor: Zdravstveno ekološki odjel – Odsjek za kontrolu emisija u zrak. Izvještaj broj:

149/2020. NZZJZ PGŽ, 2020.



Slika 11. Plinski kondenzacijski kotao proizvođača Hoval, tip Ultra GAS-400

3.3. Popis primijenjenih normi

Mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak su izvršena u skladu s važećim pravnim aktima i Normama navedenim u Tablici 5.

Tablica 5. Popis primijenjenih normi i provedbenih propisa

Emisije iz stacionarnih izvora – Određivanje <u>masene</u> koncentracije dušikovih oksida – Značajke automatskih mjernih sustava	HRN ISO 10849:2008
Emisije iz stacionarnih izvora – Određivanje ugljikova <u>monoksida</u> , ugljikova dioksida i kisika – Značajke automatskih mjernih sustava i njihova kalibracija	HRN ISO 12039:2012
Ispitivanje otpadnih plinova iz uljnih kotlovnica – Vizualno i fotometrijsko određivanje dimnog broja	HRN DIN 51402-1:2010
Kakvoća zraka – Mjerenje emisija iz stacionarnih izvora – Primjena norme EN ISO/IEC 17025:2005 na povremena mjerenja	HRS CEN/TS 15675:2008
Pravilnik o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora	NN 129/12 NN 97/13
Uredba o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora	NN 42/21
Pravila za akreditaciju laboratorija za mjerenje emisija iz malih uređaja za loženje	HAA- <u>Pr</u> -2/9

Izvor: Zdravstveno ekološki odjel – Odsjek za kontrolu emisija u zrak. Izvještaj broj:

149/2020. NZZJZ PGŽ, 2020.

4. Rezultati

4.1. Izmjerene koncentracije dimnih plinova u 2018. godini

Vrednovanje rezultata mjerenja emisija radi se usporedbom dobivenih rezultata mjerenja s граниčnim vrijednostima propisanim Uredbom (NN 42/21). Uredbom je također određeno da se za karakteristično onečišćenje iz malih uređaja za loženje uzimaju koncentracije ugljikova monoksida, dušikovih oksida izraženih kao NO₂ i dimni broj. (9)

Tablica 6. Rezultati mjerenja koncentracija dimnih plinova iz dimovodnog kanala kondenzacijskog kotla NZZJZ PGŽ iz 2018. godine

Parametar	Jedinica	1	2	3	4	5	6	Maksimalna vrijednost
CO	ppm	8,70	8,00	9,10	10,00	10,00	10,00	10,00
NO	ppm	14,00	15,60	16,70	17,80	18,00	19,00	19,00
NO ₂	ppm	3,90	4,00	4,00	4,80	5,00	5,00	5,00
O ₂	%	5,6	5,5	5,4	5,4	5,4	5,4	5,60
Temp. dimnih plinova	°C	66	68	69	70	72	73	73,00
Temp. okoline	°C	13	13	13	13	13	13	13
Dimni broj	0-9	0	0	0	0	0	0	0
Toplinski gubici	%	2,7	2,8	2,9	2,92	3,03	3,08	3,08

Izvor: Zdravstveno ekološki odjel – Odsjek za kontrolu emisija u zrak. Izvještaj broj: 88/2018.

NZZJZ PGŽ, 2018.

U Tablici 6. prikazane su vrijednosti koncentracija dimnih plinova za ukupno šest mjerenja. Svih šest mjerenja provedeno je na istom stupnju rada plamenika. Uz koncentracije ugljikova monoksida, dušikovih oksida i dimni broj, u tablici su zabilježeni i podaci o volumnom udjelu kisika, temperaturi dimnih plinova, temperaturi okoline te o postotku toplinskog gubitka tijekom rada kondenzacijskog kotla.

Tablica 7. Sumarni rezultati mjerenja koncentracija dimnih plinova iz dimovodnog kanala kondenzacijskog kotla NZZJZ PGŽ iz 2018. godine uspoređeni sa GVE

Mjerni parametar	Maksimalna vrijednost umanjena za mjernu nesigurnost / ppm	mg/m _n ³	Vrijednost u mg/m _n ³ svedene na 3% kisika	GVE
Ugljikov monoksid (CO)	6,8	8,5	10,1	100
Udio oksida dušika izraženih kao NO ₂	18,2	37,4	44,3	200
Dimni broj	0	0	0	0

Izvor: Zdravstveno ekološki odjel – Odsjek za kontrolu emisija u zrak. Izvještaj broj: 88/2018. NZZJZ PGŽ, 2018.

Tablica 7. prikazuje sumarne rezultate mjerenja bazirane na tri najvažnija mjerna parametra. Izražene su maksimalna vrijednost u mjernoj jedinici ppm, koja je umanjena za mjernu nesigurnost, i koncentracija ugljikovog monoksida, dušikovih oksida te dimni broj mjernom jedinicom mg/m_n³, kako propisuje Uredba. Podebljane vrijednosti koncentracija dimnih plinova uspoređuju se s GVE, određenim Uredbom, za male uređaje za loženje koji iskorištavaju plin kao gorivo, uz udio kisika od 3%, za potrebe pisanja izvješća o emisijama iz nepokretnih izvora. Vrijednosti za plinove preračunate su za standardne referentne uvjete.

4.2. Izmjerene koncentracije dimnih plinova u 2020. godini

Prema Uredbi (NN 42/21), za onečišćenje čiji je izvor mali uređaj za loženje, uzimaju se koncentracije ugljikova monoksida, dušikovih oksida izraženih kao NO₂ i dimni broj kao glavni mjerni parametri. (9)

Tablica 8. Rezultati mjerenja koncentracija dimnih plinova iz dimovodnog kanala kondenzacijskog kotla NZZJZ PGŽ iz 2020. godine

Parametar	Jedinica	1	2	3	4	5	6	Maksimalna vrijednost
CO	ppm	1,10	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	1,10
NO	ppm	16,70	17,90	17,50	21,40	22,70	22,00	22,70
NO ₂	ppm	0,80	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50
O ₂	%	5,6	5,4	5,5	5,2	5,1	5,1	5,60
Temp. dimnih plinova	°C	63	66	66	66	67	68	68,00
Temp. okoline	°C	11	11	11	11	11	11	11
Dimni broj	0-9	0	0	0	0	0	0	0
Toplinski gubici	%	2,7	2,8	2,8	2,75	2,79	2,84	2,84

Izvor: Zdravstveno ekološki odjel – Odsjek za kontrolu emisija u zrak. Izvještaj broj: 149/2020. NZZJZ PGŽ, 2020.

Kao i u Tablici 6., u Tablici 8. prikazane su vrijednosti koncentracija dimnih plinova za šest uzastopnih mjerenja te je svih šest mjerenja provedeno na istom stupnju rada plamenika. Uz koncentracije ugljikova monoksida, dušikovih oksida i dimni broj, u tablici su zabilježeni i podaci o volumnom udjelu kisika, temperaturi dimnih plinova, temperaturi okoline te o postotku toplinskog gubitka tijekom rada kondenzacijskog kotla. Izražena je i maksimalna vrijednost izmjerena za svaki pojedini parametar.

Tablica 9. Sumarni rezultati mjerenja koncentracija dimnih plinova iz dimovodnog kanala kondenzacijskog kotla NZZJZ PGŽ iz 2020. godine uspoređeni sa GVE

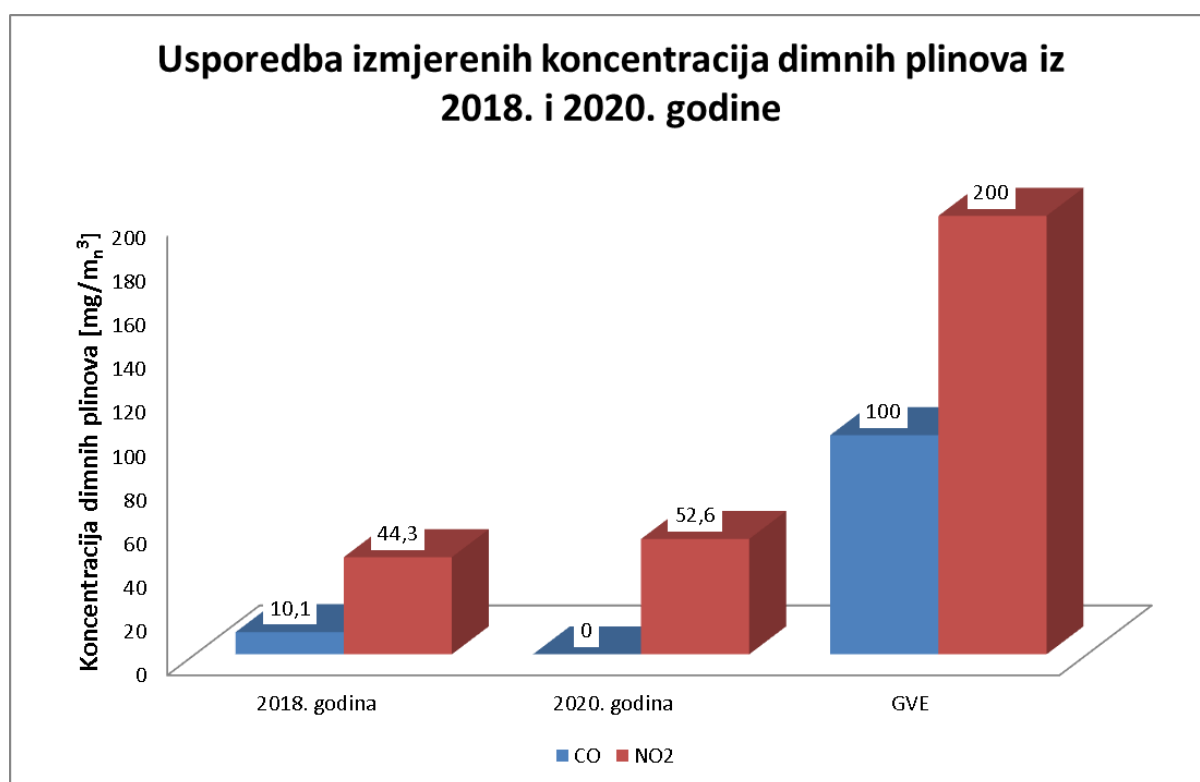
Mjerni parametar	Maksimalna vrijednost umanjena za mjernu nesigurnost / ppm	mg/mn ³	Vrijednost u mg/mn ³ svedene na 3% kisika	GVE
Ugljikov monoksid (CO)	0,0	0,0	0,0	100
Udio oksida dušika izraženih kao NO ₂	20,0	41,0	52,6	200
Dimni broj	0	0	0	0

Izvor: Zdravstveno ekološki odjel – Odsjek za kontrolu emisija u zrak. Izvještaj broj: 149/2020. NZZJZ PGŽ, 2020.

Tablica 9. prikazuje sumarne rezultate mjerenja triju najvažnijih mjernih parametra. Prikazane su maksimalna vrijednost u mjernoj jedinici ppm, koja je umanjena za mjernu nesigurnost, i koncentracija ugljikovog monoksida, dušikovih oksida te dimni broj mjernom jedinicom mg/m_n³. Podebljane vrijednosti koncentracija dimnih plinova, izražene u mg/m_n³ svedene na 3% kisika, uspoređuju se s GVE, određenim Uredbom, kod malih uređaja za loženje koji iskorištavaju plin kao gorivo, uz udio kisika od 3% za potrebu izvješća o emisijama iz nepokretnih izvora, a vrijednosti za plinove preračunate su za standardne referentne uvjete.

4.3. Usporedba izmjerenih koncentracija dimnih plinova iz 2018. i 2020. godine

Prethodne četiri tablice prikazuju rezultate analizatorom izmjerenih koncentracija dimnih plinova iz dimovodnog kanala kondenzacijskog kotla NZZJZ PGŽ iz 2018. i 2020. godine. Mjerenje se provodi svake dvije godine kako bi se pratila ispravnost rada kondenzacijskog kotla te kako ne bi došlo do eventualno značajnijih odstupanja koncentracije ispuštenih dimnih plinova od propisane granične vrijednosti, GVE. S obzirom da se radi o malom uređaju za loženje, karakteristično je onečišćenje plinovima CO i NO₂. Razlika u koncentraciji između ta dva plina, s razmakom u mjerenju od dvije godine, prikazana je grafički na Slici 12.



Slika 12. Grafički prikaz izmjerenih koncentracija CO i NO₂ iz kondenzacijskog kotla NZZJZ PGŽ iz 2018. i 2020. godine u odnosu na GVE

5. Rasprava

Koncentracije dimnih plinova izmjerene na ispustu kondenzacijskog kotla Nastavnog zavoda za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije i za 2018. i za 2020. godinu sukladne su prilogu 10., Uredbe o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora (NN 42/21), u redovitim radnim uvjetima uređaja. U Tablicama 6. i 8. prikazani su rezultati za sljedeće parametre: CO, NO, NO₂, O₂, temperaturu dimnih plinova, temperaturu okoline, dimni broj te za toplinske gubitke. Prilikom uključivanja uređaja za loženje, očekuje se najviša koncentracija CO, koja daljnjim radom uređaja postupno opada, dok će koncentracija dušikovih oksida, NO_x biti niža u početku rada uređaja te će se povećati kada uređaj počne raditi punom snagom. No, prema mjerenjima iz 2018. godine, vidljiv je porast u koncentraciji CO sa povećanjem snage uređaja, odnosno sa većim brojem mjerenja, što govori da može doći do odstupanja od početnih očekivanja. S druge strane, rezultati mjerenja iz 2020. godine prikazuju maksimalnu vrijednost koncentracije CO pri paljenju uređaja i prvom mjerenju, dok kasnije s radom uređaja opada i njegova koncentracija, i to sve do nule. U oba slučaja, i u Tablici 6. i u Tablici 8., koncentracije dušikovih oksida, NO i NO₂, postupno su rasle s brojem mjerenja, što znači da će se s dužim radom uređaja pod punom snagom povećavati i koncentracija ispuštenih dušikovih oksida u zrak. Volumni udio kisika, O₂ kretao se u rasponu od 5,1% do 5,6%, a toplinski gubici su iznosili između 2,7% i 3,1% u obje mjerne godine. Temperature dimnih plinova su se kretale između 63°C i 73°C što je i uobičajeni raspon temperature za vrijeme rada uređaja, sa mogućim odstupanjima od $\pm 2^{\circ}\text{C}$. S obzirom da su mjerenja provedena krajem 11. mjeseca, temperatura okoline iznosila je nešto više od 10°C te nije značajnije utjecala na rezultate mjerenja. Dimni broj nije bio izmjeren tijekom niti jednog mjerenja, zbog čega možemo zaključiti da nema crnine na površini filter-papira izazvane ispuštenim otpadnim plinovima. Svih šest, odnosno dvanaest mjerenja iz 2018. i 2020. godine, provedena su na istom stupnju rada kotla. Ponekad se mjerenja vrše na dva stupnja rada kotla, po tri mjerenja na svakom stupnju. Prilikom izrade izvješća, izmjerene vrijednosti za plinove se preračunavaju za standardne uvjete, odnosno za temperaturu u iznosu od 273,15 K i tlak od 101,3 kPa.

Prema Uredbi (NN 42/21), za onečišćenje prouzrokovano malim uređajem za loženje, kakav se nalazi i u kotlovnici NZZJZ PGŽ, primarno se gledaju izmjerene vrijednosti koncentracija ugljikova monoksida, dušikovih oksida izraženih kao NO₂ i dimni broj. Vrijednosti se iskazuju u mg/m³ i uspoređuju s graničnim vrijednostima emisija za male uređaje za loženje koji iskorištavaju plin kao gorivo, uz udio kisika od 3%. Sukladno sumarnim rezultatima

prikazanim u Tablicama 7. i 9., može se zaključiti kako su izmjerene koncentracije za plinove CO i NO₂, i za 2018. i za 2020. godinu, u skladu sa propisanim graničnim vrijednostima. Propisana GVE za CO iznosi 100 mg/m³, a za NO_x iznosi 200 mg/m³. U 2018. godini koncentracija ispuštenog CO iznosila je prihvatljivih 10,1 mg/m³, dok je koncentracija NO_x iznosila 44,3 mg/m³ te se može uočiti kako su izmjerene vrijednosti dosta niže od dozvoljenih graničnih vrijednosti. Na rezultatima iz 2020. godine, zabilježena vrijednost koncentracije CO, svedena na 3% kisika, iznosi 0,0 mg/m³, a udio NO_x iznosi nešto viših 52,6 mg/m³, u odnosu na prethodno izvršena mjerenja, što je i grafički predloženo na Slici 12. U skladu s izmjerenim vrijednostima, može se zaključiti kako ispušteni otpadni plinovi iz malog uređaja za loženje iz NZZJZ PGŽ ne utječu značajnije na kvalitetu zraka, a samim time i na ljudsko zdravlje.

Zaključno, koncentracije emisija onečišćujućih tvari u zrak, izmjerene iz kondenzacijskog kotla Nastavnog Zavoda za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije u 2018. i 2020. godini, unutar su graničnih vrijednosti emisija propisanih Uredbom (NN 42/21). Kontinuirano provedena mjerenja, kao svojevrsna prevencija, pravovremeno upozoravaju na moguća onečišćenja i zagađenja zraka, što je od iznimne važnosti kako bi sačuvali naš zrak čistim.

6. Zaključak

Eksplozijski rast ljudske populacije rezultira i eksponencijskim porastom razine onečišćenja, ne samo zraka, već cjelokupnog okoliša. Širenje urbanizacije i industrijalizacije znači sve veći broj ljudi na sve manjoj površini, što vrlo lako može dovesti do katastrofe zbog kontinuiranog izlaganja ljudi visokim koncentracijama onečišćujućih tvari.

Onečišćenje zraka ozbiljan je problem koji sa sobom nosi cijeli niz mogućih posljedica. S obzirom na sve veće koncentracije onečišćujućih tvari u zraku, u sve većim razmjerima stradava ljudsko zdravlje, pojavljuju se ozbiljni zdravstveni problemi, a u ekstremnim slučajevima može nastupiti i smrt. Nisu pošteđeni ni prirodni procesi u okolišu, kao ni prirodna i biološka raznolikost. Zanemarena onečišćenja zraka u krajnjem slučaju mogu dovesti do pojave nepoželjnih procesa na globalnoj razini u okolišu, poput povećane koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi (a samim time i do globalnog zagrijavanja), nastanka fotokemijskog smoga, nastanka troposferskog ozona, a smanjenja stratosferskog ozona i dr.

Svjetska zdravstvena organizacija klasificira onečišćenje zraka kao najveći ekološki rizik za zdravlje u Europi. Prema podacima Europskog revizorskog suda, kvaliteta zraka se poboljšava, no onečišćenje zraka može se podcijeniti jer se može dogoditi da se praćenje onečišćenja ne provodi na odgovarajućim mjestima. Ključ u očuvanju kvalitete zraka je provedba kontinuiranih mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak te poduzimanje potrebnih mjera i sankcija ukoliko se ustanovi neispravnost u radu izvora onečišćenja. Podizanje razine osviještenosti i obavješćivanje javnosti o rezultatima mjerenja također imaju jednu od ključnih uloga u traženju rješenja za onečišćenje zraka i očuvanje njegove kvalitete. Detaljno propisane uredbe i pravilnici uspješno reguliraju mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak, što su dokazali i rezultati istraživanja ovog završnog rada.

7. Literatura

1. Kaštelan-Macan M, Petrović M. Analitika okoliša. Manualia Universitatis studiorum Zagrabiensis, 2013. (62.-66. str; 97.-107. str)
2. Puntarić D, Miškulin M, Bošnjir J, i sur. Zdravstvena ekologija. Medicinska naklada Zagreb, 2012. (324.-332. str.)
3. Valić F, i sur. Zdravstvena ekologija. Medicinska naklada Zagreb, 2001. Biblioteka sveučilišni udžbenici (56.-66. str)
4. Orru H, Ebi K L, Forsberg B. The Interplay of Climate Change and Air Pollution on Health. Curr Environ Health Rep. 2017 Dec;4(4):504-513. DOI: 10.1007/s40572-017-0168-6. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29080073/> Pristupljeno: 13.08.2022.
5. Zakon o zaštiti zraka (NN 127/19, 57/22). Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/269/Zakon-o-za%C5%A1titi-zraka> Pristupljeno: 13.08.2022.
6. Golubić J. Promet i okoliš. Fakultet prometnih znanosti Zagreb, 1999.
7. Wang L K, Pereira N C, Hung Y. Air Pollution Control Engineering. Humana Press Totowa, New Jersey, 2004. Dostupno na: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5464081/mod_book/chapter/23386/Air%20Pollution%20Control%20Engineering.pdf Pristupljeno: 15.08.2022.
8. Wojciechowski J, Wisniewska-Danek K, Radecka-Moroz K, Friel C, Coelho J, et. al. Air pollution: Our health still insufficiently protected. Curia Rationum, 2018. (br. 23). Dostupno na: <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/air-quality-23-2018/hr/> Pristupljeno: 17.08.2022.
9. Uredba o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora (NN 42/2021). Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_04_42_827.html Pristupljeno: 17.08.2022.
10. Ranjeet S S, Moussiopoulos N, Baklanov A, Bartzis J, Coll I, et. al. Atmospheric Chemistry and Physics. Katlenburg-Lindau Vol. 22, Iss. 7, (2022.): 4615-4703. DOI:10.5194/acp-22-4615-2022. Dostupno na: <https://www.proquest.com/docview/2648823321/8C18DA71AA4E40E5PQ/1> Pristupljeno: 18.08.2022.
11. Nacionalni plan djelovanja na okoliš (NN 46/02). Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2002_04_46_925.html Pristupljeno: 19.08.2022.

12. European Environment Agency (EEA). Air quality in Europe — 2020 report. Copenhagen, Denmark, No 09/2020. Dostupno na: https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/plmrep/COMMITTEES/ENVI/DV/2021/01-14/Air_quality_in_Europe-2020_report_EN.pdf Pristupljeno: 19.08.2022.
13. Fowler D, Pyle J A, Sutton M A, Williams M L. Global Air Quality, past present and future: an introduction. Philos Trans A Math Phys Eng Sci. 2020. Oct 30;378(2183):20190323. DOI: 10.1098/rsta.2019.0323. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32981444/> Pristupljeno: 19.08.2022.
14. WHO global air quality guidelines; Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization, 2021. Dostupno na: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Pristupljeno: 20.08.2022.
15. RBR. Upute za korištenje ecom J2KNpro. CERIUM d.o.o. Zagreb. Dostupno na: <http://www.cerium.hr/images/upload/files/ecomJ2KNPro/bda-j2knpro-hrv.pdf> Pristupljeno: 22.08.2022.
16. Pravilnik o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnih izvora (NN 47/2021). Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_05_47_962.html Pristupljeno: 22.08.2022.
17. Ninoslav Dimkovski. Radna uputa za određivanje mjernog mjesta, Eccomission d.o.o., Varaždin, 2016.
18. Zdravstveno ekološki odjel – Odsjek za kontrolu emisija u zrak. Izvještaj o mjerenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora. NZZJZ PGŽ, 2018. (Izvještaj broj: 88/2018)
19. Zdravstveno ekološki odjel – Odsjek za kontrolu emisija u zrak. Izvještaj o mjerenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora. NZZJZ PGŽ, 2020. (Izvještaj broj: 149/2020)

8. Životopis

Mihaela Sabljak rođena je 02.11.2000. godine u Rijeci. Završila je Osnovnu školu Zamet 2015. godine. Po završetku osnovne škole, u Rijeci upisuje Salezijansku klasičnu gimnaziju - s pravom javnosti, sportski smjer. U akademskoj godini 2019./2020. upisuje preddiplomski studij Sanitarnog inženjerstva na Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci. Aktivno sudjeluje na sportskim natjecanjima organiziranim od strane studentskog sportskog društva SOSS. Od stranih jezika, služi se engleskim i njemačkim.