

Metode i ispitivanja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora

Balić, Klara

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic of Međimurje in Čakovec / Međimursko veleučilište u Čakovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:110:934230>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-11**



Repository / Repozitorij:

[Polytechnic of Međimurje in Čakovec Repository -
Polytechnic of Međimurje Undergraduate and
Graduate Theses Repository](#)



MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ ODRŽIVI RAZVOJ

Klara Balić

**METODE I ISPITIVANJA EMISIJA ONEČIŠĆUJUĆIH
TVARI U ZRAK IZ NEPOKRETNIH IZVORA**

ZAVRŠNI RAD

Čakovec, rujan 2023.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ ODRŽIVI RAZVOJ

Klara Balić

**METODE I ISPITIVANJA EMISIJA ONEČIŠĆUJUĆIH
TVARI U ZRAK IZ NEPOKRETNIH IZVORA**

**METHODS AND MONITORING OF AIR POLLUTANT
EMISSIONS FROM STATIONARY SOURCES**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Goran Sabol, mag. ing. geoinž., v. pred.

Čakovec, rujan 2023.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Čakovec, 16. veljače 2023.

država: **Republika Hrvatska**
Predmet: **Inženjerstvo u zaštiti okoliša**
Grana: **2.16.01 inženjerstvo okoliša**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 2022-OR-R-60

Pristupnik: **Klara Balić (0160141052)**
Studij: **Redoviti preddiplomski stručni studij Održivi razvoj**
Smjer: **Ekoinženjerstvo**

Zadatak: **Metode i ispitivanja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora**

Opis zadatka:

Teoretski dio završnog rada obuhvatit će problematiku onečišćenja zraka, opis izvora onečišćenja te najčešćih onečišćivača zraka, mjere zaštite zraka te utjecaje onečišćenja zraka. Nadalje, obuhvatit će se i opis te metoda mjerenja onečišćenja zraka te zakonska legislativa kojom se uređuje spomenuto područje onečišćenja zraka.

Praktični dio završnog rada bit će napravljen u akreditiranom laboratoriju tvrtke Međimurje ZAING d.o.o., a cilj praktičnog rada je utvrđivanje izmjerenih koncentracija pojedinih onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora te njihovo uspoređivanje s propisanim graničnim vrijednostima emisija sukladno Uredbi o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora ("Narodne novine" br.117/12, 90/14, 87/17, 42/21).

Praktičnim dijelom bit će obuhvaćen cilj mjerenja emisija, opis mjerne metode i mjernih instrumenata koji se koriste u mjerenju onečišćujućih tvari u zrak te rezultati mjerenja samih emisija.

Zadatak uručen pristupniku: 22. prosinca 2022.

Rok za predaju rada: 20. rujna 2023.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



Goran Sabol, mag. ing. geoinj. v. pred.

ZAHVALA

Iskreno zahvaljujem mentoru, Goranu Sabolu, mag. ing. geoling., v. pred., na korisnim savjetima i stručnom usmjeravanju tijekom izrade ovoga završnog rada, ali i tijekom studiranja na Veleučilištu. Također zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na podršci i strpljenju, a posebno hvala poduzeću Međimurje ZAING d.o.o. iz Čakovca koje mi je omogućilo izradu praktičnog dijela rada pruživši mi potrebne informacije i stručno znanje.

Klara Balić

SAŽETAK

Predmetni rad odnosi se na tematiku onečišćenja zraka, opis izvora onečišćenja te najčešćih onečišćujućih tvari zraka, mjere zaštite i utjecaj onečišćenja. Onečišćenje se smatra izravno ili neizravno unošenje tvari, vibracija, topline ili buke u okolišne sastavnice. Navedeno je najčešće uzrokovano antropogenim aktivnostima, a ono dovodi do narušavanja kvalitete okoliša i životnih uvjeta. Najvećim antropogenim onečišćivačem smatra se industrija koja zauzima udio od oko 52% u odnosu na ostale onečišćivače (poljoprivreda, promet i dr.). Jedan od najvećih problema industrije smatraju se onečišćujuće tvari koje se emitiraju prilikom provedbe tehnoloških procesa, a koje mogu biti povezane uz korištenje energenata poput prirodnog plina. Kako bi se spriječilo daljnje onečišćenje povezano uz industrije potrebno je aktivno provoditi zakonske regulative koje između ostalog propisuju i granične vrijednosti emisija u okoliš. Poštivanje propisanih graničnih vrijednosti dovest će do smanjenja onečišćenja okoliša, a samim time i usporavanja klimatskih promjena. Sve navedeno dovest će do kreiranja održivih industrija i održivog gospodarskog rasta, ali i do podizanja životnih uvjeta stanovništva. Osim poštivanja zakonskih regulativa jedan od ciljeva Republike Hrvatske i Europske unije je i tranzicija na energente s manjim potencijalom globalnog zagrijavanja ili nultom stopom emisija, a kao jedan od potencijalnih energenata odnosno goriva kojim se želi postići klimatska neutralnost je i vodik. Nadalje, sukladno svemu spomenutom u praktičnom dijelu predmetnog rada obuhvatit će se i uređenost spomenute problematike onečišćenja zraka kroz zakonske legislative Republike Hrvatske. Praktični dio predmetnog rada obavlja se u ovlaštenom akreditiranom laboratoriju Međimurje ZAING d.o.o., a ima za cilj utvrđivanje izmjerenih koncentracija pojedinih onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora. Mjerenje se, prema akreditiranim normama, provodi na pogonu renomirane prehrambene industrije. U radu je prikazan cilj mjerenja, opisan je uređaj kojim se provodi mjerenje te mjerno mjesto, a na kraju su prikazani i rezultati mjerenja usporedno s graničnim vrijednostima emisija propisanih pripadajućom zakonskom legislativom odnosno Uredbom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21). Komparacija rezultata prikazat će stanje prilagodbe promatranog operatera s propisima Republike Hrvatske, odnosno prikazat će je li tehnološki proces operatera prilagođen važećim propisima Republike Hrvatske.

Ključne riječi: *emisije u zrak, granične vrijednosti emisija, izvori onečišćenja, mjerenje emisija, onečišćenje zraka, onečišćujuće tvari*

SADRŽAJ

1. UVOD	8
2. SASTAV ZRAKA	9
3. ONEČIŠĆENJE ZRAKA.....	10
3.1. Izvori onečišćenja zraka	14
3.1.1. Prirodni izvori onečišćenja zraka	15
3.1.2. Antropogeni izvori onečišćenja zraka	15
3.1.3. Ostale podjele izvora onečišćenja zraka.....	16
3.2. Onečišćujuće tvari	17
3.2.1. Ugljikov dioksid.....	21
3.2.2. Ugljikov monoksid.....	22
3.2.3. Dušikovi oksidi	23
3.2.4. Sumporov dioksid	23
3.2.5. Ozon	24
3.2.6. Lebdeće čestice	25
3.2.7. Olovo.....	26
3.3. Prijenos onečišćenja zrakom	26
4. ZAKONSKA REGULATIVA	28
4.1. Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora	29
5. PRIMJER ISPITNOG LABORATORIJA ZA MJERENJE EMISIJA – MEĐIMURJE ZAING D.O.O.	31
6. OPIS PROBLEMSKIH PITANJA I POSLOVA OBAVLJANJA	32
6.1. Mjerenje emisijskih veličina otpadnih plinova iz malih, srednjih i velikih uređaja za loženje	32
6.2. Primjer povremenog mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnog izvora (mali uređaj za loženje)	39
6.2.1. Određivanje cilja mjerenja	40
6.2.2. Opis uređaja i mjernog mjesta.....	42
6.2.3. Rezultati mjerenje emisijskih veličina i mjernih parametara	43
6.2.4. Ocjena sukladnosti rezultata mjerenja emisija	45
7. ZAKLJUČAK	46

LITERATURA	47
POPIS SLIKA	50
POPIS TABLICA	51

1. UVOD

Jedan od najvećih problema i izazova današnjice povezan je uz onečišćenje zraka uzrokovano povećanjem količine stakleničkih plinova u atmosferi što vodi do intenziviranja efekta staklenika kao inicijatora globalnog zagrijavanja i klimatskih promjena. Izvori onečišćenja zraka mogu biti prirodni i antropogeni te se ni jedni od navedenih ne mogu u potpunosti eliminirati, no antropogeni se izvori nastoje smanjiti na minimalne razine. Najvećim antropogenim onečišćivačem smatra se industrija s oko 52% ukupnih emisija u zrak [1], a u ostale značajnije izvore svrstavaju se transport, poljoprivreda, proizvodnja električne i toplinske energije. Gospodarski rast i razvoj kojem se teži u svakoj državi baziran je, između ostalog, na industrijama koje kroz nepokretne emisijske izvore iz tehnološkog procesa te kroz uređaje za loženje generiraju stakleničke plinove koji se emitiraju u zrak. Jedan od bitnih ciljeva koji se želi postići kroz implementaciju raznih legislativa je smanjiti utjecaj industrija, koje su neizostavni faktor gospodarskog rasta, na onečišćenje okoliša, a u tom smislu i na onečišćenje zraka. U tu svrhu, zakonski su propisane mjere i načini za smanjivanje emisija stakleničkih plinova u zrak iz nepokretnih izvora te u Uredbi o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21) propisane granične vrijednosti (GVE) za spomenute emisije. Temeljem propisa određene su djelatnosti za koje se provode kontinuirana mjerenja emisija u zrak, dok se za ostale djelatnosti, ovisno o kapacitetima provode povremena mjerenja u određenim rokovima.

U praktičnom dijelu predmetnog rada u suradnji s ovlaštenim laboratorijem ispitivale su se emisije u zrak koje se generiraju u energetsom postrojenju odnosno toplovodnoj kotlovnici renomiranog prehrambenog poduzeća. Predmetni uređaj za loženje na kojem se provodilo ispitivanje opisano je kroz tehničke karakteristike i kategoriziran ovisno o svojoj snazi odnosno toplinskoj snazi ložišta i korištenom energentu. Nakon izmjerenih emisija provela se analiza rezultata te utvrđivanje sukladnosti dobivenih vrijednosti s graničnim vrijednostima propisanih Uredbom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21). Zaključak predmetnog rada predstavljat će doprinos u nastojanju provedbe zakonske legislative te potvrdu provođenja politike Republike Hrvatske, ali i Europske Unije da se emisije stakleničkih plinova iz industrija nastoje zadržati u granicama propisanih graničnih vrijednosti.

2. SASTAV ZRAKA

Osnovna ljudska potreba koja ujedno ima ključnu ulogu za dugotrajan i zdrav život je čist zrak. Pojam atmosfera označuje omotač oko Zemljine površine koji čini smjesa različitih plinova, a od kojih su najzastupljeniji dušik (78%) i kisik (21%), a prisutni su još i argon (1%), vodena para, ugljikov dioksid te plemeniti plinovi u tragovima (neon, helij, metan, kripton, ksenon i drugi). Bez atmosfere život na Zemlji ne bi bio moguć. Pojam zrak se odnosi na najniži, prizemni sloj atmosfere – troposferu [2]. Troposfera sadrži tri četvrtine cjelokupnog zraka, no osim prirodno prisutnih plinova sadržava i značajne količine onečišćujućih tvari nastalih antropogenim aktivnostima, uglavnom one koji nisu sigurni za disanje i zdravlje ljudi te utječu na klimatske promjene i globalno zatopljenje [3].

Plinovi u tragovima imaju značajan utjecaj na ravnotežu Zemljina zračenja te na kemijska svojstva atmosfere. U posljednjih nekoliko desetljeća njihova zastupljenost se promijenila. Mjerenja od 1975. godine ukazuju na povećane koncentracije ugljikova dioksida (CO_2), metana (CH_4) i dušikova oksida (N_2O) te halogenih spojeva u atmosferi koji čine stakleničke plinove [2]. Spomenute onečišćujuće tvari kao i druge rezultirane prirodnim ili antropogenim aktivnostima najprije dospijevaju u najniži sloj atmosfere, u troposferu, a zatim se nakon određenog vremena premještaju u više slojeve. Brzina premještaja onečišćujućih tvari ovisi o njihovim značajkama te o vremenskim uvjetima [2].

Staklenički plinovi uzrokuju efekt staklenika, drugim riječima, formiraju atmosferski toplinski omotač kojim se apsorbira infracrveno zračenje s površine zemlje, a zatim se dio apsorbirane energije vraća natrag prema površini Zemlje. Nakon industrijske revolucije, povećane su količine lebdećih čestica u zraku, posebice u razvijenim državama. Lebdeće čestice zajedno sa stakleničkim plinovima imaju negativne utjecaje na stratosferski ozon, klimu, sastavnice okoliša te na zdravlje ljudi [2].

3. ONEČIŠĆENJE ZRAKA

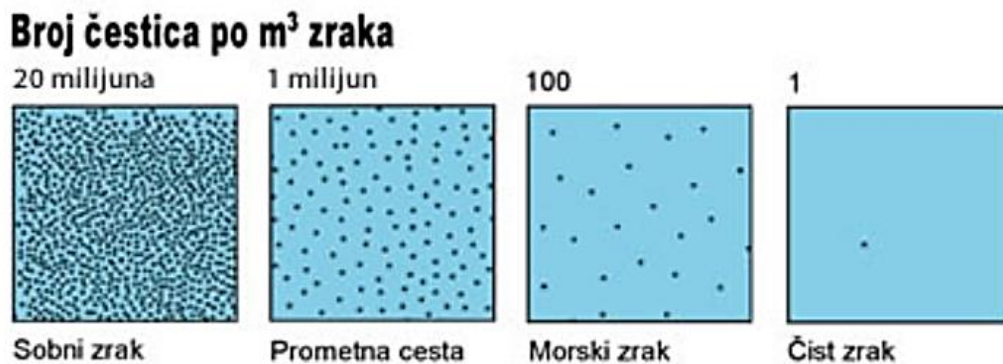
Sukladno članku 4., stavku 1., Zakona o zaštiti okoliša („Narodne novine“ br. 80/13, 153/13, 78/15, 12/18, 118/18), onečišćenjem se smatra izravno ili neizravno unošenje tvari, vibracija, topline ili buke u zrak, vodu ili zemlju, uzrokovanu antropogenim aktivnostima, što može imati štetne i negativne utjecaje na zdravlje ljudi i kvalitetu okoliša, može dovesti do oštećenja materijalne imovine te narušiti ili umanjiti vrijednost i druge pravovaljane načine korištenja okoliša [4]. Onečišćeni zrak je sukladno Zakonu o zaštiti zraka („Narodne novine“, br. 127/19, 57/22), članku 9., stavku 1. definirani kao zrak čija je kvaliteta takva da može narušiti zdravlje, kvalitetu življenja i/ili štetno utjecati na bilo koju sastavnicu okoliša [5].

Onečišćenje zraka predstavlja prisutnost ili unos štetnih tvari u atmosferu, u određenoj koncentraciji, trajanju i uvjetima koji prouzrokuju negativni utjecaj na sastavnice okoliša, biljni i životinjski svijet te zdravlje ljudi [6]. Također, definira se kao onečišćenje okoliša bilo kojim kemijskim, fizičkim ili biološkim sredstvom koje mijenja prirodne karakteristike atmosfere. Spomenute tvari se prirodno ne nalaze u sastavu atmosfere [7]. Onečišćenje zraka prouzrokovano je onečišćujućom tvari, a to je bilo koja tvar ili skupina tvari emitirana u atmosferu kao rezultat prirodnih ili antropogenih procesa. Takvo onečišćenje ima potencijal za izazivanje ozbiljnih posljedica po okoliš [6]. Onečišćujuća tvar najčešće je manifestirana kao aerosol ili lebdeća čestica (ovisno o veličini) te kemijskom sastavu. Čestice veće od 10 μm očituju se kao prašina, čestice između 1 μm i 10 μm očituju se kao aerosol, dok se čestice veličine manje od 1 μm očituju u obliku dima [8].

Značajnije onečišćenje zraka zabilježeno je u doba industrijske revolucije na što je utjecalo izgaranje fosilnih goriva te korištenje otvorenih ložišta. Iako je izgaranje fosilnih goriva i danas vodeći izvor onečišćenja, ono se još uvijek koristi, a koristit će se i dalje u budućnosti jer ih obnovljivi izvori energije (vjetar, Sunce, geotermalna energija, plima i oseka), sudeći prema istraživanjima, ne mogu zamijeniti u potpunosti [6].

Uz onečišćenje zraka otvorenog prostora, postoji i onečišćenje zatvorenog prostora koje također može biti uzrokovano prirodnim mehanizmima i antropogenim aktivnostima. Ono se odnosi na količinu kemijskih, bioloških i fizičkih onečišćujućih tvari u zraku u nekom prostoru. Često može imati štetnije utjecaje na zdravlje ljudi obzirom da ljudi više vremena provode u

zatvorenim prostorima. Izvori onečišćenja zatvorenog prostora su građevinski materijali, boje, otapala, sredstva za čišćenje, uređaji za grijanje ili kuhanje, duhanski dim, uredski strojevi i razni drugi [8]. Glavne onečišćujuće tvari u zatvorenim prostorima koje se praktički mogu pronaći u svakom domu su formaldehid, azbest, ugljični monoksid, dušikovi oksidi, sumporni oksidi, benzen, poliaromatski spojevi, čestice, otrovni metali (olovo, živa, kadmij i krom) i hlapivi organski spojevi [9].

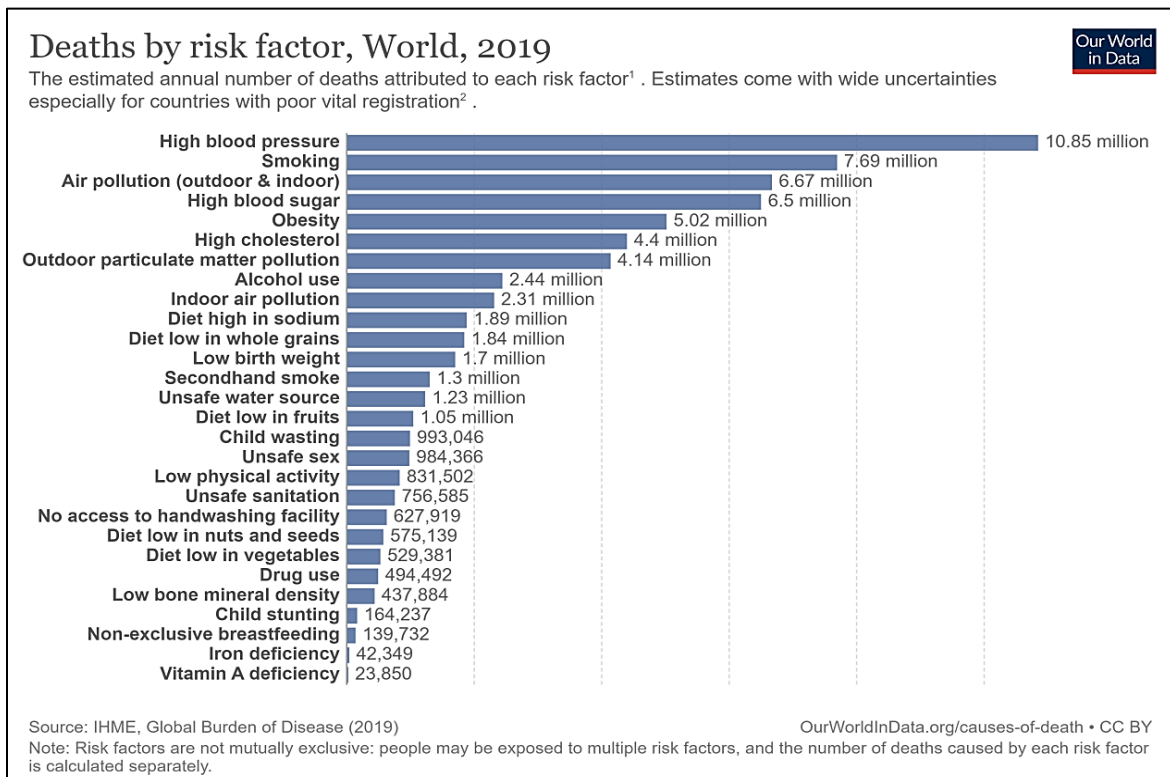


Slika 1. Broj čestica po m³ zraka obzirom na onečišćeno područje [10]

Onečišćivači emitiraju velike količine ugljičnog monoksida (CO), ozona (O₃), dušikova dioksida (NO₂), sumporova dioksida (SO₂) i lebdećih čestica (PM) koji uzrokuju respiratorne i druge bolesti te su jedan od glavnih izvora obolijevanja i smrtnosti. Podaci Svjetske zdravstvene organizacije, u daljnjem tekstu WHO (engl. *World Health Organization*), ukazuju da sva svjetska populacija udiše onečišćeni zrak. Dakle, zrak koji danas udišemo sadrži visoke razine onečišćujućih tvari, pri čemu su najviše izložene zemlje s niskim i srednjim dohotkom [7]. Može se pretpostaviti kako siromašnije države nemaju financijska sredstva za ulaganje u obnovljive izvore energije, u modernizaciju tehnoloških procesa (primjerice ugradnja filtera na dimnjacima, elektrostatski taložnici i dr.), elektrifikaciju prometa i slično, čime bi se smanjile emisije onečišćujućih tvari u zrak i samim time poboljšala kvaliteta zraka koja utječe na zdravlje ljudi .

Kvaliteta zraka usko je povezana s klimom i ekosustavima Zemlje na globalnoj razini. Mnogi uzročnici onečišćenja zraka, prvenstveno izgaranje fosilnih goriva, izvori su emisije stakleničkih plinova. Stoga države svojim zakonima reguliraju emisije onečišćujućih tvari u zrak kako bi se ublažile klimatske promjene i globalno zatopljenje, a samim time i utjecaj onečišćenja

na biljni i životinjski svijet te zdravlje ljudi [7]. Prema istraživanjima WHO-a onečišćenje zraka je povezano s oko 7 milijuna prijevremenih smrti godišnje [7].



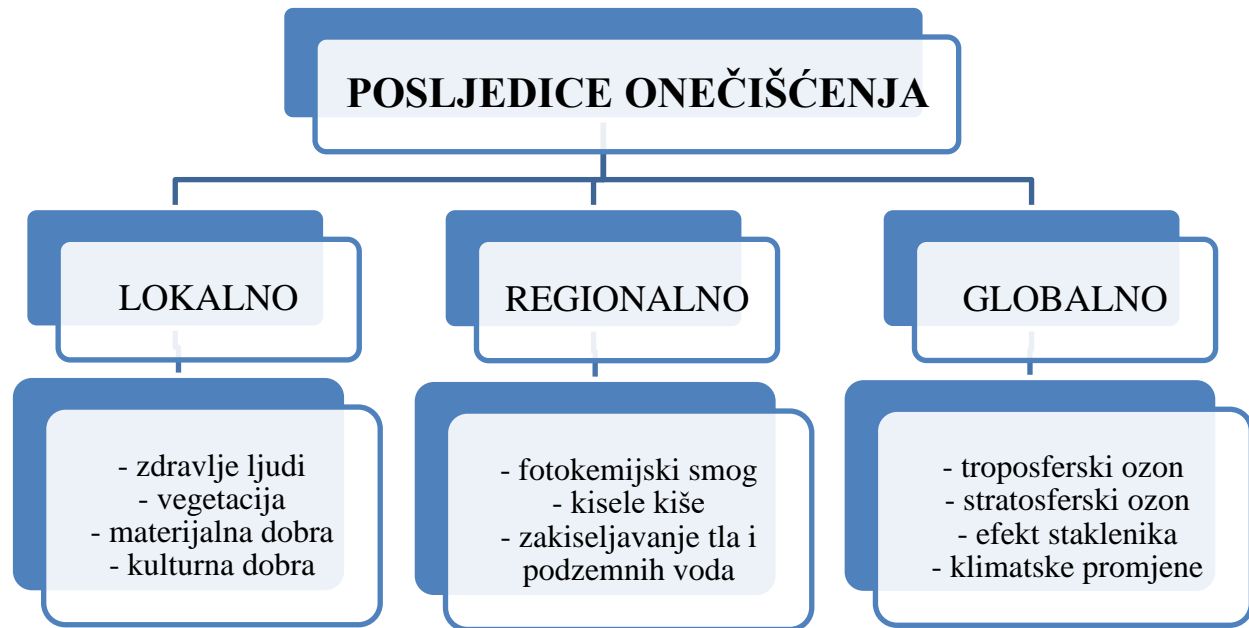
Slika 2. Procijenjeni godišnji broj smrtnih slučajeva pripisan svakom čimbeniku rizika [11]

Slika 2 prikazuje procijenjeni godišnji broj smrtnih slučajeva u 2019. godini od različitih faktora (visoki krvni tlak, pušenje, onečišćenje zraka, hiperglikemija i ostali). Od onečišćenja zraka (vanjskog i unutarnjeg onečišćenja) umrlo je oko 6,67 milijuna ljudi te ovaj faktor čini treće mjesto po broju umrlih od svih navedenih faktora u 2019. godini.

Raznim propisima, posljednjih desetljeća, u Europi su se značajno smanjile emisije onečišćujućih tvari u zrak što je rezultiralo poboljšanoj kvaliteti zraka. Međutim, koncentracije onečišćujućih tvari u zraku još uvijek su previsoke, a problemi koji se vežu uz tematiku kvalitete zraka nisu u potpunosti uklonjeni [12].

Danas se problem onečišćenja zraka razmatra na lokalnoj, regionalnoj i globalnoj razini. Onečišćenje s lokalne razine potječe od velikog broja malih izvora onečišćenja ili s jednog ili nekoliko velikih izvora onečišćenja. Onečišćenje je štetnije kada se ispust emisija nalazi na nižoj visini. Primjerice, u blizini prometnica, posebice autocesta, prisutne su visoke koncentracije

ugljikova monoksida iz motornih vozila, a oko pročištača otpadnih voda i kompostana najintenzivnije je isparavanje hlapivih organskih spojeva pri procesu biorazgradnje. U urbanim sredinama s izraženim antropogenim aktivnostima i razvijenom industrijom intenzivno je ispuštanje onečišćujućih tvari iz stacionarnih izvora. Prvenstveno dolazi do emitiranja primarnih onečišćujućih tvari poput CO, CO₂, SO₂, NO_x koje se u atmosferi različitim kemijskim reakcijama pod utjecajem sunčevog zračenja i drugih faktora pretvaraju u sekundarne onečišćujuće tvari (npr. kisele kiše, troposferski ozon i dr.). U ruralnim sredinama najveći uzrok onečišćenja predstavlja intenzivna poljoprivreda uz koju su također povezane značajne emisije stakleničkih plinova u atmosferu. Primarne i sekundarne onečišćujuće tvari, bilo iz urbanih ili ruralnih sredina, uzrokuju onečišćenje zraka što za uzrok ima degradaciju kvalitete zraka. Pri regionalnoj razini, uz postojeće onečišćenje tog područja, dodatno onečišćenje se prenosi zrakom primarnim i sekundarnim onečišćujućim tvarima iz urbanih sredina. Prilikom prijenosa onečišćenja na veće udaljenosti onečišćujuće tvari se transformiraju, podliježu kemijskim reakcijama što za rezultat ima nastajanje kiselih kiša. Veliki problem je smanjena vidljivost koja nastaje kada različite čestice, čađa i dim, stvaraju sumaglicu koja može biti različitog intenziteta. Primjer globalnog onečišćenja zraka je ispuštanje u zrak halogeniranih ugljikovodika (engl. *CFCs – chlorofluorocarbons*) koji u stratosferi uništavaju ozon koji štiti od ultraljubičastog zračenja. WHO je sredinom 20. stoljeća, potaknuta problemima onečišćenja zraka na lokalnoj, regionalnoj i globalnoj razini, pokrenula raspravu kojom je potaknula razvijene zemlje na uvođenje zakona i propisa na nacionalnoj razini radi smanjenja i otklanjanja onečišćenja. Obzirom da su onečišćujuće tvari jedne države često stvarale štete u drugoj državi, ubrzo su uvedeni međudržavni i međunarodni dogovori. Zahvaljujući poduzetim aktivnostima i mjerama, u današnje vrijeme postoje međunarodni protokoli, direktive, zakoni i propisi kojima se države potpisnice obvezuju na poduzimanje mjera za smanjenje i sprječavanje ispuštanja raznih onečišćujućih tvari u zrak koji imaju negativne učinke na ljudsko zdravlje, oštećuju ozonski sloj, utječu na globalno zagrijavanje i klimatske promjene. Republika Hrvatska je spomenuto kao država potpisnica ugradila u svoje zakonodavstvo [2].



Slika 3. Posljedica onečišćenja zraka s obzirom na razmatranu razinu [13]

Onečišćenje zraka jedan je od najhitnijih ekoloških problema i jedan je od kritičnih izazova s kojima se susreću moderna društva. Onečišćenje zraka odgovorno je za velike štetne učinke na ljudsko zdravlje, životinje, prirodne ekosustave i okoliš koji je stvorio čovjek. Također je odgovoran za klimatske promjene zbog pojačanog učinka staklenika, kiselih kiša i oštećenja ozonskog omotača koji predstavljaju važne globalne ekološke probleme [9].

3.1. Izvori onečišćenja zraka

Glavni izvori onečišćenja zraka mogu biti prirodnog ili antropogenog podrijetla, a također postoje i pokretni i nepokretni izvori onečišćenja. Izvorom se smatra određeni proces ili objekt kojima se onečišćenje emitira u atmosferu [14].

3.1.1. Prirodni izvori onečišćenja zraka

Prirodni izvori onečišćenja vanjski su utjecaji na koje čovjek ne može utjecati te su sastavni dio svakodnevice. U prirodne izvore onečišćenja ubrajaju se:

- vulkanska prašina, pepeo i plinovi,
- pustinjska prašina,
- produkti izgaranja šumskih požara,
- produkti životinjskog, biljnog i mikrobiološkog podrijetla,
- aeroalergeni,
- prašina izvanzemaljskog podrijetla (meteoriti),
- čestice morske soli,
- plinovi iz močvara,
- magla,
- prirodna radioaktivnost,
- prirodna isparavanja.

Među najznačajnije prirodne onečišćujuće tvari atmosfere spadaju oksidi dušika (NO_x), sumporov dioksid (SO_2), metan (CH_4), amonijak (NH_3) i ugljikovodici [14].

3.1.2. Antropogeni izvori onečišćenja zraka

Antropogeni ili umjetni izvori onečišćenja uzrokovani su raznim procesima i aktivnostima kojima upravlja čovjek, a u njih se ubrajaju:

- onečišćenje uzrokovano proizvodnjom električne i/ili toplinske energije (elektrane i toplane),
- onečišćenje uzrokovano radom industrijskih postrojenja (npr. kemijska industrija, tekstilna industrija, metalurgija i slično),
- onečišćenje uzrokovano poljoprivredom (spaljivanje, zaprašivanje i dr.),
- onečišćenje uzrokovano transportom,
- onečišćenje uzrokovano otpadom (spaljivanje, odlaganje),

- onečišćenje uzrokovano ostalim djelatnostima i aktivnostima koje nisu obuhvaćene u gornjim skupinama, primjerice procesi tiskanja, bojanja, rušenja objekta, kemijskog čišćenja, zaprašivanja insekata i drugo [15].

Glavni antropogeni izvor onečišćenja proizlazi iz procesa sagorijevanja. Pritom se podrazumijeva sagorijevanje iz kućanstva te industrijskih postrojenja gdje nepotpunim sagorijevanjem nastaje dim, a sumporni spojevi izgaraju u okside sumpora. Kombinacija dima i sumporovog dioksida u zraku u prisustvu magle rezultiraju stvaranjem smoga koji negativno utječe na zdravlje [16].

Razlika između antropogenih i prirodnih onečišćivača izražava se u veličini masenog protoka i površini ispuštanja. Za prirodne izvore karakteristično je da se u atmosferu emitira maleni maseni protok, a površina emisije je velika (izuzetak su vulkanske erupcije). S druge strane, emitirani maseni protok antropogenih izvora je velik, dok je površina emisije mala. Emitirani maseni protok definiran je kao protok onečišćujuće tvari na mjestu ispusta iz nekog izvora tijekom ispuštanja otpadnih plinova u okoliš, a izražava se u kilogramima po satu (kg/h) [6].

3.1.3. Ostale podjele izvora onečišćenja zraka

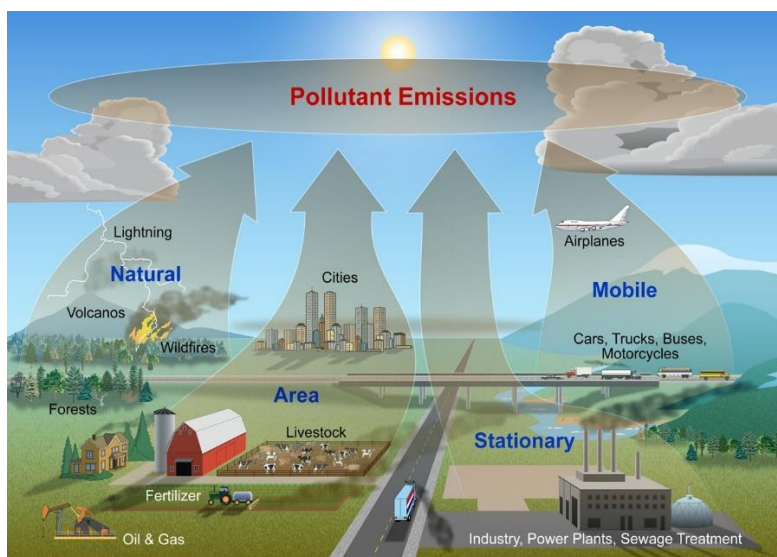
Izvori onečišćenja zraka su podijeljeni na nepokretne i pokretne emisijske izvore.

Nepokretne izvore dijelimo na točkaste i difuzne. Sukladno Zakonu o zaštiti zraka („Narodne novine“, br. 127/19, 57/22), članku 10., stavku 2., točkasti izvori su „izvori kod kojih se onečišćujuće tvari ispuštaju u zrak kroz za to oblikovane ispuste (postrojenja, tehnološki procesi, industrijski pogoni, uređaji, građevine i slično), a difuzni izvor su „izvori kod kojih se onečišćujuće tvari unose u zrak bez određenog ispusta/dimnjaka (uređaji, određene aktivnosti, površine i druga mjesta“ [5].

Pokretni izvori onečišćenja zraka sukladno Zakonu o zaštiti zraka („Narodne novine“, br. 127/19, 57/22), članku 10., stavak 3., su prijevozna sredstva koja prilikom pokreta u zrak ispuštaju onečišćujuće tvari, a u njih spadaju motorna vozila, necestovni pokretni strojevi,

željeznička vozila s vlastitim pogonom, pomorski objekti i objekti unutarnje plovidbe i zrakoplovi [5].

Spomenuti izvori moraju biti opremljeni i održavani na način da prilikom svog rada u zrak ne ispuštaju odnosno ne unose onečišćujuće tvari u količinama koje su veće od propisanih graničnih vrijednosti kako ne bi narušili kvalitetu zraka [5].



Slika 4. Izvori onečišćenja zraka [17]

Slika 4. prikazuje spomenute izvore onečišćenja koji su podijeljeni na prirodne i antropogene te na pokretne i nepokretne izvore. Ujedno ti izvori čine primarne onečišćujuće tvari zraka koji se emitiraju izravnu u atmosferi gdje pod utjecajem sunčevog zračenja i drugih faktora dolazi do kemijskih reakcija i mikrofizičkih procesa slijedom kojih nastaju sekundarne onečišćujuće tvari (npr. kisele kiše, troposferski ozon i dr.).

3.2. Onečišćujuće tvari

Onečišćujuće tvari se prirodnim i antropogenim aktivnostima ispuštaju u zrak u obliku čestica i plinova, a one kao takve imaju izravne ili neizravne negativne utjecaje na fizikalne i/ili biološke sustave. Prije nego li onečišćenje iz atmosfere padne na površinu Zemlje, ono prelazi iz jedne faze u drugu, izmjenjuju se suha, plinovita i kapljevita faza [2].

Agencija za zaštitu okoliša SAD-a (engl. *U.S. Environmental Protection Agency* – EPA) odredila je šest glavnih onečišćujućih tvari zraka, a to su ugljikov monoksid (CO), dušikov dioksid (NO₂), sumporov dioksid (SO₂), ozon (O₃), lebdeće čestice (PM) i olovo (Pb) [18]. Navedene onečišćujuće tvari su označeni kao „kriterijske“ onečišćujuće tvari jer se reguliraju standardima kvalitete zraka temeljenim na znanstvenim smjernicama za očuvanje ljudskog zdravlja i okoliša. Standardima su definirane maksimalno dopuštene koncentracije navedenih onečišćujućih tvari u zraku kako bi se osigurala sigurnost i kvaliteta zraka za stanovništvo i okoliš. Ove kriterijske onečišćujuće tvari, točnije njihove koncentracije, pokazatelji su ukupne kvalitete zraka [18].

Plinovi koji su od ključnog značaja kao kriteriji za onečišćenje zraka, u urbanim se područjima ispuštaju izravno u zrak iz fosilnih goriva kao što su loživo ulje, benzin i prirodni plin koji izgaraju u elektranama, automobilima i sličnim izvorima izgaranja. U industrijaliziranim zemljama sve kriterijske onečišćujuće tvari osim olova se ispuštaju u vrlo visokim količinama, često mjerene u milijunima tona godišnje [18]. Njihova regulacija se uglavnom provodi putem postavljanja standarda kvalitete zraka, što su najveće dopuštene koncentracije pojedinih kriterijskih onečišćujućih tvari u zraku, bez obzira na izvor njihovog ispuštanja [18].

Izvori, prihvatljive koncentracije i učinci kriterijskih onečišćujućih tvari sažeti su u tablici 1 [18].

Tablica 1. Šest glavnih onečišćujućih tvari zraka prema EPA-i [18]

ONEČIŠĆUJUĆE TVARI	IZVORI	NAJVEĆA DOPUŠTENA KONCENTRACIJA U ATMOSFERI	EKOLOŠKI RIZICI	RIZICI ZA LJUDSKO ZDRAVLJE
Ugljikov monoksid (CO)	Ispušni plinovi iz automobila, požari, industrijski procesi	35 ppm (1-satni period), 9 ppm (8-satni period)	Doprinosi stvaranju smoga	Pogoršava simptome bolesti srca, uzrokuje probleme s vidom, smanjuje fizičke i mentalne sposobnosti kod zdravih ljudi

Dušikovi oksidi (NO i NO₂)	Ispušni plinovi iz automobila, proizvodnja električne energije, industrijski procesi	0,053 ppm (1-godišnji period)	Doprinosi stvaranju smoga, oštećenje lišća biljaka	Upala i iritacija dišnih puteva
Sumporov dioksid (SO₂)	Proizvodnja električne energije, izgaranje fosilnih goriva, industrijski procesi, ispušni plinovi iz automobila	0,03 ppm (1-godišnji period), 0,14 ppm (24-satni period)	Glavni uzrok sumaglice, doprinosi stvaranju kiselih kiša, reagira stvarajući lebdeće čestice	Poteškoće s disanjem, osobito za osobe s astmom i bolestima srca
Ozon (O₃)	Dušikovi oksidi (NO _x) i hlapljivi organski spojevi (VOC) iz industrijskih i automobilskih emisija, benzinskih para, kemijskih otapala i električnih pogona	0,075 ppm (8-satni period)	Ometa sposobnost određenih biljaka da dišu, što dovodi do povećane osjetljivosti na druge stresore iz okoliša (npr. bolesti, loše vrijeme)	Smanjena funkcija pluća, iritacija i upala dišnih puteva
Lebdeće čestice (PM₁₀, PM_{2,5})	Izvori primarnih lebdećih čestica uključuju požare, dimnjake, gradilišta i neasfaltirane ceste; izvori sekundarnih lebdećih čestica uključuju reakcije između plinovitih kemikalija koje emitiraju elektrane i automobili	150 µg/m ³ (24-satni period za PM ₁₀), 35 µg/m ³ (24-satni period za PM _{2.5})	Pridonosi stvaranju izmaglice, kao i kisele kiše, koja mijenja pH ravnotežu vodenih putova i oštećuje lišće, zgrade i spomenike	Iritacija dišnih puteva, pogoršanje astme, nepravilan rad srca

Olovo (Pb)	Prerada metala, spaljivanje otpada, izgaranje fosilnih goriva	0,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (tromjesečni prosjek), 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (kvartalni prosjek)	Gubitak bioraznolikosti, smanjena reprodukcija, neurološki problemi kod kralješnjaka	Štetni učinci na više tjelesnih sustava, doprinosi poteškoćama u učenju kod djece, kardiovaskularni učinci kod odraslih
-------------------	---	--	--	---

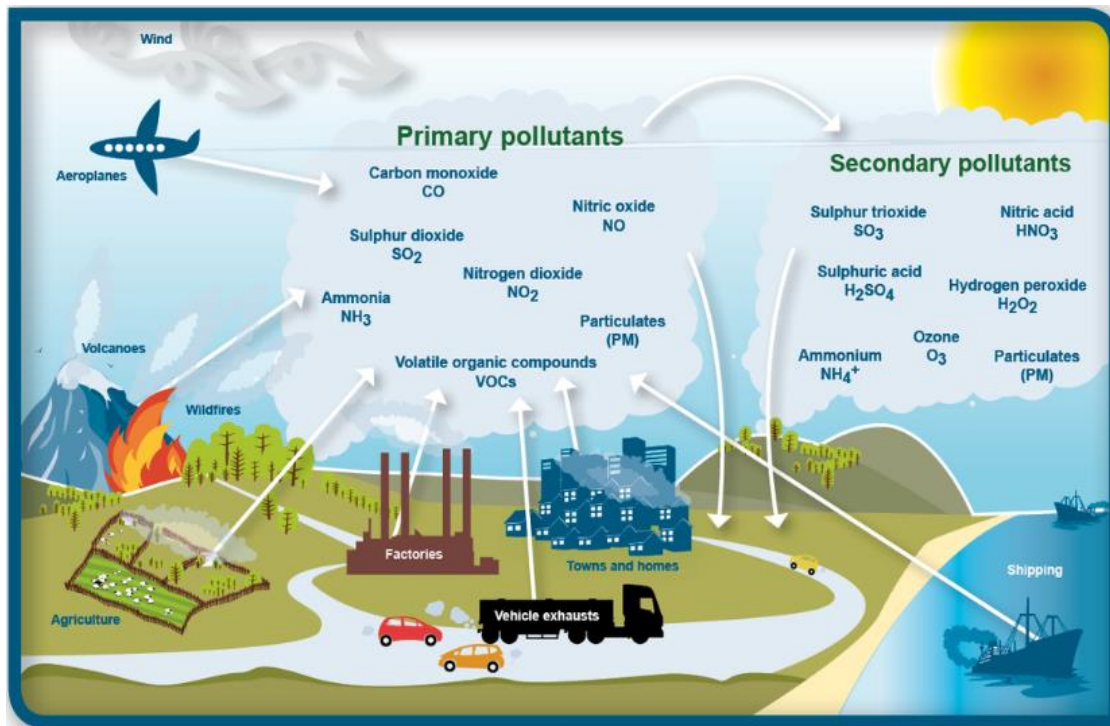
Onečišćujuće tvari zraka mogu se podijeliti u dvije kategorije, a to su primarne i sekundarne onečišćujuće tvari. Primarne onečišćujuće tvari ispuštaju se izravno u atmosferu, dok se sekundarne onečišćujuće tvari formiraju u atmosferi kada primarni dospiju u interakciju s prirodnim tvarima u atmosferi [19].

Primarne onečišćujuće tvari zraka obuhvaćaju različite tvari kao što su:

- lebdeće čestice (engl. *particulate matter* – PM) koje mogu biti u čvrstom ili kapljevitom obliku, a s obzirom na aerodinamički promjer razlikuju se čestice manje od 100 μm , čestice manje od 10 μm (PM10), čestice manje od 2,5 μm (PM2,5) te čestice manje od 0,1 μm (PM0,1),
- ugljikovi spojevi – CO, CO₂, CH₄ i hlapivi organski spojevi (engl. *volatile organic compounds* – VOC)
- sumporovi spojevi – H₂S, SO₂,
- dušikovi spojevi – NO, N₂O, NH₃,
- organski spojevi s Cl, Br i F [2].

U glavne sekundarne onečišćujuće tvari zraka ubrajaju se:

- NO₂ i HNO₃ koji su nastali u reakcijama NO s troposferskim O₃,
- O₃ od fotokemijske reakcije između NO_x i VOC,
- kapljice H₂SO₄ i HNO₃ nastale od SO₂, odnosno NO₂,
- aerosoli nitrata i sulfata,
- organski aerosoli [2].

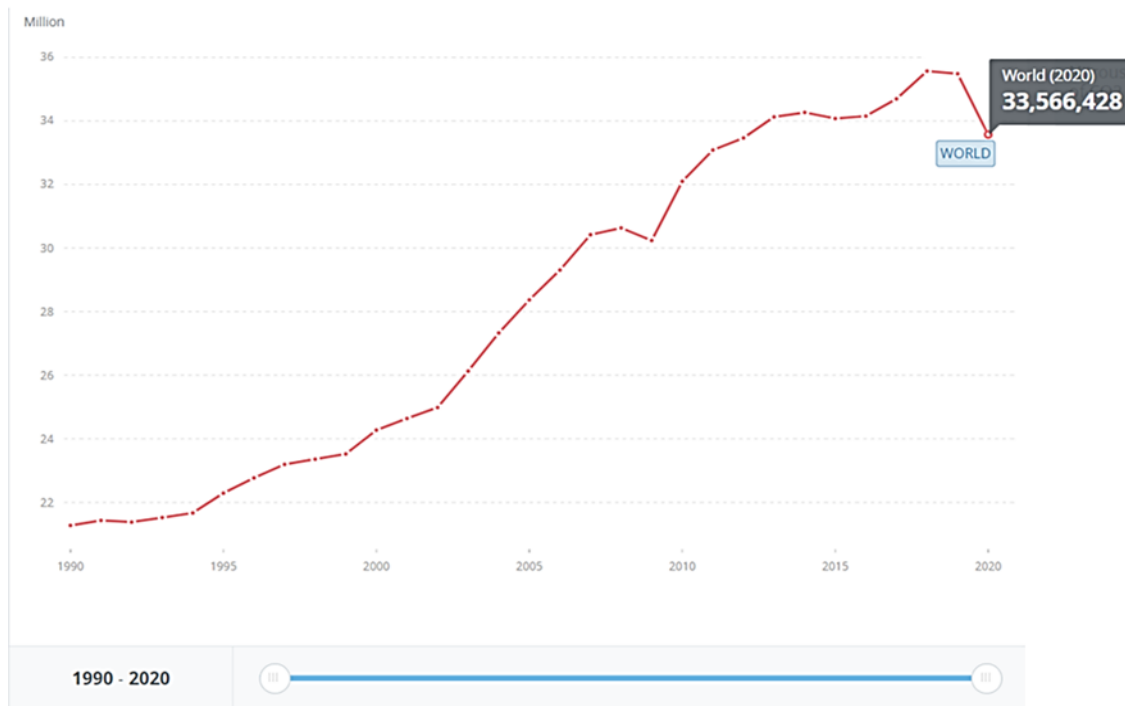


Slika 5. Primarne i sekundarne onečišćujuće tvari zraka [20]

3.2.1. Ugljikov dioksid

Ugljikov dioksid (CO₂) je između svih ugljikovih spojeva koji su prisutni u Zemljinoj atmosferi najznačajniji plin u tragovima. Iako mu je ukupna zastupljenost u atmosferi relativno mala, otprilike 0,040% [2], snažan je i glavni antropogeni staklenički plin koji ima najveći potencijal globalnog zatopljenja i klimatskih promjena jer utječe na radijacijsku ravnotežu Zemlje [2].

Izgaranje goriva na bazi ugljika od industrijske revolucije brzo je povećalo koncentracije atmosferskog ugljičnog dioksida [21]. Danas su najznačajniji izvori emisije CO₂ elektrane i energane u kojima za proizvodnju električne i toplinske energije dolazi do izgaranja fosilnih goriva, zatim promet i razni industrijski procesi poput proizvodnje amonijaka i cementa. Od prirodnih izvora CO₂ najznačajniji su šumski požari, vulkanske erupcije, raspadanje vegetacije i ispuštanje iz oceana [14, 21]. Prema procjenama, otprilike 30 – 40% ukupnog antropogenog podrijetla CO₂ otapa se u oceanima, rijekama i jezerima čime se stvara ugljična kiselina (H₂CO₃) kojim se snižava pH vrijednost vode i rezultira zakiseljavanjem [2].



Slika 6. Grafički prikaz emisija CO₂ u svijetu u kilotonama (kt) u periodu od 1990. do 2020. godine [21]

Pregledom grafikona može se zaključiti kako od 2018. godine emisije stakleničkog plina CO₂ u svijetu opadaju, a razlog tome može se pripisati raznim faktorima, primjerice povećanom uporabom obnovljivih izvora energije, zatim uporabom električnih vozila, filterima na industrijskim postrojenjima, uvođenjem strožih zakona i propisa vezanih uz emisije stakleničkih plinova, a samim time povećana je svijest stanovništva prema klimatskim promjenama koja potiče na smanjenje emisija CO₂ u svakodnevnom životu.

3.2.2. Ugljikov monoksid

Ugljikov monoksid (CO) nevidljivi je plin bez mirisa koji nastaje kao rezultat nepotpunog izgaranja. To je najzastupljenija onečišćujuća tvar kriterija. Primarni izvor ugljikova monoksida su cestovna vozila na benzinski pogon, a značajne količine spomenutog plina u atmosferu emitiraju i stambeni sustavi grijanja te određeni industrijski procesi. Elektrane emitiraju relativno malo ugljičnog monoksida jer su pažljivo projektirane i njima se upravlja kako bi se povećala učinkovitost izgaranja [18]. Prirodni izvori ugljikova monoksida su vulkanske erupcije, šumski

požar, rudnici ugljena, munje, močvare i slično [22]. Izloženost ugljičnom monoksidu može biti akutno štetna budući da on lako istiskuje kisik u krvotoku, što pri dovoljno visokim koncentracijama i vremenima izloženosti dovodi do gušenja, nesvjestice i smrti [18].

3.2.3. Dušikovi oksidi

Postoji nekoliko vrsta dušikovih oksida oznake NO_x koji nastaju kada su temperature izgaranja dovoljno visoke da uzrokuju reakciju molekularnog dušika u zraku s kisikom. Ipak najveću zabrinutost izaziva dušikov dioksid (NO_2), otrovni plin crvenkastosmeđe boje i karakterističnog oštrog mirisa [18]. Najčešći antropogeni izvor NO_2 u zrak je promet, što čini otprilike polovinu od ukupnih emisija [8], a nastaje kao posljedica sporednih procesa tijekom rada motora s unutarnjim izgaranjem [14]. Ostale emisije proizlaze iz stacionarnih izvora kao što su elektrane na ugljen te ložišta na fosilna goriva. Također, velike količine dušikovih oksida u atmosferu emitiraju se tijekom prirodnih procesa (vulkanske erupcije, grmljavine, aktivnosti bakterija) [23].

Dušikov dioksid reagira u atmosferi stvarajući dušičnu kiselinu čime pridonosi problemu kiselih kiša. Osim toga, sudjeluje u stvaranju fotokemijskog smoga, crvenkastosmeđe izmaglice koja se često vidi u mnogim urbanim područjima i koja nastaje uslijed reakcija potaknutih sunčevom svjetlošću u nižim slojevima atmosfere [18].

3.2.4. Sumporov dioksid

Sumporov dioksid (SO_2) bezbojni je plin oštrog i zagušljivog mirisa, lako topljiv u vodi. Nastaje izgaranjem ugljena ili nafte koja u svom sastavu kao nečistoću sadrži sumpor. Većina emisija sumpornog dioksida dolazi iz rafinerija i postrojenja za proizvodnju električne energije, dok su emisije iz mobilnih izvora značajnije niže [18]. Sumpor se osim antropogenim izvorima emitira i prirodnim izvorima, primjerice vulkanskim erupcijama. Prema procjenama, prirodni izvori doprinose s oko 24% ukupnih emisija SO_2 , dok se preostalih 76% pripisuje antropogenim aktivnostima [6]. Sumporov dioksid u atmosferi uz prisustvo vodene pare formira otrovni smog i

kisele kiše [23], a u velikim koncentracijama je toksičan, izazva iritaciju očiju i grla, oštećuje plućno tkivo kada se udiše te sužuje dišne puteve što rezultira astmi [18].

Kako bi se smanjile emisije SO₂ u atmosferu, Europska unija provodi mjere kojima su rafinerije nafte obvezane usavršiti svoju tehnologiju radi odsumporavanja naftnih derivata [14]. Također, potrebno je zamijeniti loživo ulje koje ima sadržaj sumpora više od 1% s ekstra lako loživim uljem čiji je udio sumpora do 0,2% ili s lakim, srednjim, teškim i ekstra teškim loživim uljem čiji je maksimalni udio sumpora do 1% [8].

3.2.5. Ozon

Ozon (O₃) je vrlo reaktivan plin sastavljen od tri atoma kisika. Ozon se prirodno nalazi u stratosferi, dok se u troposferi pojavljuje radi antropogenih aktivnosti. Stratosferski ozon smanjuje količinu štetnog UV zračenja koje dopire do Zemlje [23]. Troposferski ili prizemni ozon, koji se smatra kriterijskom onečišćujućom tvari, nastaje složenim fotokemijskim reakcijama između dušikovog dioksida (NO₂) i hlapivih organskih spojeva (VOC) u prisutnosti sunčeve svjetlosti [24].

Obzirom da motorna vozila ispuštaju velike količine dušikova oksida i hlapivih organskih spojeva u zrak, u velikim urbanim područjima s dovoljno sunčeve svjetlosti je fotokemijski smog česta pojava [24]. Ostali značajni izvori VOC-a su kemijska postrojenja, benzinske pumpe, boje na bazi ulja, autolimarske radionice i tiskare [24]. Različite geografske i vremenske karakteristike, kao što su planine koje mogu ometati cirkulaciju zraka i temperaturne inverzije u troposferi, dodatno doprinose akumulaciji onečišćenja zraka i stvaranju fotokemijskog smoga [18].

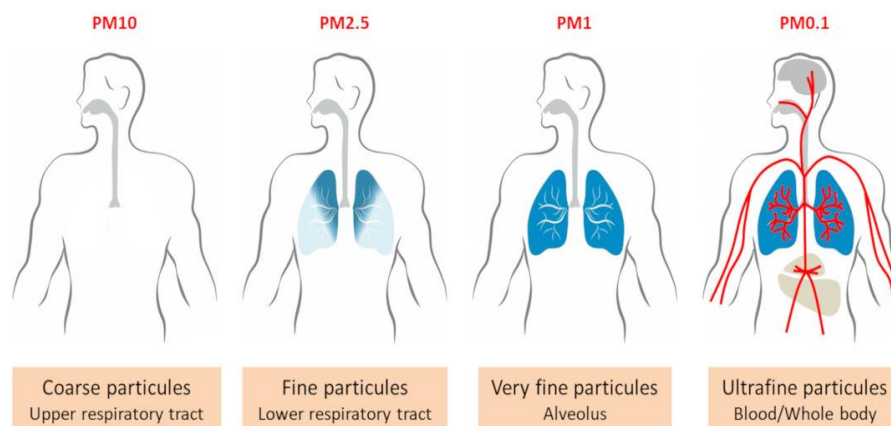
Stratosferski ozon, kao što je već spomenuto ima dobar učinak na ljudsko zdravlje iz razloga jer apsorbira UV svjetlo i time smanjuje izloženost ljudi štetnom UV zračenju koji uzrokuje rak kože. S druge strane, troposferski ozon je štetan. Njegovim udisanjem kemijski reagira s biološki molekulama u respiratornom traktu što dovodi do brojnih učinaka na zdravlje, primjerice glavobolja, astma, gubitak daha, upala pluća, srčani udar i slično [24].

3.2.6. Lebdeće čestice

Lebdeće čestice koje se još nazivaju i suspendirane čestice (PM) predstavljaju čvrste čestice različitih veličina i porijekla, a u zraku se pojavljuju kao prašina, čađa, dim, pepeo te ponekad i kao minerali. Neke od njih su dovoljno velike ili tamne da se vide golim okom, dok se druge vrste lebdećih čestica mogu otkriti samo pomoću elektronskog mikroskopa [25]. Lebdeće čestice radi svojih sitnih dimenzija nemaju značajnu brzinu sedimentiranja na površinu, stoga mogu ostati raspršene u zraku dulje vrijeme, obično unutar struja ispušnih plinova. Kao što je već spomenuto, lebdeće čestice se s obzirom na njihovu veličinu mogu klasificirati prema dimenzijama u četiri skupine [6]:

- grube čestice: $< 10 \mu\text{m}$ (PM10),
- fine čestice: $< 2.5 \mu\text{m}$ (PM2.5),
- vrlo fine čestice: $< 1 \mu\text{m}$ (PM1),
- ultrafine čestice: $< 0.1 \mu\text{m}$ (PM0.1) [26].

Glavni izvori emisija čestica uključuju elektrane na fosilna goriva, procese za proizvodnju materijala poput željeza, cementa i azbesta, sustave stambenog grijanja na fosilna goriva i vozila na benzin [18]. Neki izvori čestice emitiraju izravno u okoliš, primjerice gradilišta, neasfaltirane ceste, polja, dimnjaci i požari, međutim većina čestica nastaje u atmosferi kao rezultat složenih kemijskih reakcija izazvanih emisijama onečišćujućih tvari poput sumpornog dioksida i dušikovih oksida koji potječu iz elektrana, industrijskih postrojenja i vozila [25].



Slika 7. Aerodinamički promjer lebdećih čestica i njihovo prodiranje u pluća i tijelo [26]

Veličina čestica izravno utječe na njihov potencijal za izazivanje zdravstvenih problema. Kao što je prikazano na slici 7, čestice promjera manjeg od 10 μm predstavljaju najveći problem jer imaju sposobnost ulaska duboko u pluća, a čestice 0.1 μm mogu dospjeti i u krvotok. Ulaskom lebdećih čestica u pluća i krvotok dolazi do raznih zdravstvenih problema kao što su pogoršanje astme, smanjena funkcija pluća, iritacija dišnih puteva, kašalj, otežano disanje, nepravilni rad srca, upala pluća, rak pluća te srčani udar. Osobe sa srčanim ili plućnim bolestima, djeca i stariji posebno su osjetljivi na negativne učinke izloženosti onečišćenju lebdećim česticama [25].

3.2.7. Olovo

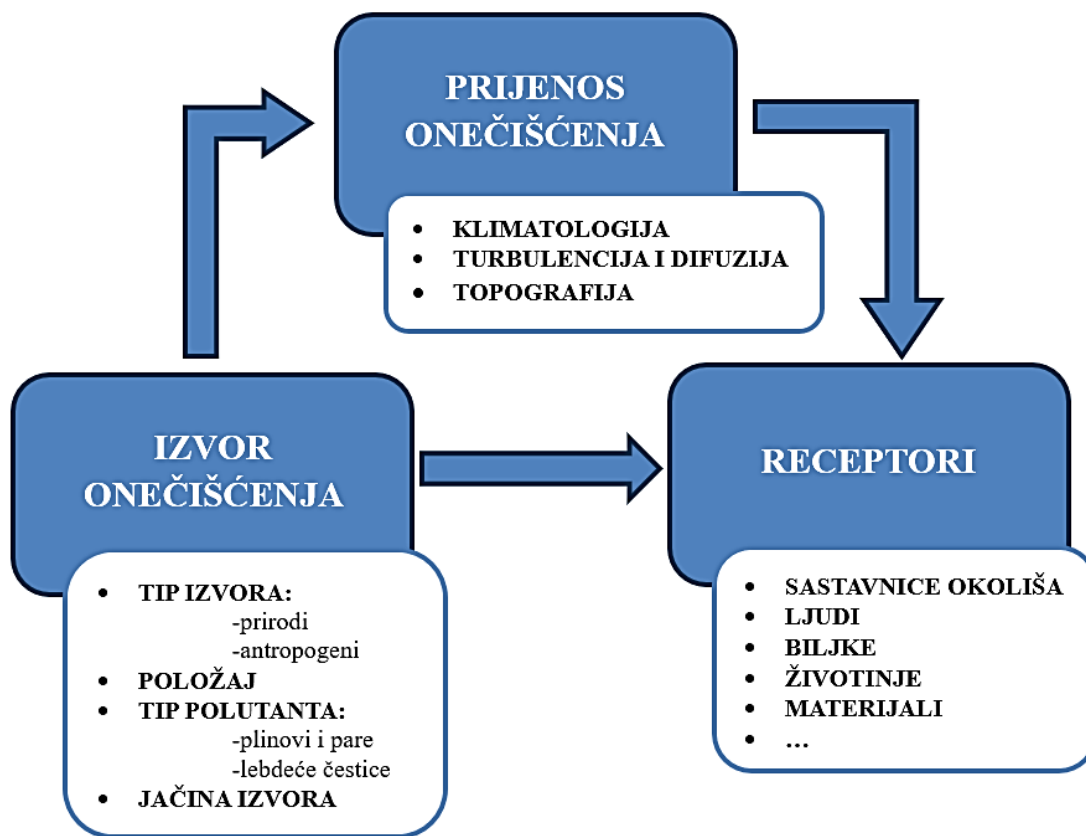
Olovo je prirodni element prisutan u malim količinama u zemljinoj kori. Iako ima neke korisne namjene, olovo se smatra jednom od glavnih onečišćujućih tvari zraka. Glavni izvori olova u zraku uključuju talionice olova, industrije za preradu ruda i metala, te zrakoplove s klipnim motorima koji koriste olovno zrakoplovno gorivo, dok su ostali izvori koji također emitiraju velike količine olova u zrak rafinerije nafte, spalionice otpada, komunalna poduzeća i proizvođači olovnih baterija. U prošlosti je glavni izvor emisija olova u okoliš bilo izgaranje benzina koji je sadržavao antidetonatorski aditiv na bazi olova, poznat kao tetraetil olovo. Međutim, u cilju održivog razvoja i smanjenja onečišćenja zraka danas je u mnogim zemljama zabranjena uporaba olova u benzinu [27].

3.3. Prijenos onečišćenja zrakom

Postoji nekoliko uvjeta koji mogu utjecati na prijenos onečišćenja zrakom:

- meteorološki uvjeti → temperatura zraka, brzina i smjer strujanja zraka, postotak vlage u zraku,
- vrsta izvora onečišćenja → točkasti ili difuzni,
- razina ispuštanja onečišćenja → visina dimnjaka ili ispuštanje blizu tla iz ispušnih cijevi vozila,
- geografske značajke → topografija okoliša [6].

Tijekom prijenosa onečišćenja zrakom može doći do razrjeđenja onečišćujućih tvari, a također ultraljubičastim zračenjem sunca u atmosferi dolazi do fotokemijskih reakcija kojima se onečišćujuće tvari pretvaraju u nove kemijske spojeve - sekundarne onečišćujuće tvari. Velika količina onečišćujućih tvari se na kraju nataloži na tlo djelovanjem sile gravitacije ili ispiranjem oborinama [6].



Slika 8. Onečišćenje zraka: izvor - prijenos – receptor [6]

4. ZAKONSKA REGULATIVA

Republika Hrvatska u cilju održivog razvoja donosi i provodi razne zakone i propise kako bi se osigurala zaštita i poboljšanje kvalitete zraka i atmosfere, ozonskog sloja, a samim time se i ublažile klimatske promjene. Krovni, tj. temeljni zakoni kojim se regulira zaštita zraka su Zakon o zaštiti okoliša („Narodne novine“ br. 80/13, 153/13, 78/15, 12/18, 118/18) te Zakon o zaštiti zraka („Narodne novine“, br. 127/19, 57/22) koji se usuglašavaju s direktivama i legislativama Europske unije [14].

Zakon o zaštiti okoliša regulira načela zaštite okoliša te zaštitu svih njegovih sastavnica, a samim time određuje niz aktivnosti kao što su monitoring, točnije praćenje stanja okoliša, postupke uzorkovanja, ispitivanja i mjerenje emisija i imisija te drugih prirodnih pojava u cilju zaštite okoliša. Također, uređuju se subjekti i dokumenti zaštite okoliša, osigura se pravo na pristup informacijama i pravosuđu u vidu zaštite okoliša, financiranje zaštite okoliša i slično [4]. Zakon o zaštiti zraka određuje mjere zaštite i poboljšanja kakvoće zraka te način njihova provođenja i organiziranja, mjere za smanjivanje i sprječavanje onečišćenja, izvještavanje i praćenje kvalitete zraka i emisija u zrak, financiranje i informacijski sustav same zaštite zraka te inspekcijски i upravni nadzor. Čisti zrak kao dio općeg dobra ima osobitu zaštitu u Republici Hrvatskoj. Na temelju krovnog zakon o zrak doneseni su mnogi podzakonski akti: [5, 14]

Sukladno Zakonu o zaštiti zraka („Narodne novine“, br. 127/19, 57/22), članku 7., u Republici Hrvatskoj mjere zaštite i poboljšanja kvalitete zraka osiguravaju Hrvatski sabor, Vlada Republike Hrvatske, tijela jedinica područne (regionalne) i lokalne samouprave, tijela državne uprave te upravna tijela jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave nadležna za obavljanje poslova zaštite okoliša. Ostale poslove u vezi kvalitete zraka obavljaju Državni hidrometeorološki zavod, ispitni laboratoriji, inspekcijсka tijela, pravne osobe s javnim ovlastima, Državni zavod za mjeriteljstvo te građani kao pojedinci ili udruge. Sukladno članku 6. istog Zakona mjere se određuju radi:

- izbjegavanja, sprječavanja ili smanjenja štetnih posljedica na ljudsko zdravlje, kvalitetu življenja i okoliš u cjelini,
- sprječavanja i smanjivanja onečišćivanja koja utječu na kvalitetu zraka,

- očuvanja kvalitete zraka ako je zrak čist ili neznatno onečišćen te poboljšavanja kvalitete zraka u slučajevima onečišćenosti,
- korištenja učinkovitijih tehnologija s obzirom na potrošnju energije te poticanja uporabe obnovljivih izvora energije u svrhu smanjenja doprinosa onečišćenju zraka,
- uspostave, održavanja i unapređivanja cjelovitog sustava upravljanja kvalitetom zraka na teritoriju Republike Hrvatske,
- procjene kvalitete zraka i pribavljanja odgovarajućih podataka o kvaliteti zraka na temelju standardiziranih metoda i mjerila koje se primjenjuju na području Europske unije,
- osiguravanja dostupnosti javnosti informacija o kvaliteti zraka i
- izvršenja obveza preuzetih međunarodnim ugovorima i sporazumima kojih je Republika Hrvatska stranka te sudjelovanja u međunarodnoj suradnji u području zaštite zraka [5].

4.1. Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora

Vlada Republike Hrvatske na temelju Zakona o zaštiti zraka („Narodne novine“, br. 127/19, 57/22) te Zakona o Vladi Republike Hrvatske („Narodne novine“, br. 150/11, 119/14, 93/16, 116/18, 80/22) 14. travnja 2021. godine donijela je Uredbu o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21) [28].

Granična vrijednost emisija (u daljnjem tekstu GVE) sukladno Uredbi o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21), članku 4. stavku 3., je definirana kao najveća dopuštena emisija koja je izražena koncentracijom onečišćujućih tvari u otpadnim plinovima i/ili je izražena količinom ispuštanja/unošenja onečišćujućih tvari u određenom vremenu [28].

Emisije onečišćujućih tvari iz točkastih izvora utvrđuju se mjerenjem na ispustu, a svako prethodno razrjeđivanje se zanemaruje. Iznimno se emisije utvrđuju i izračunavanjem. Izmjerene

vrijednosti onečišćujućih tvari moraju zadovoljavati propisane granične vrijednosti. Ukoliko se GVE prekorače, operater je dužan izvršiti niz mjera za smanjivanje emisija i normalan rad postrojenja, primjerice ugradnja filtera, opreme za pročišćavanje, unaprjeđenje tehnoloških procesa, promjena sirovina i slično. Nakon poduzetih mjera operater mora ponovno provesti mjerenje kako bi dokazao da su GVE u skladu sa zakonom [28].

Mjerenje GVE provodi se prvim, povremenim, kontinuiranim i posebnim mjerenjem na dimnjaku odnosno ispustu nepokretnog izvora [28]. Svaki od njih bit će u daljnjem tekstu definirani sukladno Uredbi o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21).

Prvo mjerenje emisija onečišćujućih tvari obavlja se tijekom pokusnog probnog rada nepokretnog izvor, prije izdavanja odobrenja za uporabu, a najkasnije 12 mjeseci od početka pokusnog rada [28].

Povremeno mjerenje – za nepokretne izvore koji imaju pretežno nepromjenjive uvjete rada provode se najmanje tri pojedinačna mjerenja tijekom kontinuiranog neprekidnog rada te najmanje još jedno mjerenje prilikom radnih uvjeta koji se redovito ponavljaju, a s promjenjivom emisijom, kao što su izmjena goriva, čišćenje i regeneracija. Kod nepokretnih izvora s pretežno promjenjivim uvjetima rada provodi se najmanje šest pojedinačnih mjerenja pri uvjetima rada koji izazivaju najveće emisije [28].

Kontinuirano mjerenje – iz mjerenih podataka svakih pola sata izrađuje se polusatni prosjek, a zatim se iz dobivenih vrijednosti polusatnih prosjeka izrađuje dnevni prosjek s obzirom na radno vrijeme [28].

Sukladno članku 13., stavku 1. i 2. Uredbe o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21) o izmjerenim vrijednostima prvog, povremenog, posebnog i kontinuiranog mjerenja izrađuje se izvješće o praćenju emisija u koje se unose podatci o vrsti korištenog goriva i sirovine. Za emisije se provodi vrednovanje rezultata mjerenja, a obavlja se na način da se izmjerene vrijednosti emisija uspoređuju s propisanim graničnim vrijednostima [28].

5. PRIMJER ISPITNOG LABORATORIJA ZA MJERENJE EMISIJA – MEĐIMURJE ZAING D.O.O.

Poduzeće Međimurje ZAING d.o.o. djeluje na području zaštite od požara, zaštite na radu i zaštite okoliša. Sukladno Potvrdi o akreditaciji, spomenuto poduzeće trenutno je osposobljeno prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025:2017 za područje ispitivanja onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora, akustička ispitivanja, ispitivanja sigurnosnih ventila u uporabi, ispitivanje električnih instalacija i sustava zaštite od djelovanja munje na građevine. Na području ispitivanja emisije onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora provode se mjerenja otpadnih plinova, dok se na području akustičnih ispitivanja provode mjerenja i ocjenjivanje buke okoliša, zvučne izolacije u zgradama i građevnih dijelova zgrade. Nadalje, na području ispitivanja niskonaponskih električnih instalacija i sustava zaštite od djelovanja munje na građevine provode se ispitivanja niskonaponskih električnih instalacija, ispitivanja sustava zaštite od djelovanja munje na građevine te ispitivanje sigurnosnih ventila. Temeljem ovlaštenja u okviru djelatnosti zaštite okoliša akreditirani su za izradu stručnih podloga i elaborata zaštite okoliša. Za svoj rad poduzeće koristi isključivo kalibriranu opremu koja se redovito servisira i adaptira sukladno napretku tržišta i tehnologije. Zaposlenici poduzeća posjeduju sve potrebne položene stručne ispite te se kontinuirano usavršavaju kroz tečajeve i seminare. Spomenuto poduzeće trenutno posjeduje Politiku kvalitete društva prema normi HRN EN ISO/IEC 17025 te trenutno broji preko 5.000 odrađenih projekata i 3.000 odrađenih ispitivanja što je rezultat njihovog dugogodišnjeg uspješnog poslovanja [29].

Poduzeće Međimurje ZAING d.o.o. temeljem akreditacije provodi ispitivanje emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora prema sljedećim metodama: HRN ISO 9096:2017 (ISO 9096:2017), HRN ISO 10780:1997 (ISO 10780:1994), HRN EN 13284-1:2017 (EN 13284-1:2017), HRN ISO 7935:1997 (ISO 7935:1992), HRN ISO 12039:2020 (ISO 12039:2019), HRS CEN/TS 13649:2015 (CEN/TS 13649:2014) osim točke 7, HRN ISO 10849:2022 (ISO 10849:2022), HRN EN 12619:2013 (EN 12619:2013), HRN EN 14790:2017 (EN 14790:2017) i HRN DIN 51402-1:2010 (DIN 51402-1:1986). U svrhu izrade završnog rada provodilo se ispitivanje prema metodama HRN EN 15259:2008 (EN 15259:2007) temeljem koje su se mjerile emisije iz stacionarnih izvora, HRN ISO 12039:2020 (ISO 12039:2019) temeljem koje se određivala koncentracija ugljikovog monoksida, ugljikovog dioksida i kisika, HRN ISO

10849:2022 (ISO 10849:2022) temeljem koje se određivala masena koncentracija dušikovih oksida te prema metodi HRN DIN 51402-1:2010 (DIN 51402-1:1986) temeljem koje se vizualnim i fotometrijskim postupkom određivao dimni broj [29].

6. OPIS PROBLEMSKIH PITANJA I POSLOVA OBAVLJANJA

Problemsko pitanje završnog rada odnosi se na onečišćenje zraka, a u svezi s tim ispitivanje emisija stakleničkih plinova iz realnog stacionarnoga izvora onečišćenja. Ispitivanje emisija provodilo se u suradnji s ovlaštenim laboratorijem. Emisije koje su se ispitivale povezane su uz nepokretni izvor onečišćenja odnosno toplovodni kotao koji spada u male uređaje za loženje, a koristi se u tehnološkom procesu ispitivanog operatera. Ispitivanje se provodilo kalibriranom mjernom opremom, a dobiveni rezultati uspoređeni su s graničnim vrijednostima emisija stakleničkih plinova propisani Uredbom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21).

6.1. Mjerenje emisijskih veličina otpadnih plinova iz malih, srednjih i velikih uređaja za loženje

Mjerenje koncentracija otpadnih dimnih plinova potrebno je provoditi radi optimalizacije procesa izgaranja u ložištima malih, srednjih i velikih uređaja za loženje i u drugim tehnološkim postrojenjima te radi postizanja emisijskih veličina koje su u odgovarajućim graničnim vrijednostima. U otpadne plinova ubrajamo kisik (O_2), ugljični monoksid (CO), okside dušika NO_x (dušikov monoksid NO te dušikov dioksid NO_2), ugljikov dioksid (CO_2) te sumporov dioksid (SO_2) [30].

Mjerni instrumenti koji se koriste za mjerenje koncentracija onečišćujućih tvari u otpadnim dimnim plinovima jesu:

1. Analizator dimnih plinova proizvođača "Madur electronics" Austrija, tip Photon II, tvornički broj 71155103 s uređajem za pripremu dimnih plinova (hladnjak)

proizvođača "Madur electronics" Austrija, tip PGD - 100, tvornički broj 52038103 i opremom za mjerenje temperature otpadnih plinova.

2. "Bacharach Rußmesser TrueSpot" – uređaj za određivanje dimnog broja i zacrnjenja dimnih plinova prema Bacharach metodi [30].



Slika 9. Analizator dimnih plinova proizvođača "Madur electronics" [31]



Slika 10. Bacharach Rußmesser TrueSpot [32]

Mjerenje koncentracije otpadnih plinova CO, CO₂, i NO kod malih uređaja te koncentracije spomenutih otpadnih plinova i SO₂ kod srednjih i velikih uređaja za loženje provodi se automatskim mjernim uređajem odnosno analizatorom koji ima ugrađeni senzor na NDIR princip za svaki otpadni plin pojedinačno [30]. NDIR (engl. *non-dispersive infrared*) je nedisperzivna infracrvena spektrometrija, dakle infracrveno zračenje je emitirano izvorom svjetlosti prema optičkom filteru koji ga apsorbira, dok detektor mjeri koliko je zračenja apsorbirano filterom [33]. Iz izmjerenih koncentracija NO izračunavaju se ukupni oksidi dušika (NO_x) jer se oni sastoje uglavnom od 95% dušikovog monoksida. Za mjerenje koncentracije kisika O₂ u otpadnim plinovima ugrađen je senzor koji radi na principu paramagnetizma [30].

Za spomenute otpadne plinove definirani su rasponi koncentracija unutar kojih se provode mjerenja.

Tablica 2. Rasponi koncentracija otpadnih plinova unutar kojih se provode mjerenja [30]

Redni broj	Vrsta otpadnog plina	Raspon koncentracija
1.	Kisik – O ₂	0 - 25 vol.%
2.	Ugljični monoksid – CO	0 - 20000 ppm
3.	Ugljični dioksid – CO ₂	0 - 25 vol.%
4.	Dušikov monoksid – NO	0 - 5000 ppm
5.	Sumporov dioksid – SO ₂	0 - 5000 ppm

Postupak uzorkovanja proveden je prema normi HRN ISO 10396 („Uzorkovanje za automatizirano određivanje emisijskih koncentracija plinova za trajno instalirane mjerne sustave“), dok su mjerna mjesta, mjerni presjeci, plan mjerenja i ispitni izvještaj izrađeni prema HRN EN 15259:2008 (Kvaliteta zraka - Mjerenje emisija iz stacionarnih izvora - Zahtjevi za mjerne presjeke i mjesta te za mjerni cilj, plan i izvještaj (EN 15259:2007)). Primitkom narudžbenice za mjerenje od naručioca izrađuje se plan mjerenja te se u suradnji s operaterom postrojenja na kojem će se mjerenje provoditi utvrđuje odgovarajuće mjerno mjesto na dimovodnom kanalu koje se treba nalaziti na dovoljnoj udaljenosti od izgaranja kako bi se osigurala homogena plinska mješavina te kako bi se turbulencije strujanja smanjile. Mjerno

mjesto treba biti sigurno za operatera koji mjerenje provodi, a također treba biti dovoljno prostora za mjerne instrumente te pristup električnoj energiji [30].

Kada se osiguraju svi uvjeti, analizator se postavlja i uključuje, nakon čega slijedi automatsko nuliranje uređaja, odnosno provjera stanja senzora i ćelija, čijom provedbom je analizator u operacijskom stanju. Nuliranje se provodi vanjskim zrakom, a istovremeno se provjerava koncentracija kisika koja treba biti 20,9%, dok koncentracija ostalih plinova treba biti 0. Zatim slijedi spajanje svih komponenata uređaja za mjerenje emisija, a to su analizator, sušionik plinova i grijana linija sa sondom za uzorkovanje. Analizator i sušionik plinova odnosno uređaj za pripremu plinova stavljaju se u pogon na način da se priključe na mrežu električnog napona 220 – 230 volti (V). Vrijeme koje je potrebno da analizator dođe u operacijsko stanje je 75 minuta, dok je sušioniku plinova potrebno 15 do 30 minuta kako bi postigao spomenuto, što ovisi o vanjskim mikroklimatskim uvjetima. Za vrijeme pripreme operacijskog stanja analizatora provodi se nuliranje i zagrijavanje mjernih senzora, zagrijavaju se sonda i grijana linija za uzorkovanje na 150°C, dok sušionik plinova postiže temperaturu hladnjaka od 4°C. Na zaslonu analizatora moguće je praćenje faza rada samog analizatora te sušionika plinova od njihova uključivanja pa sve do postizanja operacijskog stanja. Kao što je već spomenuto, nakon zagrijavanja analizatora slijedi nuliranje koje se provodi vanjskim okolišnim zrakom, a u isto vrijeme provjerava se koncentracija kisika i ostalih plinova [30].

Završetkom nuliranja potrebno je provesti test nepropusnosti te se mjernim plinovima, koju čini plinska mješavina u kojoj je dušik plin nositelj (N_2), provjerava analizator. Koncentracija plinova koja se nalazi u toj plinskoj mješavini približno odgovara samoj koncentraciji plinova koju je potrebno izmjeriti. Plinska mješavina za test nepropusnosti nalazi se u boci od čelika volumena 10 litara. Dakle, plinskom mješavinom koja se uvodi u analizator provjerava se točnost rada mjernih senzora, a istovremeno se provjerava nepropusnost linije za uzorkovanje. Protok plinske mješavine iznosi 1,8 do 2,0 l/min. Obzirom da u plinskoj mješavini kisik nije prisutan, njegovo očitovanje na analizatoru treba biti 0 vol.%. Ukoliko analizator izmjeri određenu količinu kisika, ukazuje na propuštanje linije za uzorkovanje te je potrebno ponovno provjeriti i prekontrolirati spojeve. Rezultati testa nepropusnosti i provjere analizatora potrebno je upisati u obrazac „Test nepropusnosti i provjera analizatora Madur Photon II (OB-54.50)“. Postupak provjere analizatora i test nepropusnosti također se provodi i nakon izvršenog

mjerenja prije isključenja mjernog sustava. Kada se izvrše provjere u programski sustav analizatora potrebno je unijeti podatke o mjernom mjestu te karakteristike goriva koje se koristi, a također se podešavaju postavke analizatora kao što su vrijeme nuliranja, vrijeme uzorkovanja ukupno vrijeme mjerenje i slično [30].

Međimurje ZAING d.o.o.	<i>Obrazac OB-54.50 Izdanje 5</i>				Str.	Zapis br.	
	Test nepropusnosti i provjera analizatora Madur Photon II				1/2	TNPA -	
Datum zapisa							
Tvornički broj analizatora: _____							
Broj radnog naloga: _____							
Mjesto provjere: _____							
Mjerno mjesto: _____							
Datum mjerenja: _____							
Provjeru proveo: _____							
Korišteni referentni materijali za provjeru:							
Plinska mješavina: _____							
Broj certifikata: _____							
Koncentracije:	CO	NO	SO ₂	O ₂	CO ₂		
	ppm	ppm	ppm	vol. %	vol. %		
Rezultati provedene provjere:							
1. Provjera vanjskim zrakom - kontrola nule							
Parametar	Rezultat:						Dozvoljena vrijednost
	Prije mjerenja	zadovoljava		Nakon mjerenja	zadovoljava		
CO	ppm	Da	Ne	ppm	Da	Ne	± 3 ppm
NO	ppm	Da	Ne	ppm	Da	Ne	± 3 ppm
SO ₂	ppm	Da	Ne	ppm	Da	Ne	± 3 ppm
O ₂	vol. %	Da	Ne	vol. %	Da	Ne	± 0,4 vol. %
CO ₂	vol. %	Da	Ne	vol. %	Da	Ne	± 0,3 vol. %
2. Provjera plinskom mješavinom - kontrola točnosti i test nepropusnosti							
Parametar	Rezultat:						Dozvoljena vrijednost
	Prije mjerenja	zadovoljava		Nakon mjerenja	zadovoljava		
CO	ppm	Da	Ne	ppm	Da	Ne	± 4 ppm
NO	ppm	Da	Ne	ppm	Da	Ne	± 8 ppm
SO ₂	ppm	Da	Ne	ppm	Da	Ne	± 8 ppm
O ₂	vol. %	Da	Ne	vol. %	Da	Ne	± 0,2 vol. %
CO ₂	vol. %	Da	Ne	vol. %	Da	Ne	± 0,3 vol. %
Napomena: _____							

_____ Provjeru izvršio; ime i prezime, potpis							

Slika 11. Test nepropusnosti i provjera analizatora Madur Photon II (OB-54.50) [30]

Mjerenje započinje kada se sonda za uzorkovanje umetne u odvodni kanal (slika 12) te uključivanjem memoriranja izmjerenih vrijednosti. Vrijeme uzorkovanja razlikuje se s obzirom na vrstu uređaja te na same karakteristike tehnoloških postrojenja. Podatci koji se izmjere automatski i kontinuirano se upisuju u memoriju uređaja, a istovremeno ih se može pratiti na zaslonu u broječanim vrijednostima i grafičkom prikazu. Nakon što se mjerenje završi, sirovi zapis mjerenja, odnosno memorirani podatci se prebacuju na vanjski memorijski uređaj s kojeg se prebacuju na računalo za daljnju obradu podataka. Dobiveni podatci se izračunavaju do vrijednosti koje je moguće usporediti s GVE koje su zakonski propisane, točnije koje su propisane Uredbom o граниčnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21). Dobivene vrijednosti iz podataka svode se na masene koncentracije za zadani volumni udio kisika u suhom plinu normalnog stanja. Otpadni plinovi prije ulaska u analizator se hlade i suše u sušioniku plinova čime je udio volumne pare <math><1\text{ vol.}\%</math> stoga se otpadni plinovi smatraju suhima. Nakon dobivenih izračuna o mjerenju potrebno je sastaviti Izvještaj o provedenom mjerenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnog izvora na obrascu OB-54.65. [30]



Slika 12. Sonda za uzorkovanje umetnuta u odvodni kanal [31]

Obrazac OB-54.65 Izdanje 5

Broj izvještaja: **IV-01-0102-23-0852-M-A**
Datum izvještaja: **6. lipnja 2023.**

IZVJEŠTAJ
O IZVRŠENOM POVREMENOM MJERENJU EMISIJA
ONEČIŠĆUJUĆIH TVARI U ZRAK IZ NEPOKRETNOG IZVORA

Naziv i sjedište vlasnika/korisnika nepokretnog izvora:
[REDAKCIJA]

Lokacija mjerenja:
Proizvodni pogon 1 - [REDAKCIJA] Energetsko postrojenje - toplovodna kotlovnica [REDAKCIJA] Toplovodni kotao toplinske snage 0,35 MW s tlačnim gorionikom na prirodni plin

Međimurje ZAING d.o.o. Čakovec ovlašteno je za obavljanje djelatnosti praćenja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora rješenjem Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja, klasa: UP/I-351-05/22-04/16, ur.broj.: 517-04-2-1-22-2
Ovaj dokument ne smije se kopirati, osim u cijelosti i uz pismenu suglasnost Međimurje ZAING d.o.o.

Slika 13. Izvještaj o provedenom mjerenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnog izvora (OB-54.65) [30]

6.2. Primjer povremenog mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnog izvora (mali uređaj za loženje)

U svrhu izrade praktičnog dijela završnog rada provodilo se povremeno mjerenje emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnog izvora. Povremeno mjerenje provodilo se na energetskom postrojenju u suradnji s ovlaštenim laboratorijem, odnosno mjerile su se emisije nastale radom toplovodne kotlovnice poduzeća iz prehrambenog sektora (u daljnjem tekstu operater). Toplovodni kotao toplinske snage 0,35 MW s tlačnim gorionikom na prirodni plin svrstava se u male uređaje za loženje [30]. Sukladno članku 75., stavku 1. Uredbe o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21), u male uređaje za loženje na tekuće i plinsko gorivo svrstavaju se uređaji ukupne toplinske snage od 0,1 MW do 1 MW [28]. Svrha mjerenja je utvrditi masene koncentracije pojedinih onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnog izvora te ih usporediti s graničnim vrijednostima propisanih Uredbom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21).

Sukladno Uredbi o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21), članku 112., stavku 1., mjerenje emisija onečišćujućih tvari u zrak iz otpadnih plinova na malim uređajima za loženje na prirodni plin utvrđuje se povremenim mjerenjem, najmanje jedanput u dvije godine [28].

Postupak mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz predmetnog nepokretnog izvora provodi se prema smjernicama Hrvatske akreditacijske agencije HAA-Pr-2/9 Pravila za akreditaciju laboratorija za mjerenje emisija iz malih uređaja za loženje. Mjerenje masene koncentracije onečišćujućih tvari (ugljikov monoksid (CO) i oksidi dušika izraženi kao NO₂) te mjerenje koncentracije kisika u otpadnim plinovima i određivanje dimnog broja provedeno je prema akreditiranim normama HRN EN 15259, HRN ISO 12039, HRN ISO 10849 i HRN DIN 51402-1 [30].

1. HRN EN 15259:2008 (EN 15259:2007) – Kvaliteta zraka – Mjerenje emisija iz stacionarnih izvora – Zahtjevi za mjerne presjeke mjesta te za mjerni cilj, plan i izvještaj.

2. HRN ISO 12039:2020 (ISO 12039:2019) – Određivanje koncentracije ugljikovog monoksida, ugljikovog dioksida i kisika (zahtjevi i kalibracija automatskih mjernih sustava).
3. HRN ISO 10849:2022 (ISO 10849:2022) – Određivanje masene koncentracije dušikovih oksida – značajke rada automatskih mjernih metoda.
4. HRN DIN 51402-1:2010 (DIN 51402-1:1986) – Vizualno i fotometrijsko određivanje dimnog broja [30].

6.2.1. Određivanje cilja mjerenja

Kroz praktični dio završnog rada provodilo se mjerenje dimnih plinova koji nastaju izgaranjem prirodnog plina u toplovodnoj kotlovnici s tlačnim gorionikom. Toplovodna kotlovnica koju operater koristi u tehnološkom procesu proizvodnje bezalkoholnih pića pripada nepokretnom izvoru onečišćenja, a koristi se za pripremu tople vode. Kroz provedeno mjerenje dimnih plinova koji nastaju izgaranjem prirodnog plina u toplovodnoj kotlovnici, cilj je bio utvrditi pojedine onečišćujuće tvari u ispuštenim otpadnim plinovima nepokretnog izvora te utvrditi masene koncentracije (koje se svode na normalno stanje od 273,15 K te 101,3 kPa) i parametre stanja otpadnih plinova. Dobiveni rezultati uspoređivali su se s graničnim vrijednostima propisanim u Uredbi o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21) temeljem čega se zaključivalo o sukladnosti rezultata s važećim propisima [30].

Emisijske veličine sukladno Pravilniku o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 47/21) jesu masena koncentracija onečišćujuće tvari u otpadnom plinu, emitirani maseni protok onečišćujuće tvari i emisijski faktor [34]. Emisijske veličine kojima se iskazuje ispuštanje onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnog izvora su:

1. ugljikov monoksid (CO) – masena koncentracija ($\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$),
2. oksidi dušika (izraženi kao NO_2) – masena koncentracija ($\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$),
3. dimni broj – stupanj crnine površine filtera papira izazvane otpadnim plinovima [30].

Parametri stanja otpadnih plinova prema Pravilniku o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 47/21) obuhvaćaju sastav otpadnih plinova, zacrnjenje i dimni broj za koje su određene granične vrijednosti te fizikalne veličine temperaturu, tlak, vlagu, brzinu strujanja i volumni protok otpadnih plinova [34]. Emisijske veličine i parametri stanja otpadnih plinova prilikom mjerenja emisija iz nepokretnog izvora toplovodne kotlovnice prehrambenog poduzeća jesu:

1. ugljikov dioksid (CO_2) – volumni udio ugljičnog dioksida u otpadnim plinovima (vol%),
2. udio kisika (O_2) – volumni udio kisika u otpadnim plinovima (vol%),
3. temperatura – temperatura otpadnih plinova u mjernoj ravnini ($^{\circ}\text{C}$),
4. apsolutni tlak – apsolutni tlak pod kojima se nalazi otpadni plin u ispusnom kanalu (kPa) [30].

Granična vrijednost emisija sukladno Pravilniku o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 47/21) definirana je kao najveće dopušteno ispuštanje onečišćujuće tvari sadržane u otpadnom plinu iz ispusta nepokretnog izvora koja ne smije biti prekoračena tijekom uobičajenog rada [34]. Prilikom određivanja GVE vrijednosti za prehrambeno postrojenje, malog uređaja za loženje na plinsko gorivo uz volumni udio kisika 3%, GVE su definirane u članku 91. Uredbe o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21), točnije, u prilogu 10. spomenute Uredbe [28, 30].

Tablica 3. GVE za male uređaje za loženje koji koriste plinska goriva, uz volumni udio kisika 3%, sukladno Uredbi o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21) [28]

Dimni broj	0
Ugljikov monoksid (CO)	100 mg/m^3
Oksidi dušika izraženi kao NO_2	200 mg/m^3

6.2.2. Opis uređaja i mjernog mjesta

Nepokretni izvor operatera za pripremu tople vode za potrebe tehnoloških procesa koristi toplovodni kotao s tlačnim gorionikom na prirodni plin. Kotao je priključen na dimnjak, a povezuje ih dimovodni kanal (dimnjača). Na ravnom dijelu dimnjače određena je mjerna ravnina. Sukladno normi HRN EN 15259:2008 (Kvaliteta zraka - Mjerenje emisija iz stacionarnih izvora - Zahtjevi za mjerne presjeka i mjesta te za mjerni cilj, plan i izvještaj (EN 15259:2007)) za površine poprečnog presjeka kanala do 0,1 m² mjerenje se provodi u jednoj mjernoj točki u sredini kanala, stoga je na dimnjači operatera kroz koje se emitiraju onečišćujuće tvari u zrak izveden jedan mjerni otvor [30, 35].

Tablica 4. Tehničke karakteristike uređaja za loženje [30]

TEHNIČKE KARAKTERISTIKE	TOPLOVODNI KOTAO	TLAČNI GORIONIK
Proizvođač	"Viessmann Werke" GmbH Allendorf	"Max Weishaupt" GmbH Schwendi
Tip	Vitoplex 200 SX2A	WG40N/1-A
Tvornički broj	1234	574924407
Godina proizvodnje	2019.	2007.
Toplinska snaga ložišta	0,35 MW	0,055 – 0,55 MW
Vrsta goriva	-	Prirodni plin
Vrsta uređaja prema Uredbi o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21)	-	Mali uređaj za loženje koji koristi plinsko gorivo (prirodni plin)

6.2.3. Rezultati mjerenje emisijskih veličina i mjernih parametara

Rezultati mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnog izvora operatera prikazani su u tablici 5 koja se nalazi u nastavku. Provedena su tri pojedinačna mjerenja na malom uređaju za loženje obzirom da isti ima pretežito nepromjenjive uvjete rada. Masene koncentracije onečišćujućih tvari koje su iskazane kao normirane pri uvjetima otpadnog plina temperature 273,15 K i tlaka 101,3 kPa, preračunate su na suhi otpadni plin za propisani volumni udio kisika (3%) [30].

Tablica 5. Prikaz rezultata mjerenja emisijskih veličina i mjernih parametara [30]

	Emisijske veličine i mjerni parametri	Jedinica	Mjerni iznos pojedinačnog mjerenja			Srednja vrijednost
			1. mjerenje	2. mjerenje	3. mjerenje	
1.	Dimni broj	-	0	0	0	0
2.	Normirana masena koncentracija CO	mg/m ³ _N	6,1	8,2	13,0	9,1
3.	Normirana masena koncentracija NO ₂	mg/m ³ _N	53,1	40,6	34,4	42,7
4.	Izmjereni volumni udio CO ₂	vol %	7,38	7,40	7,44	7,41
5.	Izmjereni volumni udio kisika	vol %	5,73	5,72	5,67	5,71
6.	Temperatura okolišnog zraka	°C	21,0	21,5	21,7	21,4
7.	Temperatura dimnih plinova	°C	194,4	192,2	192,8	193,1
8.	Atmosferski tlak	kPa	101,7	101,7	101,7	101,7

Dimni broj, normirana masena koncentracija ugljikova monoksida (CO), normirana masena koncentracija dušikova dioksida (NO₂), izmjereni volumni udio ugljikova dioksida (CO₂) te izmjereni volumni udio kisika (O₂) odnose se na akreditiranu metodu.

Članak 91., odnosno prilog 10. Uredbe o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21), propisuje granične vrijednosti emisija za male uređaje za loženje koje koriste plinska goriva, uz volumni udio kisika 3% [28]. Sukladno spomenutom prilogu, u tablici 6. navedene su izmjerene vrijednosti emisijskih veličina nepokretnog izvora prehrambene industrije te iste uspoređene s graničnim vrijednostima.

Tablica 6. Prikaz rezultata mjerenje u odnosu na GVE [30]

Emisijske veličine	Izmjerene vrijednosti			GVE	Napomena
	Minimum	Maksimum	Srednja vrijednost		
Dimni broj	0	0	0	0	≤ GVE
Ugljikov monoksid CO (mg/m³_N)	6,1	13,0	9,1	100	< GVE
Oksidi dušika izraženi kao NO₂ (mg/m³_N)	34,4	53,1	42,7	200	< GVE

6.2.4. Ocjena sukladnosti rezultata mjerenja emisija

Vrednovanje rezultata mjerenja emisija onečišćujućih tvari koje nastaju korištenjem toplovodnog kotla operatera provodi se u skladu s člankom 18. Pravilnika o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“ broj 47/21). Stavak 1. govori da se vrednovanje rezultata mjerenja emisija obavlja uspoređivanjem rezultata mjerenja s propisanim graničnim vrijednostima prema Uredbi o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21), dok stavak 2. govori kako nepokretni izvor zadovoljava propisanim graničnim vrijednostima ukoliko je najveća vrijednost rezultata mjerenja onečišćujuće tvari (E_{mj}) jednaka ili manja od propisane granične vrijednosti (E_{gr}) [34].

Sukladno Pravilniku o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“ broj 47/21) te Uredbi o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21), energetska postrojenja, toplovodna kotlovnica renomiranog prehrambenog poduzeća udovoljava propisanim GVE. Izmjerene vrijednosti emisijskih veličina (dimni broj, ugljikov monoksid te oksidi dušika) manje su od propisanih graničnih vrijednosti što upućuje da poduzeće posluje u skladu sa zakonima i propisima te brine o zaštiti okoliša.

7. ZAKLJUČAK

Jedan od antropogenih izvora emisija u zrak odnosi se na nepokretne emisijske izvore od kojih se ističu industrije koje su neizostavni faktor gospodarskog rasta, ali i jedan od onečišćivača okoliša. Jedan od ciljeva koje provodi Europska unija, a samim time i Republika Hrvatska odnosi se na tranziciju na tzv. zelene industrije koje će korištenjem najbolje raspoložive tehnologije generirati minimalne emisije stakleničkih plinova koje su unutar propisanih graničnih vrijednosti. Također, jedan od ciljeva je i postepeni prelazak na energente koji u konzumaciji neće generirati emisije stakleničkih plinova te se u tom smislu kao energent spominje vodik. Do komercijalne upotrebe takvih energenata predstoji zadržavanje emisija stakleničkih plinova unutar zakonski propisanih graničnih vrijednosti s ciljem smanjenja onečišćenja okoliša i usporavanja napretka klimatskih promjena. Važeće norme i zakonodavstvo Republike Hrvatske usklađeno je s međunarodno priznatim i korištenim normama i metodama mjerenja koje se koriste na području Europske unije, a kojima je svrha smanjenje onečišćenja okoliša. Praktični dio predmetnog rada odnosi se na mjerenje emisija onečišćujućih tvari na energetskom postrojenju odnosno toplovodnoj kotlovnici renomiranog prehrambenog poduzeća. Prema Uredbi graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21) toplovodni kotao toplinske snage 0,35 MW s tlačnim gorionikom na prirodni plin svrstava se u male uređaje za loženje (MUL). Rezultati mjerenja emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnog izvora prehrambenog poduzeća prikazani su u predmetnom radu, a provedena su tri pojedinačna mjerenja na malom uređaju za loženje obzirom da isti ima pretežito nepromjenjive uvjete rada. Sukladno dobivenim i prikazanim rezultatima promatrano postrojenje udovoljava propisanim GVE. Izmjerene vrijednosti emisijskih veličina (dimni broj, ugljikov monoksid te oksidi dušika) manje su od propisanih graničnih vrijednosti što upućuje da se poduzeće odnosno operater prilagodio važećim zakonima i propisima Republike Hrvatske, da posluje u skladu sa Zakonom te brine o zaštiti okoliša. Temeljem toga, može se zaključiti kako određeni udio operatera u Republici Hrvatskoj, a time i sama država koja kroz inspekcijske nadzore kontrolira ispunjenje obveza operatera doprinosi ciljevima i naporima Europske unije koji se odnose na smanjenje onečišćenja okoliša te prelazak na čišću i održivu industriju.

LITERATURA

- [1] Rajpoot S., Singh D. P. Emerging Public Health Concern and Air Pollution: A Case Study of Delhi's Air Pollution Governance, *International Journal for Modern Trends in Science and Technology* [Elektronički časopis]. 2020. Dostupno na: <https://doi.org/10.46501/IJMTST060530> (06.09.2023.)
- [2] Briški F. ZAŠTITA OKOLIŠA: Zrak, onečišćenje zraka i promjena klime. 1. izdanje. Zagreb: Manualia Universitatis studiorum Zagrabiensis; 2016.
- [3] UCAR CENTER FOR SCIENCE EDUCATION. What's in the Air?: [Online]. Dostupno na: <https://scied.ucar.edu/learning-zone/air-quality/whats-in-the-air> (04.08.2023.)
- [4] Zakon o zaštiti okoliša („Narodne novine“ br. 80/13, 153/13, 78/15, 12/18, 118/18)
- [5] Zakon o zaštiti zraka („Narodne novine“, br. 127/19, 57/22)
- [6] Kaštelan-Macan M., Petrović M. ANALITIKA OKOLIŠA. Zagreb: Manualia Universitatis studiorum Zagrabiensis; 2013.
- [7] World Health Organization. Air pollution: [Online] Dostupno na: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 (04.08.2023.)
- [8] Puntarić D., Miškulin M., Bošnjir J., i sur. ZDRAVSTVENA EKOLOGIJA. Zagreb: Medicinska naklada Zagreb; 2012.
- [9] Dimitriou, A., Christidou V. Causes and consequences of air pollution and environmental injustice as critical issues for science and environmental education: The Impact of Air Pollution on Health, Economy, Environment and Agricultural Sources [Online]. Democritus University of Thrace, University of Thessaly, Greece, 2011. Dostupno na: https://books.google.hr/books?hl=hr&lr=&id=-eqcDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA215&ots=eLY6MoTkPU&sig=DIK7Yv-L-YYN_26FRAQwTQTxIvI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (07.08.2023.)
- [10] NUCLEUS centar za mikroklimu. Zrak znači život: [Online]. 2016. Dostupno na: <https://mikroklima.com.hr/content/7-zrak-znaci-zivot> (07.08.2023.)
- [11] Our World in Data. Outdoor Air Pollution: [Online]. 2022. Dostupno na: <https://ourworldindata.org/outdoor-air-pollution> (10.09.2023.)
- [12] Penzar B., Penzar I. AGROMETEOROLOGIJA. Zagreb: Školska knjiga; 2000.

- [13] Wang L. K., Pereira N. C., Hung Y. AIR POLLUTION CONTROL ENGINEERING. New Jersey: Humana Press Totowa; 2004.
- [14] Tarnik, T. ZAŠTITA ZRAKA I ATMOSFERE. Zagreb: iproz; 2010.
- [15] Tehnički leksikon, Leksikografski zavod Miroslava Krlež. Zagreb; 2007.
- [16] Valić F. i sur. ZDRAVSTVENA EKOLOGIJA. Medicinska naklada Zagreb: Biblioteka sveučilišni udžbenici; 2001.
- [17] National Park Service. Where Does Air Pollution Come From?: [Online]. 2021. Dostupno na: <https://www.nps.gov/subjects/air/sources.htm> (16.08.2023.)
- [18] Britannica. Air pollution: [Online]. 2023. Dostupno na: <https://www.britannica.com/science/air-pollution> (16.08.2023.)
- [19] European Environment Agency (EEA). Air quality in Europe: [Online]. 2020 report. Copenhagen, Denmark. Dostupno na: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report> (16.08.2023.)
- [20] Amazing World Of Science With Mr. Green. Photochemical smog: [Online]. Dostupno na <https://www.mrgscience.com/ess-topic-63-photochemical-smog.html> (16.08.2023.)
- [21] The World Bank. CO₂ emissions: [Online]. 2020. Dostupno na: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC?end=2020&start=1990> (17.08.2023.)
- [22] Australian Government. Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water; Carbon monoxide: [Online]. 2022. Dostupno na: <https://www.dceew.gov.au/environment/protection/npri/resource/student/carbon-monoxide> (17.08.2023.)
- [23] Sofilić T. ZDRAVLJE I OKOLIŠ. Sisak: Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet; 2015.
- [24] EPA - U.S. Environmental Protection Agency. What is Ozone?: [Online]. 2023. Dostupno na: (23.08.2023.)
- [25] EPA - U.S. Environmental Protection Agency. Particulate Matter (PM) Pollution: [Online]. 2023. Dostupno na: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics> (23.08.2023.)

- [26] Encyclopedia of the Environment. Airborne particulate matter and their health effects: [Online]. 2019. Dostupno na: <https://www.encyclopedia-environnement.org/en/health/airborne-particulate-health-effects/> (23.08.2023.)
- [27] EPA - U.S. Environmental Protection Agency. Lead Air Pollution: [Online]. 2023. Dostupno na: <https://www.epa.gov/lead-air-pollution/basic-information-about-lead-air-pollution#how> (23.08.2023.)
- [28] Uredba o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21)
- [29] Međimurje ZAING d.o.o. Čakovec: [Online]. 2023. Dostupno na: <https://www.zaing.hr/> (26.08.2023.)
- [30] Interna dokumentacija poduzeća Međimurje ZAING d.o.o., Radna uputa: Mjerenje emisijskih veličina otpadnih plinova O₂, CO, CO₂, NO i NO₂ iz malih uređaja za loženje. Izdanje 7; 02.05.2023.
- [31] Izrada autora
- [32] Mersch GmbH & Co. KG Reinigungstechnik aus Verl: Russpumpe mit Zubehör: [Online]. Dostupno na: <https://www.mersch-reinigungstechnik.de/product/russpumpe-mit-zubehoer/> (02.09.2023.)
- [33] CO₂METER.COM. How does an NDIR CO₂ Sensor Work?: [Online]. 2023. Dostupno na: <https://www.co2meter.com/blogs/news/how-does-an-ndir-co2-sensor-work> (02.09.2023.)
- [34] Pravilniku o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 47/21)
- [35] Hrvatski zavod za norme. Hrvatski normativni dokument: [Online]. 2023. Dostupno na: <https://www.hzn.hr/> (03.09.2023.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Broj čestica po m ³ zraka obzirom na onečišćeno područje [10].....	11
Slika 2. Procijenjeni godišnji broj smrtnih slučajeva pripisan svakom čimbeniku rizika [11].....	12
Slika 3. Posljedica onečišćenja zraka s obzirom na razmatranu razinu [13]	14
Slika 4. Izvori onečišćenja zraka [17].....	17
Slika 5. Primarne i sekundarne onečišćujuće tvari zraka [20].....	21
Slika 6. Grafički prikaz emisija CO ₂ u svijetu u kilotonama (kt) u periodu od 1990. do 2020. godine [21]	22
Slika 7. Aerodinamički promjer lebdećih čestica i njihovo prodiranje u pluća i tijelo [26]	25
Slika 8. Onečišćenje zraka: izvor - prijenos – receptor [6].....	27
Slika 9. Analizator dimnih plinova proizvođača "Madur electronics" [31].....	33
Slika 10. Bacharach Rußmesser TrueSpot [32]	33
Slika 11. Test nepropusnosti i provjera analizatora Madur Photon II (OB-54.50) [30].....	36
Slika 12. Sonda za uzorkovanje umetnuta u odvodni kanal [31].....	37
Slika 13. Izvještaj o provedenom mjerenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnog izvora (OB-54.65) [30].....	38

POPIS TABLICA

Tablica 1. Šest glavnih onečišćujućih tvari zraka prema EPA-i [18]	18
Tablica 2. Rasponi koncentracija otpadnih plinova unutar kojih se provode mjerenja [30]	34
Tablica 3. GVE za male uređaje za loženje koji koriste plinska goriva, uz volumni udio kisika 3%, sukladno Uredbi o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora („Narodne novine“, br. 42/21) [28]	41
Tablica 4. Tehničke karakteristike uređaja za loženje [30].....	42
Tablica 5. Prikaz rezultata mjerenja emisijskih veličina i mjernih parametara [30]	43
Tablica 6. Prikaz rezultata mjerenje u odnosu na GVE [30]	44