

# ONEČIŠĆENJE ZRAKA I OKOLIŠA

---

Čuvalo, Iva

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:019927>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-23**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Iva Čuvalo

# **ONEČIŠĆENJE ZRAKA I OKOLIŠA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2021.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department  
Professional graduate study of Safety and Protection

Iva Čuvalo

# **AIR AND ENVIRONMENTAL POLLUTION**

Final paper

Karlovac, 2021

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Iva Čuvalo

# **ONEČIŠĆENJE ZRAKA I OKOLIŠA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Lidija Jakšić, mag. ing. cheming.

Karlovac, 2021.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 – 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 – 579

I



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Specijalistički studij: Sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, 2021.

### ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Iva Čuvalo

Matični broj: 0248055587

Naslov: Onečišćenje zraka i okoliša

Opis zadatka: U ovom završnom radu bit će prikazana prirodna obilježja zraka, zatim kako čovjek onečišćuje zrak te na kraju kako taj zrak utječe na čovjekovo zdravlje i prirodu koja ga okružuje. Poseban značaj i naglasak u ovom radu dan je tome da se pokaže zrak u svojem užem smislu te onečišćenje zraka i njegov utjecaj na okoliš u širem smislu.

U ovom radu je opisano onečišćenje okoliša te kako ono nastaje. Na početku je prikazan sažet opis teme te podijela onečišćenja na onečišćenje zraka, vode i tla.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

Lipanj 2020.

Veljača 2021.

Ožujak 2021.

Mentor:

Lidija Jakšić, mag.ing.cheming., predavač

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

dr.sc. Snježana Kirin, viši predavač

## PREDGOVOR

Ovaj završni rad sam izradila samostalno služeći se stečenim znanjem i pomoću navedene literature.

Zahvaljujem se svojoj mentorici, Lidiji Jakšić, mag. ing. cheming., na korisnim savjetima, i usmjeravanju pri izradi rada.

Posebno bih zahvalila svojoj obitelji koja mi je pružila veliku podršku i strpljenje tijekom cjelokupnog mog studiranja, također hvala svim prijateljima i kolegama.

Iva Čuvalo

## SAŽETAK

U ovom završnom radu će biti prikazana prirodna obilježja zraka kao i onečišćenje i njegov utjecaj na okoliš. Također će biti prikazan utjecaj ljudskih aktivnosti na onečišćenje zraka, te u konačnici i utjecaj onečišćenog zraka na čovjekovo zdravlje i okoliš koji ga okružuje.

Kroz povijest ljudska aktivnost nije značajno utjecala na okoliš sve do razvoja industrije. Prve promjene koje je čovjek izazavao su nastale uslijed fizičke aktivnosti, fizioloških potreba. No razvojem i stvaranjem društvenih zajednica počinje nagli utjecaj na životni okoliš.

U ovom radu je opisano onečišćenje okoliša te kako ono nastaje. Na početku je dan sažet opis teme te podjela onečišćenja na onečišćenje zraka, vode i tla.

***Ključne riječi:*** *zrak, onečišćenje zraka, onečišćenje okoliša*

## SUMMARY

In this final paper, the natural characteristics of air as well as air pollution and its impact on the environment will be presented. The impact of human activities on air pollution will also be shown, and ultimately the impact of polluted air on human health and the environment that surrounds it.

Throughout history human activity had no significant impact on the environment up until the upsurge of industry. The first changes made by man were due to physical activity, physiological needs. But creation and development of social communities starts a sudden impact on the living environment.

This paper describes the environmental pollution and how it occurs. It starts with a concise description of the subject and divides it into pollution of air, water and soil.

***Keywords:*** *air, environmental air, environmental pollution*

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. ONEČIŠĆENJE ZRAKA .....	2
3. IZVORI ONEČIŠĆENJA I ONEČIŠĆUJUĆE TVARI U ZRAKU.....	4
3.1. Izvori onečišćenja .....	4
3.1.1. Prirodni izvori onečišćenja.....	5
3.1.2. Umjetni izvori onečišćenja zraka .....	5
3.1.3. Ostale podjele izvora onečišćenja .....	6
3.2. Emisija i imisija.....	6
3.3. Onečišćujuće tvari u zraku .....	7
3.4. Osnovni pokazatelji onečišćenja zraka, njihov oblik i ponašanje.....	8
3.5. Karakteristične promjene koncentracije.....	14
3.6. Ocjena kakvoće zraka .....	15
3.7. Pravilnici/zakoni kojima je regulirana kvaliteta zraka u RH .....	18
4. UTJECAJ ONEČIŠĆENOG ZRAKA NA ZDRAVLJE .....	21
4.1. Utjecaj onečišćenog zraka na organizam .....	21
4.2. Utjecaj onečišćivača na bolesti srca i krvnih žila i ostale bolesti.....	26
5. UTJECAJ ONEČIŠĆENJA ZRAKA NA OKOLIŠ .....	29
5.1. Promjene u tlu uzrokovane onečišćenjem.....	29
5.2. Promjene u vodi uzrokovane onečišćenjem.....	31
5.3. Utjecaj onečišćenog zraka na biljke.....	32
5.4. Utjecaj onečišćenog zraka na životinje .....	35
5.5. Utjecaj onečišćenog zraka na materijale .....	36
6. MJERE ZAŠTITE I UNAPREĐENJE KAKVOĆE ZRAKA .....	37
6.1. Održivi razvoj .....	39
6.2. Kontrola emisije.....	40
6.3. Praćenje kvalitete zraka u Hrvatskoj.....	40
6.4. Utjecaj pandemije koronavirusa na kvalitetu zraka .....	41
7. ZAKLJUČAK.....	43
8. POPIS SLIKA.....	44
9. POPIS TABLICA .....	45
10. LITERATURA .....	46



## 1. UVOD

Zagađenje (lat. contaminatio) podrazumijeva onečišćenje tijela, predmeta, odjeće i obuće, prehrambenih namirnica, okoliša i drugog zaraznim klicama te otrovima ili radioaktivnim tvarima, teškim metalima.

Onečišćenje okoliša predstavlja jedan od najvećih ekoloških problema današnjice. Pod onečišćenjem se misli na zarazne klice, otrove, radioaktivne tvari, teške metale, koji prouzrokuju pogubne posljedice na uvjete života biljnog i životinjskog svijeta te ugrožavaju ljudsko zdravlje. Gradovi, sela, rijeke te mora su svi pogođeni tom katastrofom koju smo mi izazvali i još uvijek izazivamo. To je jedna od najvećih mana čovjeka najnovijeg doba. Ljudi bi više pažnje trebali posvećivati prirodi dok još nije kasno, jer za razliku od prošlosti budućnost još nije napisana i samo o nama ovisi kako će izgledati. Zahvaljujući industrijalizaciji, sada postoje različite vrste zagađenja. [1]

Čovjek na atmosferu može djelovati svjesno, kad želi izazvati određene atmosferske promjene koje mu odgovaraju, ili nesvjesno, odnosno nehотиčno primjerice prilikom izgradnje naselja, a posebice ukoliko se uopće ne obazire na okoliš, prilikom nastojanja da što brže, lakše i jeftinije zadovolji svoje potrebe i želje za hranom, energijom i udobnijim životom. [1]

Uzročnici onečišćavanja atmosfere mogu biti različiti, te se širiti po cijeloj troposferi, a povremeno prodiru i u stratosferu. Najviše je pogođen donji sloj zraka, i katkad se u industrijskim i gusto naseljenim područjima može smatrati čak zatrovanim odnosno kontaminiranim.

Atmosferske primjese utječu na ljude, životinje, biljke i cijeli okoliš izravno promjenama koje izazivaju u atmosferi. Moramo biti svjesni da standardne i najveće dopuštene koncentracije onečišćenja ne osiguravaju čist zrak, nego su postavljene kao kompromis između dviju vrsta troškova, s jedne strane onih za preventivnu zaštitu i kontrolu onečišćenja, a s druge strane onih za liječenje i uklanjanje štetnih učinaka. [1]

## 2. ONEČIŠĆENJE ZRAKA

Onečišćenje zraka šteti zdravlju ljudi i okolišu. U Europi su se znatno smanjile emisije brojnih onečišćivača zraka tijekom proteklih desetljeća, što je dovelo do poboljšane kvalitete zraka u cijeloj regiji. Ipak, koncentracije onečišćivača zraka su još uvijek previsoke i problemi kvalitete zraka nisu uklonjeni. [2]

Značajan udio europskog stanovništva živi na područjima, pogotovo u gradovima, gdje se prekoračuju standardi kvalitete zraka: onečišćenje ozonom, dušičnim dioksidom i lebdećim česticama ozbiljne su prijetnje zdravlju.

Onečišćenje zraka je problem na lokalnoj, europskoj i globalnoj razini. Onečišćivači zraka ispušteni u jednoj zemlji mogu atmosferom dospjeti u druga mjesta, gdje mogu uzrokovati ili doprinijeti lošoj kakvoći zraka.

Lebdeće čestice i prizemni ozon, danas se smatraju dvama onečišćivačima koji najviše utječu na ljudsko zdravlje. Izloženost tijekom najveće koncentracije i dugotrajna izloženost ovim onečišćivačima ovise o težini utjecaja, od narušavanja respiratornog sustava do preuranjene smrti.

Posljednjih je godina oko 40% europskog gradskog stanovništva vjerojatno bilo izloženo vanjskim koncentracijama krupnih lebdećih čestica ( $PM_{10}$ ) koje premašuju ograničenja Europske unije postavljena radi zaštite ljudskog zdravlja. Moguće je da je do 50% gradskog stanovništva bilo izloženo razinama ozona koje premašuju ciljne vrijednosti Europske unije. Procijenjeno je da sitne lebdeće čestice ( $PM_{25}$ ) u zraku skraćuju očekivano trajanje života u Europskoj uniji za više od osam mjeseci. [2]

Onečišćenje zraka štetno je za naše zdravlje. Skraćuje očekivano trajanje ljudskog života za u prosjeku više od osam mjeseci u cijeloj Europi i za više od dvije godine u najonečišćenijim gradovima i regijama. Države članice moraju se čim prije uskladiti sa standardima kakvoće zraka Europske unije i smanjiti emisije onečišćivača zraka.

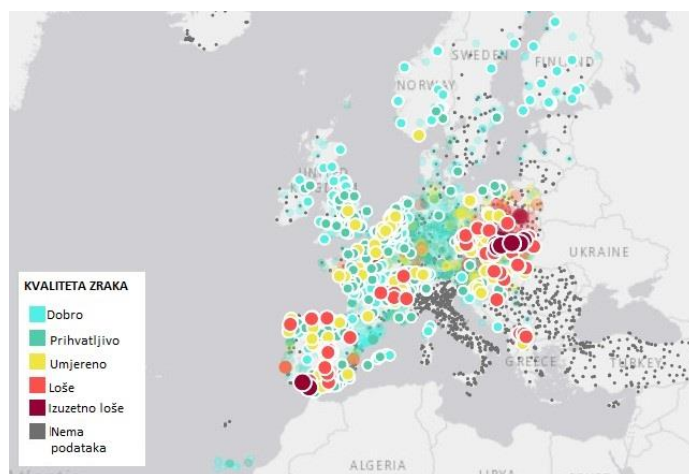
Onečišćenje zraka isto tako šteti našem okolišu:

- Acidifikacija se znatno smanjila između 1990. i 2010. godine na europskim područjima s osjetljivim ekosustavom koja su bila izložena taloženju kiselina s prekomjernom količinom sumpora i dušika.
- Eutrofikacija, veliki problem za okoliš uzrokovan unosom viška hranjivih tvari u ekosustav, nije zabilježila sličan napredak. Područja s osjetljivim ekosustavom koja su pod utjecajem prevelikih količina atmosferskog dušika neznatno su smanjena u razdoblju od 1990. do 2010. godine.
- Izloženost visokim koncentracijama ozona uzrokuje štetu na usjevima. Velik broj poljoprivrednih usjeva izložen je razinama ozona koje premašuju dugoročan cilj Europske unije namijenjen zaštiti vegetacije. Ovo se naročito odnosi na značajan dio poljoprivrednih područja, pogotovo u južnom, središnjem i istočnom dijelu Europe. [2]

Kakvoća zraka u Europi nije uvijek rasla u skladu s općim smanjenjem antropogenih (koje uzrokuju ljudi) emisija onečišćivača zraka. Na slici 1. su prikazane države u Europi sa ljestvicom kvalitete onečišćenja zraka.

Razlozi koji uzrokuju ovo su složeni:

- ne postoji jasan linearan odnos između smanjenja emisija i koncentracija onečišćivača u zraku
- raste prijenos onečišćivača zraka na velike udaljenosti u Europu iz drugih zemalja sjeverne polutke. Zbog toga je i dalje potrebno ulagati ciljani napor za smanjenje emisija kako bi se nastavila zaštita ljudskog zdravlja i okoliša u Europi.



Slika 1. Onečišćenje zraka u Europi [10]

### 3. IZVORI ONEČIŠĆENJA I ONEČIŠĆUJUĆE TVARI U ZRAKU

#### 3.1. Izvori onečišćenja

Postoje veliki prirodni izvori onečišćavanja zraka, a također je vrlo važno spriječiti i dodatni utjecaj ljudskih aktivnosti na smanjivanje kvalitete zraka. Izvorom onečišćenja zraka smatra se objekt ili proces koji emitira onečišćujuće tvari u atmosferu. Izvori onečišćenja zraka mogu se sistematizirati prema različitim kriterijima. Tako se prema vrsti onečišćenja zraka, dijele na prirodne i umjetne izvore onečišćenja zraka. Na slici 2. prikazani su neki od izvora onečišćenja zraka pa se tako može vidjeti kako postoje različiti izvori ispuštanja različitih onečišćivača zraka u atmosferu, uključujući industriju, prijevoz, poljoprivredu, upravljanje otpadom i domaćinstva, a također su i prirodni izvori odgovorni za ispuštanje nekih onečišćivača zraka.



Slika 2. Izvori onečišćenja zraka [10]

Tako primjerice oko 90% emisija amonijaka i 80% emisija metana dolazi iz poljoprivrede, dok oko 60% sumpornih oksida dolazi iz proizvodnje energije i njezine raspodjele. Mnogi prirodni fenomeni, uključujući vulkanske erupcije, šumske požare i pješčane oluje otpuštaju onečišćujuće tvari iz zraka u atmosferu. Izvori metana uključuju otpad, iskapanje ugljena i prijevoz plina na velike udaljenosti. Više od 40% emisija dušičnih oksida odnosi se na cestovni prijevoz. Izgaranje goriva ključan je čimbenik koji doprinosi onečišćenju zraka. [10]

### 3.1.1. Prirodni izvori onečišćenja

Prirodni izvori onečišćenja su prirodne pojave na koje čovjek ne može utjecati, a svakodnevno se s njima susreće.

Prirodni izvori onečišćenjima su vanjski utjecaji te tu spadaju :

- prašina (pustinjska) nošena vjetrom,
- aeroalergeni,
- čestice morske soli,
- dim, leteći pepeo,
- plinovi šumskih požara,
- plinovi iz močvara,
- mikroorganizmi (bakterije i virusi),
- magla,
- vulkanski pepeo i plinovi,
- prirodna radioaktivnost,
- meteorska prašina,
- prirodna isparavanja.

### 3.1.2. Umjetni izvori onečišćenja zraka

Umjetni izvori onečišćenja su onečišćenja uzrokovana aktivnostima i procesima kojima upravlja čovjek te tu spadaju:

- onečišćenje uzrokovano proizvodnjom toplinske i/ili električne energije (elektrane i toplane),
- onečišćenje uzrokovano radom industrijskih postrojenja (npr. metalurgija, kemijska industrija) i poljoprivredom (kopaње, zaprašivanje, spaljivanje i dr.),
- onečišćenje uzrokovano transportnim sredstvima,
- onečišćenje uzrokovano spaljivanjem različitih vrsta otpada,
- onečišćenja uzrokovano svim ostalim djelatnostima koje nisu obuhvaćene u gornje četiri skupine, kao npr. procesi kemijskog čišćenja, tiskanja, bojanja, rušenja objekata, zaprašivanja insekata i dr.[3]

### **3.1.3. Ostale podjele izvora onečišćenja**

Prema rasporedu onečišćenja, izvori onečišćenja se mogu podijeliti na pojedinačne ili točkaste, linijske te površinske izvore:

Pojedinačni ili točkasti izvori su izolirani ili međusobno dovoljno udaljeni izvori koji ne utječu na onečišćenje istog prostora, kao što su primjerice termoelektrane, rafinerije i slično, a uz koje se ne nalaze druga postrojenja, pa tako predstavljaju jedini izvor onečišćenja na tom području.

Linijskih izvorima smatraju se transportni putovi kojima se kreću transportna sredstva.

Površinski izvori podrazumijevaju velik broj manjih izvora koji onečišćavaju isti prostor, kao što su industrijske zone s većim brojem postrojenja i/ili kotlovnice grijanja koje zajedno onečišćuju zrak u primjerice jednom gradu. [3]

Prema vrsti onečišćenja izvore je moguće svrstati u velik broj grupa, no obično se dijele prema agregatnom stanju u kojem izvor emitira onečišćujuće tvari, i to na:

- izvore čestica,
- izvore plinova
- izvore plinova i čestica

Izvori onečišćenja mogu se još podijeliti i na stacionarne i mobilne. Dok se s obzirom na vrijeme onečišćavanja dijele se na trajne izvore (npr. visoke peći, termoelektrane i sl.) te povremene izvore.

### **3.2 Emisija i imisija**

Emisija (lat. *emittere*) u prijevodu znači izaslati, odaslati, dok imisija (lat. *imittere*) ima suprotno značenje, odnosno prihvatiti. Emisija i imisija mogu biti opće i posebne.

Opća emisija predstavlja emitiranje onečišćenja iz svih izvora onečišćenja na Zemlji u atmosferu, a posebna emisija podrazumijeva emitiranje onečišćenja jednog ili više izvora onečišćenja na određenom prostoru. [3]

Za opću i posebnu imisiju vrijede iste definicije, no u smislu prihvaćanja. Stanje onečišćavanja zraka određenog područja određeno je tzv. katastrom emisije koji sadrži popis

svih izvora onečišćenja na tom području (geografski položaj, vrsta izvora, vrsta i oblik emitiranog onečišćenja, količina onečišćenja, način i uvjeti emitiranja onečišćenja, trajanje emisije i njezina učestalost ako je povremena).

Stupanj imisije onečišćenja iz različitih izvora utječe na kvalitetu zraka određenog područja. Kvalitetu zraka određuje vrsta i koncentracija onečišćenja u njemu, što se utvrđujemjerenjima čestica, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> i CO, a u industrijskim područjima i organskih tvari, teškihmetala i drugih, ovisno o vrsti izvora onečišćenja.[3]

### **3.3. Onečišćujuće tvari u zraku**

Prema definiciji Međunarodne organizacije za standardizaciju (International Organization for Standardization,ISO) zrak se smatra onečišćenim ako sadrži tvari koje potječu od ljudskih aktivnosti ili prirodnih procesa u takvoj koncentraciji, trajanju i uvjetima da može narušiti kakvoću življenja, zdravlje i dobrobit ljudi i okoliša. Čak i bez antropogenih utjecaja zrak je bio povremeno onečišćen kao posljedica vulkanskih erupcija, šumskih požara, procesa truljenja i radioaktivnog raspada, ali u naseljima se zrak neprekidno onečišćuje iz brojnih izvora na ograničenom prostoru.

Postoji više tisuća različitih tvari i kemijskih spojeva koji potencijalno mogu onečistiti zrak, stoga će biti prikazani samo najvažniji od njih. Onečišćujućim tvarima u zraku smatramo tvari koje uzrokuju štetu ljudima i okolišu i te se tvari mogu nalaziti u zraku u krutoj, tekućoj ili plinovitoj fazi. [2]

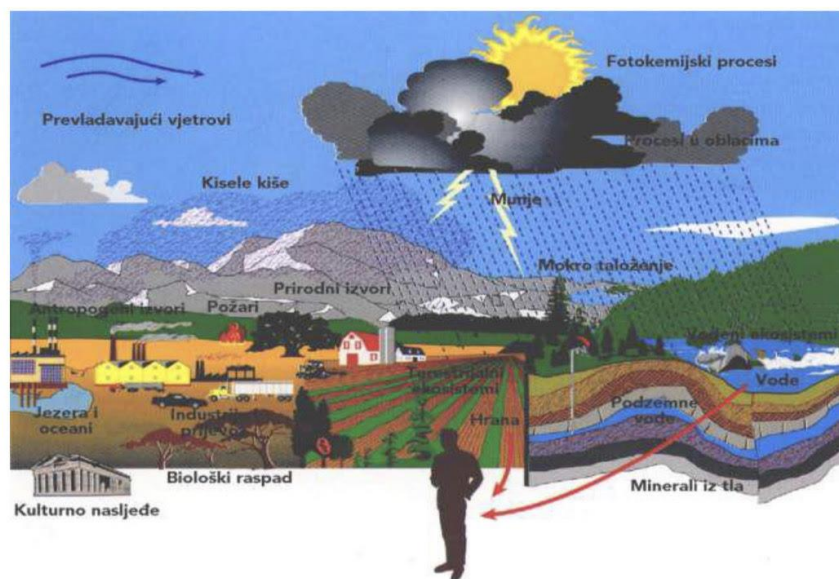
Potrebno je napomenuti da postoje i prirodni izvori onečišćenja zraka koji mogu biti veći od onih izazvanih ljudskom djelatnošću, no unatoč tome potrebno je smanjiti dodatno onečišćavanje zraka ljudskom djelatnošću.

Općenito, onečišćujuće tvari u zraku koje nastaju kao posljedica ljudskih aktivnosti mogu se podijeliti u sljedeće skupine:

1. Plinovi -  $\text{SO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{O}_3$  (troposferski),  $\text{CH}_4$ , freoni (klorofluorouglijci, freon 11 ( $\text{CFC}_13$ ) i freon 12 ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ), haloni, metilklorid ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ), tetraklorugljik ( $\text{CCl}_4$ ).
2. Lebdeće čestice-krute tvari i/ili kapljice tekućine raspršene u zraku (promjera čestica od 1 nm do 1 mm), prvenstveno prašinu, dim i leteći pepeo.
3. Metali i metaloidi: -Pb, Hg, Cd, Be, Tl, Ni, Cr i dr. (metaloidi: arsen, selen i antimon).
4. Postojane organske tvari: -pesticide (DDT -diklorodifenil trikloroetan, aldrin, dieldrin, endrin, mirex i dr.), policiklički aromatski ugljikovodici (PAU), industrijske kemikalije (PCB -poliklorirani bifenili, heksaklorbenzen, dioksini, furani i dr.).
5. Radioaktivne tvari -(radioaktivni izotopi): svi izotopi Pu (najvažniji je Pu-239), izotopi U (U-235, U-238), Sr-90, Cs-137, H-3, C-14, J-131 i dr.
6. Ostale onečišćujuće tvari: azbest, fluoridi, formaldehid i dr.
7. Otpadna toplina kao specifični oblik onečišćenja atmosferskog zraka. [3]

### 3.4. Osnovni pokazatelji onečišćenja zraka, njihov oblik i ponašanje

Onečišćenje zraka može biti u obliku plina, odnosno pare, ili aerosola – kapljica i čvrstih čestica vrlo raznolikog kemijskog sastava, kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Kruženje onečišćenja u atmosferi



Tablica 1. Onečišćenje zraka od glavnih izvora u naseljenim mjestima. [3]

Izvor	Pokazatelj onečišćenja zraka
Grijanje i kuhanje u kućanstvima	Lebdeće čestice (dim), sumor-dioksid, ugljik-monoksid, dušikovi oksidi
Prijevoz	Ugljik-monoksid, dušikovi oksidi, ugljikovodici s olovom, oksidansi, lebdeće čestice (dim), sumpor-dioksid (diesel), neugodni mirisi
Proizvodnja energije: Termoelektrane, toplane, rafinerije, koksare, plinifikacija, likvefakcija ugljena	Sumpor-dioksid, dušikovi oksidi, ugljik-monoksid, ugljikovodici, lebdeće čestice, amonijak, aldehidi, merkaptani, sumporovodik, ugljik-dusulfidi, fenoli, čađa, policiklički aromatski ugljikovodici, neugodni mirisi
Proizvodnja i obrada kovina: teške kovine, aluminij	Lebdeće čestice (kovine), sumpor-dioksid, fluoride, ugljik-monoksid
Mineralni proizvodi: cement, azbest, staklo i staklena vuna, keramika	Prašina, azbestna vlakna, sumporov-dioksid, dušikovi oksidi, fluoridi
Kemijska industrija: organska i anorganska	Otapala, posebno onečišćenje i kiseline
Prehrambena industrija	Neugodni mirisi, dim
Ostalo: celuloza, papir, tekstil	Sumporovodik, merkaptani, sumpor-dioksid, hipokloriti, dušikovi oksidi, lebdeće čestice
Uklanjanje smeća: obrada i spaljivanje gradskog i opasnog otpada	Lebdeće čestice, sumporni oksidi, dušikovi oksidi, ugljik-monoksid, kloridi, fluoridi, ugljikovodici, lebdeće čestice, dioksidi

U tablici 1. prikazani su pokazatelji onečišćenja zraka od glavnih izvora u naseljenim mjestima.

Tablica 2. Podrijetlo onečišćujućih tvari, njihove koncentracije u naseljenim područjima i njihova sudbina u zraku. [7]

Onečišćujuća tvar	Prirodni procesi	Podrijetlo ljudske aktivnosti	Masena koncentracija u nenaseljenim područjima	Trajnost u zraku	Promjene	Uklanjanje iz zraka
Sumporov-dioksid SO <sub>2</sub>	Vulkani	Izgaranje ugljena iz ulja	0,5 µg/m <sup>3</sup>	4 dana	Oksidacija u sulfate SO <sub>4</sub>	Kišom ili taloženjem
Sumporovodik H <sub>2</sub> S	Vulkani	Kemijska industrija	0,3 µg/m <sup>3</sup>	2 dana	Oksidacija u SO <sub>2</sub>	Apsorbacija na tlo, ocean
Ugljik-monoksid CO	Šumski požari, oceani	Ispušni plinovi automobila	0,11 mg/m <sup>3</sup>	1-3 mjeseca	Reakcije s – OH u stanosferi	Mikrobiološke reakcije na tlu
Dušik-monoksid NO, dušik-dioksid	Proizvodnja bakterija u tlu	Kemijska industrija	0,2-2,4 µg/m <sup>3</sup>	5 dana	Fotokemijske reakcije	Apsorpcija na kapljice
Amonijak NH <sub>3</sub>	Biološki procesi	Odlaganje otpadka	4,3-14,4 µg/m <sup>3</sup>	7 dana	Reakcije na SO <sub>2</sub> , oksidacija NO <sub>3</sub>	Taloženje nastalih soli
Ugljikovodici	Biološki procesi	Ispušni plinovi automobila	580 mg/m <sup>3</sup>	4 godine	Fotokemijske reakcije	Apsorpcija na vegetaciji
Ugljik dioksid CO <sub>2</sub>	Biološki procesi, oceani	Izgaranje fosilnih goriva	0,04 mg/m <sup>3</sup>	2-4 godine		Fotosinteza
Lebdeće čestice LČ	Vulkani, šumski požari, vjetrom uzdignuta prašina	Industrija, ložišta, sekundarni proizvodi kemijskih reakcija	U širokom rasponu	Ovisno o veličini čestica i vremenskim uvjetima	Koagulacija, agregacija	Taloženje

Kao posljedica djelovanja međusobnih kemijskih i fotokemijskih ili katalitičkih reakcija onečišćenja se u atmosferi mogu i kemijskih mijenjati te mogu nastati još štetniji spojevi u zraku ili se nastali spojevi odlažu iz atmosfere, stoga je u Tablici 2. prikazano upravo koliko

dugo se pojedine čestice mogu zadržati u zraku, kao i koje promjene se mogu dogoditi zbog djelovanja već spomenutih reakcija.

Mehanizmi nastajanja sekundarnih onečišćujućih tvari iz ispušnih plinova automobilskih motora su najbolje proučeni.

Dušik –monoksid (NO) pri visokim koncentracijama može vrlo brzo oksidirati u dušik – dioksid (NO<sub>2</sub>). Molekula NO<sub>2</sub> se pak apsorpcijom sunčeve svjetlosti raspada na molekulu NO i atom kisika (O), koji je vrlo reaktivan i s molekulom kisika O<sub>2</sub> daje molekulu ozona O<sub>3</sub>. Kroz daljnji niz fotokemijskih reakcija s drugim sastojcima ispušnih plinova nastaju i drugi štetni spojevi, a NO se ponovno oksidira i cijeli lanac reakcija se ponavlja sve dok ima sunčeve svjetlosti.

Sumpor – dioksid (SO<sub>2</sub>) u plinovitom stanju ili apsorbiran na površinu čestica otapa se u kapljicama kiše, magle ili oblaka te daje sulfitnu kiselinu ili se oksidira u sumpor – trioksid (SO<sub>3</sub>) i s kapljicama vode daje sulfatnu kiselinu. Oksidaciju pospješuju kovinski oksidi koji djeluju kao katalizatori, a još više amonijak ili alkalne čestice koje neutraliziraju nastalu kiselinu i time omogućavaju nastavak reakcije. (Slika 4.)



Slika 4. Čestice onečišćenja u obliku magle

Sunčeva svjetlost uz ozon može pospješiti oksidaciju SO<sub>2</sub>. NO<sub>2</sub> iz visokih izvora kao što su dimnjaci termoenergetskih i industrijskih objekata u plinovitom stanju ili adsorbiran na čvrste

čestice, iako manje reaktivan od  $\text{SO}_2$ , zajedno s vlagom stvara nitritnu kiselinu ( $\text{HNO}_2$ ) koja oksidacijom prelazi u nitratnu kiselinu ( $\text{HNO}_3$ ). S obzirom na opseg djelovanja, onečišćenje zraka može biti ograničeno na mjesto oko izvora, može zahvaćati šire područje, npr. nekoliko država ili se proširiti na cijelu Zemlju, odnosno jednu njezinu polutku. Mjesno onečišćenje zraka mogu uzrokovati primjerice kućna ložišta i primarne onečišćujuće tvari iz prometnih sredstava. [4]

Dok sekundarne onečišćujuće tvari koje nastaju fotokemijskim reakcijama sastojaka ispušnih plinova automobilskih motora (npr. ozon) te dopiru u zračnoj struji i do udaljenosti od više desetaka kilometara. Onečišćenje ispušteno iz visokih dimnjaka termoelektrana ili tvornica može zajedno sa zračnom masom putovati i do nekoliko tisuća kilometara, pa djeluje regionalno, odnosno na području više zemalja. (Slika 5.)

Putem se  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_2$  pretvaraju u odgovarajuće kiseline koje na kraju dopijaju na tlo ili na vegetaciju suhim taloženjem ili kao kisela oborina. Ona nastaje unutar samog oblaka prilikom razvoja kapljica ili kristalića ili otapanjem  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_2$  u snijegu i kiši dok padaju iz oblaka. Što se nalaze dalje od izvora, to sve više prevladava prvi mehanizam, jer je pretvorba u kiseline tijekom putovanja napredovala. Uz smanjenje pH vrijednosti odnosno porastom kiselosti dolazi do usporavanja oksidacije  $\text{SO}_2$ . Amonijak u zraku neutralizira nastalu kiselinu, čime sprječava smanjenje pH i nastavak oksidacije. Zbog toga je pH najčešće oko 4, neovisno o prevaljenom putu.

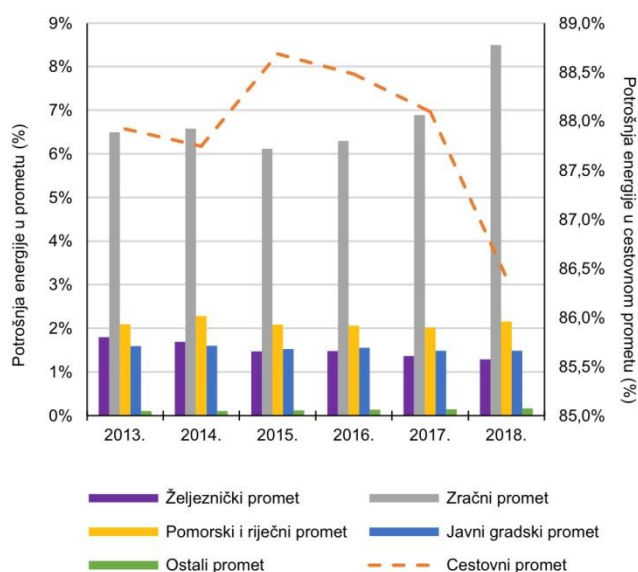


Slika 5. Onečišćenje ispušteno iz dimnjaka tvornica



Slika 6. Onečišćenje zraka automobilima

Promet izravno utječe na okoliš ispuštanjem štetnih tvari u zrak i vodu, ali i posredno uslijed iscrpljivanja prirodnih resursa. (Slika 6.) Mjere kao što su poboljšanje standarda kakvoće goriva i modernizacija cestovnog voznog parka rezultirali su smanjenjem emisija onečišćujućih tvari u zrak.



Slika 7. Potrošnja energije pojedinih vrsta prometa u RH. [11]

Grafički prikaz na slici 7. prikazuje potrošnju energije pojedinih vrsta prometa u RH. Prema prikazanom grafičkom prikazu, može se uočiti kako u razdoblju od 2013. do 2018. godine u Republici Hrvatskoj ukupna potrošnja energije u prometu rasla je 3% godišnje. Prosječna godišnja stopa porasta potrošnje energije u zračnom prometu iznosila je 8,4%, dok je potrošnja energije u cestovnom prometu rasla s prosječnom godišnjom stopom od 2,3%.

Trend porasta potrošnje energije u pomorskom i riječnom prometu ostvaren je s prosječnim godišnjim stopama od 3%, a u javnom gradskom prometu od 1%. Potrošnja energije u željezničkom prometu, koji se smatra okolišno najprihvatljivijim, smanjivala se prosječnom godišnjom stopom od 4%. U prometni sektor svrstava se i promet opasnih tvari cjevovodima (nafta i njeni derivati, prirodni plin), koji je u promatranome razdoblju rastao s najvišom godišnjom stopom od čak 12%. Ipak, promatrajući trend potrošnje energije u svim vrstama prometa, vidljivo je da se nakon 2015. pojavljuje poželjan trend njenog smanjenja, što je popraćeno i smanjenjem emisija stakleničkih plinova. [11]

### **3.5. Karakteristične promjene koncentracije**

Koncentracije onečišćujućih tvari mogu se mijenjati tijekom dana, tjedna i godine ovisno o aktivnostima stanovništva i o meteorološkim uvjetima. Stoga postoji pravilni dnevni, tjedni i godišnji hod razine koncentracije koji mogu biti poremećeni promjenom jakosti emisije ili vremenskim uvjetima. Tako na karakteristični dnevni hod ili koncentraciju SO<sub>2</sub> i dima u sezoni loženja, mogu utjecati cikličke promjene u aktivnostima stanovništva i dnevni hod vertikalnog miješanja zraka. [4]

Dnevni hod koncentracija onečišćenja pretežno potječe od ispušnih plinova automobilskih motorate može varirati obzirom na gustoću prometa. Na tjedni hod dnevnih koncentracija SO<sub>2</sub> u poslovnim dijelovima grada može utjecati prestanak loženja u dane tjednog odmora. Na godišnji hod onečišćenja zraka utječe i izgaranja fosilnih goriva koji je pak uvjetovan sezonom loženja i specifičnim aktivnostima stanovništva. [4]

Godišnji hod koncentracije SO<sub>2</sub>, može se razlikovati u industrijskim područjima, gdje je pod utjecajem proizvodnje energije za potrebe pogona kroz cijelu godinu. Koncentracije onečišćenja zraka mogu se tijekom godina povećavati (trend porasta) zbog novih ili povećanih aktivnosti ili smanjivati (trend pada) zbog mjera poduzetih za suzbijanje onečišćavanja zraka, odnosno zbog prestanka ili smanjenja nekih aktivnosti iz drugih razloga.

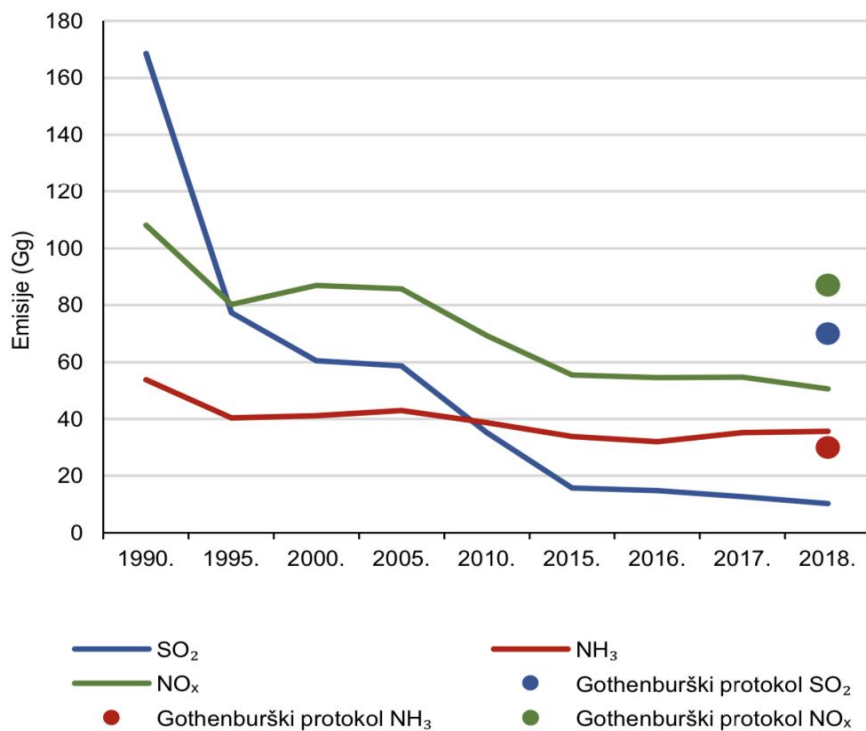
### 3.6. Ocjena kakvoće zraka

Na temelju praćenja koncentracije karakterističnih pokazatelja onečišćenja zraka kakvoća se zraka ocjenjuje provođenjem usporedbe s graničnim vrijednostima. Svjetska zdravstvena organizacija za Europu donijela je 1987. godine smjernice o poželjnoj kakvoći zraka za 28 onečišćujućih tvari kao podlogu za donošenje nacionalnih propisa. [4]

Emisije glavnih zakiseljavajućih tvari ukazuju na opći trend smanjenja. Prema Gothenburškom protokolu kojim su propisane nacionalne emisijske kvote, Hrvatska je 2018. godine ispunila ciljeve za emisije  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$ . Ipak, nije ispunjen cilj za  $\text{NH}_3$ , jer su emisije bile iznad protokolom navedene kvote od 30 kt. Ovo je prekoračenje posljedica promjene načina proračuna emisija  $\text{NH}_3$ .

U Republici Hrvatskoj u razdoblju od 1990. do 2018. godine emisije  $\text{SO}_2$  smanjivane su kontinuirano, ukupno za 93,8%, a osnovni razlog je prelazak sa visoko-sumpornih na nisko-sumporna goriva. Emisije  $\text{NO}_x$  također su u odnosu na 1990. godinu bile u opadanju (za 53%). Dominantni izvor  $\text{NO}_x$  je izgaranje goriva u energetici, osobito u cestovnom prometu, a emisije su smanjene zbog uvođenja katalizatora i strožih standarda za emisije iz cestovnih vozila. U istom su razdoblju emisije  $\text{NH}_3$  smanjene za 34%, a glavni izvor je sektor poljoprivrede s udjelom od 82%. [11]

Slika 8. opisuje glavne onečišćujuće tvari koje uzrokuju zakiseljavanje i eutrofikaciju. To su sumporov dioksid ( $\text{SO}_2$ ), dušikovi oksidi ( $\text{NO}_x$ ) i amonijak ( $\text{NH}_3$ ). Snižavaju pH vrijednost vode i tla, čime uzrokuju zakiseljavanje vodenih ekosustava i šuma. Hrvatska je od 1991. stranka Konvencije o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka (LRTAP) i pripadajućih sedam protokola koji imaju za cilj ograničavanje antropogenih emisija, između ostalog i  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  i  $\text{NH}_3$ . [11]



Slika 8. Zakiseljavajućih tvari SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i NH<sub>3</sub> (Gg). [11]

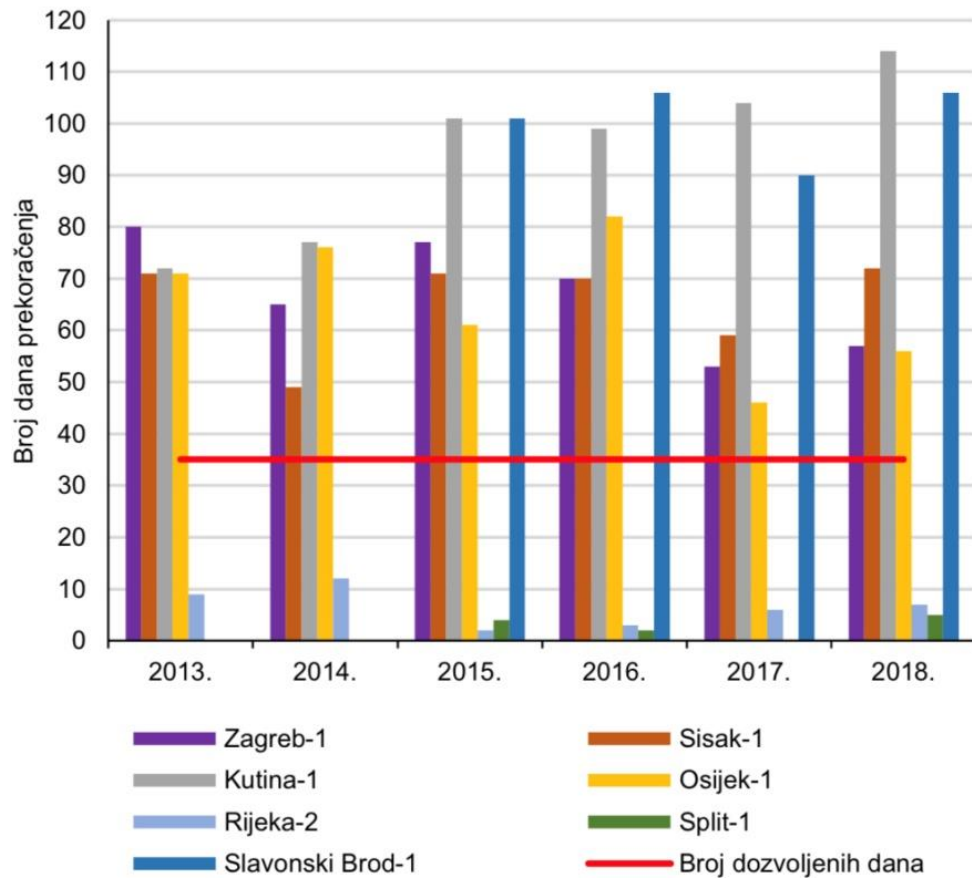
Na slici 8. prikazan je trend zakiseljavajućih tvari SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i NH<sub>3</sub> (Gg) za period od 1990. do 2018. godine. Tijekom godina možemo primjetiti smanjenje zakiseljavanje tvari SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> koje utječu na onečišćenje zraka.

Lebdeće čestice (PM<sub>10</sub>) mješavina su organskih i anorganskih čestica suspendiranih u zraku u obliku sitne prašine manje od 10 μm. Nastaju uglavnom izgaranjem goriva u kućnim ložištima, u cestovnome prometu i u industriji. Opasne su za ljudsko zdravlje jer prodiru i zadržavaju se u dišnim putovima te uzrokuju upalne promjene, infekcije i porast pojavnosti alergija. Osim učinka na zdravlje i skraćivanja životnog vijeka, loša kvaliteta zraka također uzrokuje i gospodarske gubitke kroz veće troškove zdravstvene zaštite te manju produktivnost radne snage. [5]

Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku je s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi propisana granična vrijednost (GV) koncentracija PM<sub>10</sub> u zraku od 50 μg/m<sup>3</sup> koja ne smije biti prekoračena više od 35 puta godišnje. Problem onečišćenja zraka lebdećim česticama i dalje je izražen slikom 8. u naseljenim područjima u kontinentalnom dijelu Hrvatske. U razdoblju od 2013. do 2018. godine u aglomeracijama Zagrebu i Osijeku te u većim gradovima industrijske zone Sisku, Kutini i Slavanskom Brodu prekoračene su dnevne



granične vrijednosti u svim godinama. Na mjernim postajama u priobalju, Rijeci i Splitu granična vrijednost nije prekoračena.

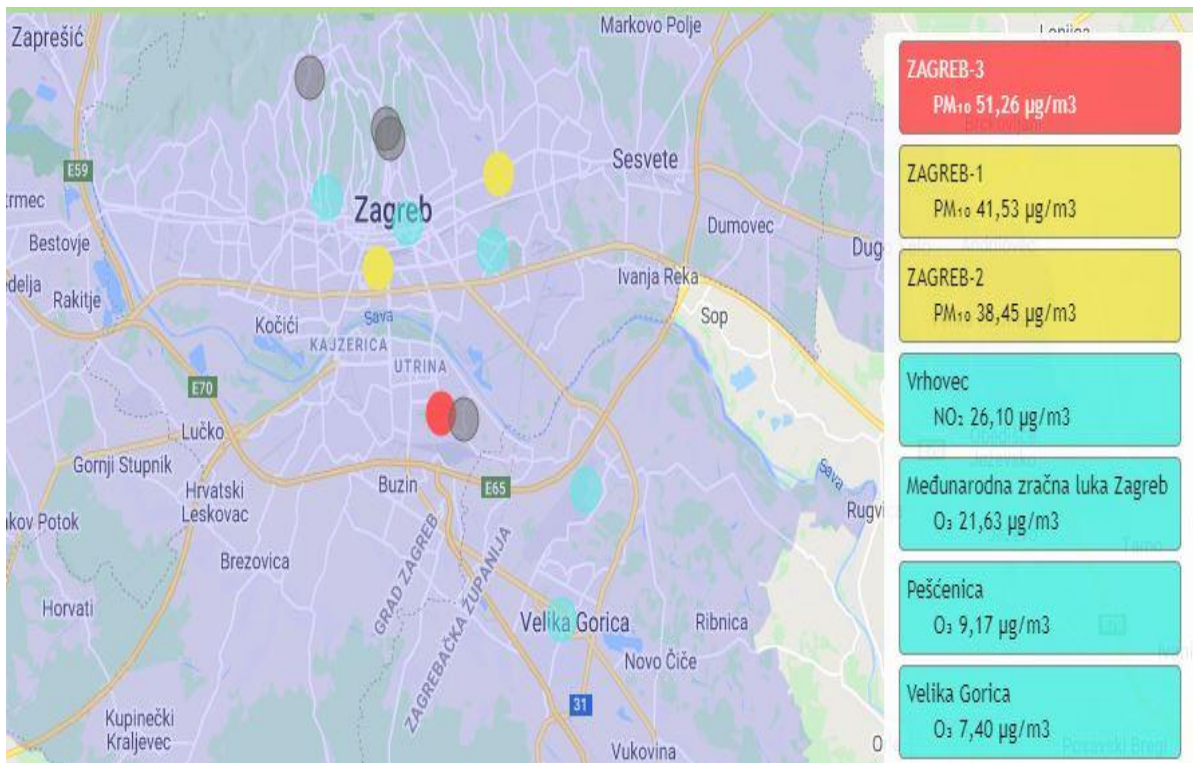


Slika 9. Prekoračenja GV za PM<sub>10</sub> u područjima Republike Hrvatske. [11]

Slika 9. prikazuje prekoračenja propisanih graničnih vrijednosti za PM<sub>10</sub> na većim gradovima u Republici Hrvatskoj u rasponu od 2013. do 2018. godine.

Možemo primjetiti da je najviša razina u Kutini i Slavonskom brodu , dok je u Rijeci i Splitu relativno mala.

Primjer na dan 17.01.2020 godine u Zagrebu je zabilježena velika koncentracija PM<sub>10</sub> što možemo vidjeti na slici 10.



Slika 10. Kvaliteta zraka u Zagrebu na dan 17.01.2020

Pri analizi koncentracija lebdećih čestica treba uzeti u obzir i to da je na dan 17.01.2020, došlo do pojave prekograničnog onečišćenja zraka, što je uzrokovalo povećane koncentracije lebdećih čestica, a čiji je vrhunac vidljiv na mjernoj postaji Zagreb-3 za razliku od ostalih mjernih postaja. [12]

Kod lebdećih čestica PM<sub>10</sub> koncentracija je veća. To je vjerojatno zbog činjenice što su glavni izvori lebdećih čestica različiti, uključujući grijanje (izgaranje u malim kućnim ložištima), industrijske aktivnosti, cestovni promet i poljoprivreda, a na njihove koncentracije također značajno utječu vremenski uvjeti. (Slika 10.)

### 3.7. Pravilnici/zakoni kojima je regulirana kvaliteta zraka u RH

Pravilnikom se propisuje način praćenja kvalitete zraka i prikupljanja podataka, mjerila za lokacije mjernih mjesta, mjerila za određivanje minimalnog broja mjernih mjesta, referentne metode mjerenja, način dokazivanja ekvivalentnosti za druge metode mjerenja, način provjere kvalitete mjerenja i podataka, kao i način obrade i prikaza rezultata i usklađenost s hrvatskim normama, način provjere ispravnosti i umjeravanja mjernih instrumenata, način i

troškove rada referentnih laboratorija, osnivanje i način rada povjerenstva za praćenje rada referentnih laboratorija, način dostavljanja podataka za potrebe informacijskog sustava zaštite zraka, sadržaj godišnjeg izvješća i način redovitog informiranja javnosti.[6]

Ovaj Pravilnik sadrži odredbe koje su u skladu sa sljedećim aktima Europske unije:

- Direktiva Komisije (EU) 2015/1480 od 28. kolovoza 2015. o izmjeni određenih priloga direktivama 2004/107/EZ i 2008/50/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o utvrđivanju pravila za referentne metode, validaciju podataka i lokaciju mjernih točaka uzorkovanja za ocjenjivanje kvalitete zraka (SL L 224, 29. 8. 2015.)
- Direktiva 2008/50/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o kvaliteti zraka i čistijem zraku za Europu (SL L 152, 11. 6. 2008.)
- Direktiva 2004/107/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća koja se odnosi na arsen, kadmij, živu, nikal i policikličke aromatske ugljikovodike u zraku (SL L 23, 26. 1. 2005.).[6]

Za potrebe praćenja kvalitete zraka i prikupljanja podataka mora se osigurati:

- stalna mjerna mjesta na teritoriju Republike Hrvatske
- neprekidno i/ili povremeno mjerenje/uzorkovanje koncentracija onečišćujućih tvari u zraku na stalnim mjernim mjestima
- povremeno mjerenje/uzorkovanje koncentracija onečišćujućih tvari na privremeno određenim mjernim mjestima
- prijenos, obrada, provjera valjanosti i analiza podataka mjerenja i/ili uzorkovanja na mjernim mjestima
- provjera kvalitete mjernih postupaka te podataka dobivenih mjerenjem i/ili uzorkovanjem na mjernim mjestima
- održavanje mjernih mjesta, mjernih instrumenata i opreme za prihvati i prijenos podataka.[6]

Razina onečišćenosti zraka prati se mjerenjem koncentracija onečišćujućih tvari u zraku mjernim instrumentima za automatsko mjerenje i/ili uzorkovanjem uz fizikalno-kemijsku analizu u laboratoriju.

Postupak uzorkovanja obuhvaća pripremu, uzimanje, čuvanje i prijevoz uzoraka do laboratorija, a uzorci se ispituju, određuju, mjere ili analiziraju u laboratoriju fizikalno-kemijskom analizom.

Rezultati mjerenja i/ili uzorkovanja onečišćujućih tvari vrednuju se prema propisanim граниčnim vrijednostima, granicama tolerancije, ciljnim vrijednostima i dugoročnom cilju za prizemni ozon.

Stalno mjerno mjesto mora biti opremljeno mjernim instrumentima za sakupljanje, pohranjivanje i prijenos podataka u informacijski sustav kvalitete zraka.

U cilju osiguranja minimalnog obuhvata podataka za ocjenjivanje razine onečišćenosti zraka na cijelom teritoriju Republike Hrvatske, za stalna mjerna mjesta moraju se osigurati rezervni ili zamjenski mjerni instrumenti.[6]

Pri procjenjivanju razine onečišćenosti zraka može se mjerenje koncentracija onečišćujućih tvari u zraku nadomjestiti rezultatima modeliranja kvalitete zraka ili drugih objektivnih metoda ocjenjivanja razine onečišćenosti zraka samo za zone i aglomeracije u kojima razina onečišćenosti onečišćujućih tvari na prekoračuje donji prag procjene sukladno Zakonu o zaštiti zraka.

Razina onečišćenosti ocjenjuje se na osnovi rezultata mjerenja iz članka 5. pravilnika kvalitete zraka u RH te drugih raspoloživih podataka, kao što su podaci dobiveni modeliranjem prijenosa i disperzije onečišćujućih tvari odgovarajućim atmosferskim modelima, drugim metodama procjene i mjerila koji se primjenjuju temeljem propisa na području Europske unije te podataka iz registra onečišćivanja okoliša.[6]

Povjerenstvo za praćenje rada referentnih laboratorija osniva ministar zaštite okoliša i energetike odlukom.

Povjerenstvo se sastoji od predstavnika referentnih laboratorija, Ministarstva, Hrvatske agencije za okoliš i prirodu, Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost i Državnog hidrometeorološkog zavoda.[6]

Povjerenstvo se sastaje najmanje dva puta godišnje radi evaluacije godišnjeg programa rada i izvješća iz članka 19. Pravilnika kvalitete zraka u RH.[6]

## 4. UTJECAJ ONEČIŠĆENOG ZRAKA NA ZDRAVLJE

### 4.1. Utjecaj onečišćenog zraka na organizam

Ljudskom je organizmu dnevno potrebno 15 do 16 kg zraka, što je desetak puta više nego što mu treba hrane i vode. Zrak je potreban neprestano i život se bez njega može održati jedva pet minuta. Atmosfera, kojoj ne vidi granice u usporedbi sa zrakom stvara osjećaj da se u zrak mogu ispuštati goleme količine štetnih tvari. No nepovoljni meteorološki uvjeti, kada nema difuzije u visinu mogu uzrokovati takvo nagomilavanje onečišćenja u donjem sloju zraka pa su ljudi, životinje i biljke izloženi opasnosti i dolazi do oštećenja materijala.[5]

Velika onečišćenja zraka u gradovima i industrijskim područjima koja su uzrokovala povećanu smrtnost u rizičnim skupinama stanovništva, potaknula su znanstvenike širom svijeta da posebnu pozornost usmjere na proučavanje utjecaja onečišćenja zraka na zdravlje. Iako se tada onečišćenje zraka nije uvijek točno i precizno mjerilo, raspoloživi podaci upućuju na to da je zdravstvene učinke izazvalo zajedničko djelovanje većeg broja čestica i plinova iz tvorničkih dimnjaka unutar jake prizemne temperaturne inverzije. Zimi u dimu i magli nastaje većinom reduktivni smog sastavljen uglavnom od sumpor-dioksida i čađi.[5]

Kakvoća zraka u gradovima i industrijskim područjima najviše ovisi o dvjema skupinama onečišćujućih tvari koje su posljedica čovjekovih aktivnosti, odnosno dobivanja topline i energije. To su: spojevi sumpora i lebdeće čestice, fotokemijski smog.

Osnovni izvor prve skupine je potpuno i nepotpuno izgaranje fosilnih goriva koja sadrže sumpor. Uz ugljik–dioksid koji, iako pridonosi cjelokupnom zagrijavanju Zemlje, nema zamjetne izravne učinke na zdravlje, nastaju spojevi sumpora, ugljik-monoksid (CO), dušikovi oksidi, policiklički aromatski ugljikovodici i skupina ostalih potencijalno toksičnih, kancerogenih i kemijskih aktivnih tvari. [6]

Fotokemijski smog nastaje pri suhom i sunčanom vremenu fotokemijskim reakcijama dušikovih oksida i ugljikovodika iz ispušnih plinova automobilskih motora. To je smog oksidativnog tipa i sadrži oksidanse –ozon i perokside. U zraku ima i primjesa organskog podrijetla, kao što su: virusi, bakterije, gljivice, alge, pelud i sastojci koji nastaju vrenjem i

ostalim metaboličkim procesima, a uključuju ugljik–dioksid, metan, amonijeve spojeve, dušikove okside, dimetilsulfid i terpene. No oni u vanjskom zraku ne dostižu koncentraciju koja bi značajnije utjecala na zdravlje.

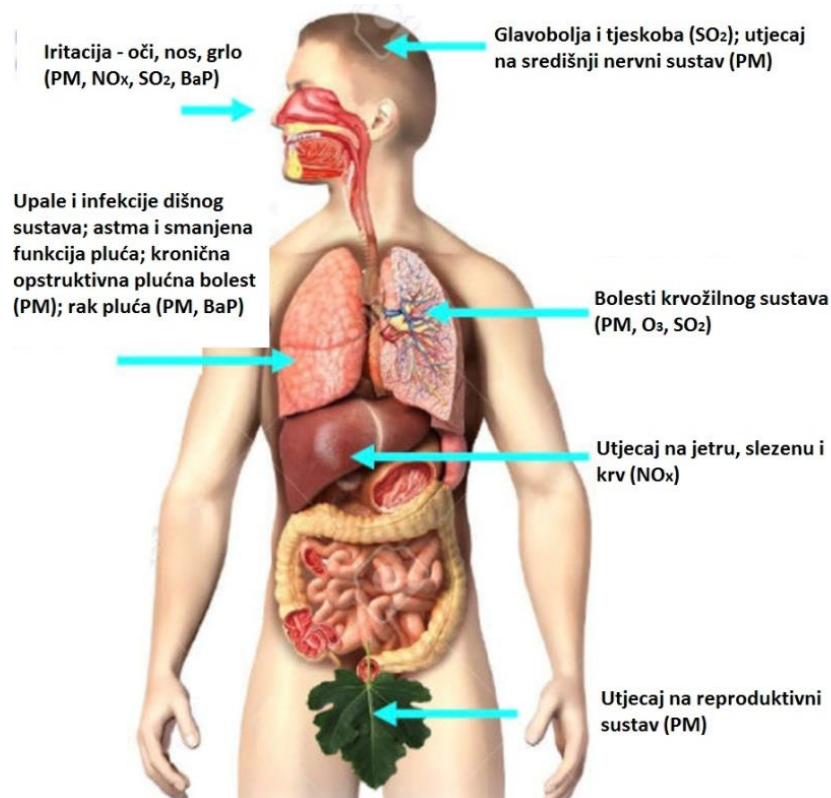
Glavne tvari koje utječu na onečišćenje zraka u zatvorenim prostorima su metanal (formaldehid), ugljik–monoksid, dušični oksid, mikroorganizmi (virusi, bakterije, gljivice) i duhanski dim. Duhanski dim je složen aerosol u kojem je identificirano oko 4000 kemijskih sastojaka, a mnogi su štetni za zdravlje. Među njima se ističu katran, nikotin, ugljik–monoksid, lebdeće čestice i nadražajne tvari kao što su aldehidi, dušični oksidi, amonijak. Svjetska zdravstvena organizacija je još 1975. godine pušenje proglasila najvažnijim pojedinačnim činiteljem odgovornim za loše zdravlje koji najčešće uzrokuje ili pogoršava: bolesti srca i krvnih žila, bolesti pluća i dišnih putova, bolesti krvnih žila i mozga, rak pluća, usta, grla, gušterače, bubrega, mokraćnog mjehura i bolesti probavnog sustava.[5]

Onečišćenje zraka ne oštećuje jednakosva tkiva, odnosno sve stanice ljudskog organizma, već učinak ovisi o koncentraciji i trajanju djelovanja onečišćenja, njegovim fizikalno-kemijskim svojstvima, mjestu djelovanja i zdravstvenom stanju organizma. Na učinak onečišćenja utječu prehrana, način života, navike i ponašanja, te organske bolesti osobe, a poznato je i više od 30 raznovrsnih genetskih stanja koja povećavaju osjetljivost na štetne tvari.[5]

Onečišćujuće tvari iz zraka ulaze u organizam kroz dišni sustav, kožu i probavni sustav. Mnoge organske tekućine, plinovite pa i čvrste tvari mogu proći kroz neoštećenu kožu. Čvrste tvari raspršene kao prašina i dimovimogu se apsorbirati kroz pluća, ali se mogu i prenijeti s ruku na hranu i ući u probavni sustav. Sluznica dišnog sustava s alveolarnom površinom pluća koju čini  $15\text{m}^2$  nježne i ranjive opne između krvi i zraka, najizloženija je i najosjetljivija, tako da onečišćenje zraka djeluje najviše preko dišnog sustava. Ljudski organizam različito reagira na štetne tvari.

Neke tvari izazivaju akutni učinak već pri prvoj izloženosti, druge pokazuju toksični učinak nakon nekoliko dana ili tjedana ili nakon dugotrajnog i ponavljano izlaganja. Uz akutnu bolest ili smrt, štetne tvari iz atmosfere mogu izazvati kroničnu bolest, ometanje rasta i razvoja ili skraćenje života, smetnje važnih fizioloških funkcija (ventilacija pluća, prijenos kisika, rada osjetila, pokretljivosti) te osjećaj neugode i nakupljanje onečišćenja u organizmu. U skladu s definicijom Svjetske zdravstvene organizacije prema kojoj zdravlje nije samo

odsutnost bolesti već i potpuno tjelesno, mentalno i socijalno blagostanje, bitni su i neizravni učinci onečišćenja zraka na ljude, i to oštećenjem biljaka i životinja, te djelovanjem na okolicu (smanjenje vidljivosti, smrad) kao i na dobra stvorena ljudskim radom (građevine, spomenici).



Slika 11. Utjecaj onečišćujućih tvari u zraku na zdravlje čovjeka

Na slici 11. prikazan je utjecaj onečišćujućih tvari u zraku na zdravlje ljudi te na koje organe djeluje.

Onečišćenje zraka nije beznačajan, već vrlo važan činitelj za zdravlje. Njegov se utjecaj ispituje pokusima na stanicama, tkivima i organizmima, pokusima na životinjama, ispitivanjem ljudi-dobrovoljaca pod kontroliranim uvjetima i epidemiološkim studijama. U pokusima većina pojedinačnih tvari izaziva zamjetljive učinke za zdravlje tek u koncentracijama mnogo većim od onih u onečišćenom gradskom zraku. [6]

Epidemiološke studije odražavaju stvarne uvjete, no zbog vrlo mnogo činitelja koji djeluju nije moguće izdvojiti utjecaj jednog štetnog i zaključivati o uzročno – posljedičnom odnosu.



Slika 12. Piramida učinka onečišćenosti zraka na zdravlje ljudi

Na slici 12. prikazan je učinak onečišćenja zraka na zdravlje ljudi prema ozbiljnosti učinka. Štetni učinci nastali kao posljedica onečišćenja zraka, na ljudskom organizmu mogu se podijeliti na sljedeće skupine :

Štetni učinci uzrokovani onečišćenjem zraka, na ljudskom organizmu jesu :

#### 1. Toksični učinak

- reverzibilni bronhospazam (prolazno suženje bronha),
- poremećaj mukocilijarne aktivnosti (aktivnosti sekreta i trepetiljka sluznice),
- poremećaj fagocitoze i detoksikacije (uklanjanja stanica i toksina),
- povećana osjetljivost na infekciju (zarazu),
- upala, oslobađanje preteolitskih enzima (koji razgrađuju bjelančevine).

#### 2. Antigeni učinak (izazivanje preosjetljivosti, odnosno alergijske reakcije) :

- poticanje stanica koje sudjeluju u alergijskoj reakciji (mastociti, bazofili),
- oslobađanje tvari koje posreduju u alergijskoj reakciji (medijatori).

#### 3. Kancerogeni učinak (izazivanje raka):,

- citotoksični (toksični za stanice),
- genotoksični (toksični za gene),
- poticanje ili sprečavanje djelovanja enzima,
- učinak na imunološke reakcije i limfni prijenos.



Najčešće bolesti uzrokovane izloženosti jednoj ili više štetnih tvari iz atmosfere jesu bolesti dišnog sustava, bolesti kože, rak, bolesti srca i krvnih žila, te bolesti osjetila.[2]

U onečišćenoj atmosferi najrasprostranjenija je skupna nadražljivaca, u koju spadaju:

- spojevi sumpora,
- dušikovi oksidi,
- ozon i drugi oksidansi,
- metanal (formaldehid) i drugi aldehidi
- dim.

Nadražljivci djeluju izravno na sluznicu dišnog sustava te preko živčanih završetaka mogu uzrokovati akutno suženje bronha i kronične plućne bolesti ometanjem funkcije stanica i krvnih žila. Sumporni spojevi su vrlo rasprostranjeni, a među njima su najznačajniji sumpor – dioksid te sumporna kiselina i njezine soli. Početni je znak izloženosti sumpor-dioksidu, pri koncentraciji dva puta višoj od najviše dopuštene za atmosferu radnog mjesta, nadražaj gornjeg dijela dišnog sustava koji se najčešće opisuje kao „suhoća“ nosa i grla i pogrešno pripisuje udisanju suhog zraka.[6]

Studije upućuju kako značajnije promjene otpora u dišnim putovima nastaju u osjetljivih osoba (npr. astmatičara), i to pri četiri puta nižoj koncentraciji sumpor-dioksida nego u zdravih osoba, posebice uz blagu do umjerenu tjelesnu aktivnost. Visoka koncentracija SO<sub>2</sub> može izazvati kemijski bronhitis, a pokusima je dokazano da u životinja povećava osjetljivost na zaraze. Iz epidemioloških studija može se zaključiti da u pojavama velike koncentracije sumpor-dioksida u zraku može biti povećan udjel oboljelih i umrlih od bolesti srca i krvnih žila, veća sklonost zaraznim bolestima dišnih organa u djece i pojačan kronični kašalj pušača.

Složenost učinka sumpor-dioksida na zdravlje proizlazi iz činjenice da se on i u organizmu i izvan njega može kemijski mijenjati i vrlo različito djelovati u kombinaciji s drugim onečišćujućim tvarima, pri čemu je veoma važan mogući citotoksični učinak. Važna su istraživanja međusobnog djelovanja SO<sub>2</sub> s kemijskim kancerogenom u zraku, benzo(a)pirenom, u pokusima na životinjama. Sumporni spojevi štetno djeluju na čovjeka i neizravno, preko ekosustava, i to korozijom materijala u okolišu, zakiseljavanjem tla i vode te funkcionalnim i morfološkim promjenama biljaka i životinja. Dušikovi oksidi se u atmosferi

najčešće pojavljuju kao smjesa dušik-monoksida (NO), dioksida (NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), trioksida(N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) i pentoksida (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).[6]

Dušik-monoksid je bezbojan nezapaljiv plin i atmosferski ga kisik oksidira u dioksid. Dušik-dioksid je relativno netopljiv u vodi, pa iz njega tek u alveolama nastaju štetne i nadražujuće dušične i dušičasta kiselina koje mogu izazvati plućni edem. U zdravom ljudskom organizmu koji je izložen 180 dana zraku u kojem je obujmeni udjel NO<sub>2</sub> 1 ppm mogu se razviti krvne biokemijske promjene i ateroskleroza.[7]

Epidemiološka ispitivanja učinka dušikovih oksida na otvorenom prostoru pokazuju kako obujmeni udjeli manji od 50 ppb ne izazivaju zamjetne promjene u zdravih, odraslih osoba, a u astmatičara je opažen porast otpora dišnih putova već uz relativno nizak obujmeni udjel od 100 ppb. Kod mlađe djece nađena je slaba, reverzibilna povezanost izloženosti dušičnim oksidima u zraku stambenih prostorija s pojavom bolesti dišnih organa.

Ozon je vrlo toksičan plin, a može djelovati na pluća. Već obujmeni udjel ozona 0,12 ppm u zraku može izazvati kašalj i početne promjene plućne funkcije te povećanu bronhalnu aktivnost i smanjenu sposobnost pluća da se obrane od infekcije. Visoki udjeli (9 ppm) izazivaju plućni edem u pokusnih životinja, vjerojatno u međudjelovanju s površinski aktivnom tvari pluća.

Najčešći učinci duhanskog dima na dišni sustav su tzv.pušačke bolesti –kronični bronhitis i karcinom pluća. Također i izloženost dimu tuđe cigarete, tzv. pasivno ili nevoljno pušenje, može imati teške posljedice, kao što su usporeni razvoj plućne funkcije u djece, smanjena plućna funkcija i povećana hiperaktivnost dišnih putova u odraslih, poglavito astmatičara. Primarni nadražaj kože, kontakni dermatitis ili alergijsku upalu može izazvati gotovo neograničen broj štetnih tvari od kojih su najpoznatije krom, metali, tvari organskog podrijetla i organska otapala. [7]

#### **4.2. Utjecaj onečišćivača na bolesti srca i krvnih žila i ostale bolesti**

Smetnje mnogim organizmima izazivaju i sljedeće tvari: kovine (As, Hg, Be, Pb, Mn itd.), ugljik-monoksid, pesticidi i drugi poljodjelski otrovi i azbest.

Najznačajniji otrovi kojima su ljudi izloženi u vanjskom zraku jesu olovo i ugljik-monoksid. Olovo je kumulativni otrov koji se taloži u kostima, ali i u drugim tkivima, iz kojih izlazi i uzrokuje promjene koštane srži i smetnje probavnog i živčanog sustava. [7]

Praćenje izloženosti olovu i pokazatelja bioloških promjena izazvanih olovom na skupinama prometnika, tramvajskih vozača, poštara i radnika na benzinskim crpkama u Zagrebu, pokazalo je da su te osobe tijekom radnog vremena bitno više izložene olovu od ostalih građana, ali još nema mjerljivih bioloških promjena.[7]

Ugljik–monoksid (CO) kojega su osnovni izvori nepotpuno izgaranje i duhanski dim, pripada skupini tzv. kemijskih zagušljivaca jer se taj plin veže na iznimno važnu krvnu boju – hemoglobin i potpuno ometa prijenos kisika. Koncentracija karboksihemoglobina ovisi o koncentraciji CO u zraku, trajanju izloženosti i individualnoj tjelesnoj aktivnosti. Udio karboksihemoglobina u krvi pušača je od 4 do 5 % prije dodatne izloženosti. (Tablica 3.)

Tablica 3. Klinički učinci karboksihemoglobina [1]

Molni udjel COHb u krvi / %	Simptomi
0-10	Bez simptoma
10-30	Glavobolja
30-50	Vrtoglavica, smetnje vida, povraćanje
50-60	Sinkopa, ubrzano disanje, grčevi
60-70	Koma
70-80	Smrt

Brojne štetne tvari mogu izazvati rak, najčešće poslije dulje izloženosti i razdoblja od 20 i više godina od prve izloženosti do pojave bolesti. Rak može biti izazvan fizikalnim činiteljima kao što je x-zračenje i ultraljubičasto zračenje, kao i mnogi kemijskim tvarima, kao što su:

- organske kancerogene tvari, azbest, radon
- potencijalno karcogene kovine i njihovi spojevi (berilij, arsen, krom, kadmij, nikal, itd.),

Učinci ostalih kancerogena u zraku: plinova bis(klormetil)etera, vinikloridmonomera, kovina nikla, berilija, kroma, arsena i kadmija te azbesta proučavali su se na mjestima gdje im je koncentracija veća zbog određenog prirodnog procesa. Potrebno je provoditi strogi nadzor i održavanje što nižih koncentracija tih potencijalno kancerogenih onečišćenja u zraku, kako bi se opasnost od raka smanjila. [7]

U relativno niskim koncentracijama policiklički aromatski ugljikovodici (PAU) dalje od njihova izvora nemaju velik rizik za razvitak raka pluća, ali je epidemiološkim studijama višestruko potvrđeno da je povećan za teške pušače. Teški pušači su i rizična skupina za razvoj raka dišnog sustava u industriji azbesta što pokazuje da azbest i cigaretni dim zajednički pojačano djeluju.

Prema studiji iz šezdesetih godina stopa smrtnosti od raka pluća bila je za nepušače u gradu dvaput veća nego na selu, a za pušače čak 20 puta veća. Zbog promjene načina grijanja i kontrole dima posljednjih je desetljeća smanjena koncentracija PAU u gradskom zraku, a promjene u statistici o pobolu i smrtnosti od raka potvrđuju spoznaje o učinku tih oštećenja. Sekundarni metaboliti, gljivice, mikrotoksini mogu uz toksični imati i kancerogeni učinak. [7]

## 5. UTJECAJ ONEČIŠĆENJA ZRAKA NA OKOLIŠ

Raznovrsno onečišćenje ubačeno u zrak u blizini tla ili u visini rasprostire se atmosferom nošeno zračnim strujanjem. Mnoge onečišćujuće tvari na svojem putu podliježu kemijskim reakcijama, često uz djelovanje Sunčeve svjetlosti, dok se neke spajaju s vodenom parom, česticama oblaka ili oborina. Reakcije su pri višim temperaturama brže. Prije ili kasnije primarne i novonastale, sekundarne onečišćujuće tvari dopijevaju na Zemljinu površinu, gdje su u dodiru s predmetima i živim bićima te ulaze u ekosustave. Na vlažnim se podlogama neke od njih otapaju, pri čemu nastaju novi kemijski spojevi. [7]

Onečišćenje se na više načina iz atmosfere prenosi u njezinu podlogu. Plinovi se mogu apsorbirati u biljnim i životinjskim organizmima, na tlu, u različitim predmetima, površinskim vodama, snježnom pokrivaču, rosi, mrazu, kapljicama magle. Suhi se aerosol zbog djelovanja sile teže sliježe. Sićušne vodene i ledene čestice što čine oblak ili maglu, kao i sitniji aerosol, mogu se pri sudaru koji nastaje zbog gibanja zraka „uhvatiti“ na neku površinu. Kiša, snijeg, tuča, solika i ostali oblici oborine koja pada, mogu sadržati čvrste čestice isprane iz zraka, kao i otopine nastale kemijskim reakcijama u atmosferi.

Otopine su najčešće spojevi sumpornih i dušikovih oksida s vodom, pa je zato takva oborina kisela. U čistoj atmosferi zbog reakcije s ugljik-dioksidom i nekim drugim spojevima prirodnog podrijetla pH-vrijednost oborine je oko 5,6, što znači da je lagano kisela. Zato se kiselom oborinom po dogovoru smatra ona kojoj je pH manji od 5,6.

### 5.1. Promjene u tlu uzrokovane onečišćenjem

O vrsti onečišćenja, fizičko-kemijskim svojstvima tla i vrsti vegetacije ovisi što će se s onečišćenjem dogoditi kada se taloži u tlu. U blizini prometnica talože se kovine kao što su olovo, kadmij i cink. Dio tih teških kovina, koji se nije zadržao na bilju ili kroz pući ušao u biljke, dopijeva u tlo te korjenovim sustavom opet u vegetaciju. U samom tlu pod djelovanjem kiselina nastaju opasne promjene teških kovina. Kiselo taloženje može se djelomično ili potpuno neutralizirati u alkaličnim tlima i na vapnenačkim stijenama te pješčenjacima otapanjem alkalnih karbonata, osobito kalcij-karbonata. No prirodno kisela tla, kao i primjerice granit, nisu sposobni za takve reakcije. [7]

Zakiseljavanje tla izaziva dvije pojave: ispiranje hranjivih i otapanje, tj. oslobađanje štetnih sastojaka. Sastojci važni za ishranu bilja, kao kalcij, magnezij, kalij, procjeđuju se u dubinu i tako se gube iz sloja u kojem je najviše korijenja.

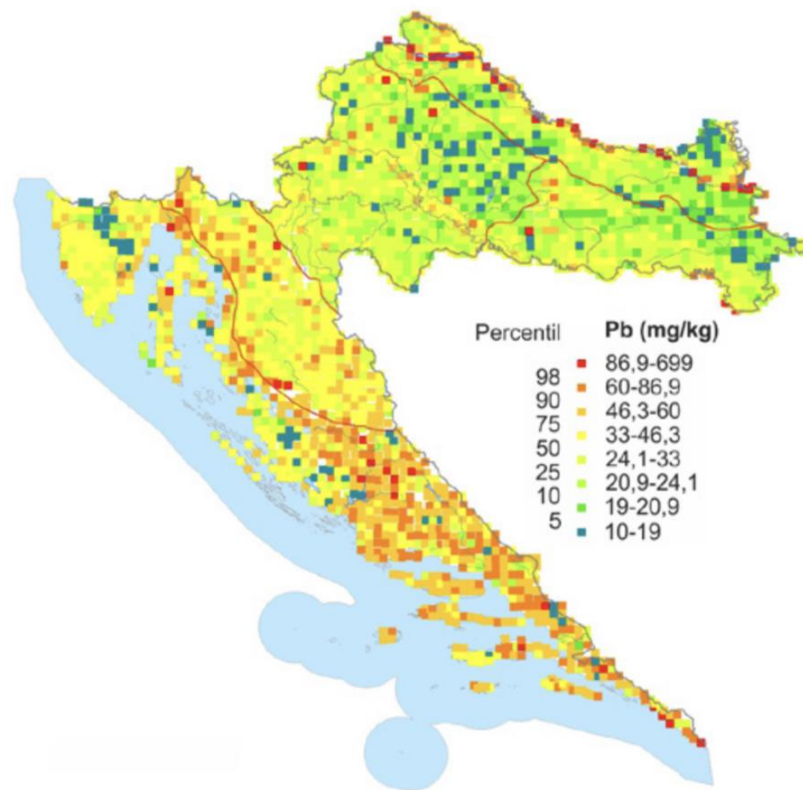
Oslobodeni otrovi su trovrnsni, tj. kationi aluminija, mangana, željeza, od kojih se količinom osobito ističe aluminij, većinom u mineralnim tlima, zatim ioni teških kovina, osobito na mjestima gdje je njihovo taloženje iz atmosfere veliko i napokon, fenoli topljivi u vodi, kojih ima najviše u organskom površinskom sloju. Otrovnost tvari ne djeluju jednako snažno na svaku vrstu biljaka i mikroorganizama. Zbog njih je oslabljena razgradnja organske tvari, posebice truljenje lišća u šumskim podlogama, vezanje dušika na mahunarkama i nekim ne mahunarkama, nitrifikacija amonijevih spojeva. Dok se u poljodjelskim zemljištima takvi nedostaci uklanjaju obradom, u šumi se gubi humus, stoga je prirodna obnova šuma sjemenjem oslabljena. [8]

Pokazalo se da jako zakiseljena mineralna tla od teških kovina nakupljaju samo olovo, a kadmij, bakar i nikal zadržavaju se u vodi i s njom se gibaju. Danas je u svijetu stanje takvo da se teške kovine ispiru iz mineralnog dijela i nakupljaju i živom dijelu ekosustava, a to znači trovanje biosfere.

Olovo (Pb) se prirodno nalazi u tlu nastalom trošenjem matične stijene, u uobičajenoj srednjoj koncentraciji od 32 mg/kg (u rasponu od 10 do 67 mg/kg). Do onečišćenja tla ovim metalom iz antropogenog izvora dolazi putem suhe i vlažne depozicije iz zraka te poplavnim vodama. Propisane granične vrijednosti za tlo iznose 50-300 mg/kg suhe tvari. Radi se o otrovnom metalu koji se u organizmu nakuplja u kostima, krvi, jetri i bubrezima te može uzrokovati oštećenje gotovo svih organa, a osobito središnjeg živčanog sustava ljudi i životinja. [8]

Općenito, od antropogenih izvora emisija olova izdvajaju se proizvodni procesi gdje je olovo ulazna sirovina te korištenje goriva sa sadržajem olova. Najviše koncentracije olova izmjerene su u dolinama Drave i Mure, kao posljedica uzvodnih rudarskih i industrijskih djelatnosti te u primorskoj i gorskoj Hrvatskoj, što se povezuje uz sastav crvenica i atmosfersko onečišćenje. [8]

U Hrvatskoj su glavni izvori emisije olova promet, industrija (s dominacijom proizvodnje stakla i čelika) te mala ložišta i radni strojevi. U odnosu na 1990., emisija Pb je u 2018. smanjena za 98,5%. (Slika 13.)



Slika 13. Onečišćenje tla olovom u RH

## 5.2. Promjene u vodi uzrokovane onečišćenjem

Suho i mokro taloženje iz atmosfere utječe i na kakvoću vode, kako površinske u jezerima i vodotocima, tako i podzemne, koju ljudi troše iz plitkih kopanih ili dubljih bušenih zdenaca. Zbog izrazite važnosti vode postoje propisi o njezinoj zaštiti, a voda za piće pod stalnim je sanitarnim nadzorom. Površinske i podzemne vode te more uz obalu podijeljeni su na više razreda prema čistoći i dozvoljenoj uporabi. [3]

U područjima gdje je kiselo taloženje veliko i površinske i podzemne vode su zakiseljene, te je u njima, zbog prije spomenutog otapanja, povećana količina korisnih tvari – kalija, kalcija, magnezija, ali i mnogo otrovnih kovinskih iona aluminijskih, mangana, cinka, bakra i olova, ovisno o sastavu tla preko kojeg i kroz koje je voda prošla.

Osobito je loše stanje u jezerima u području granitnih i ostalih nevapnenačkih stijena, gdje su obronci oko jezera pokriveni samo tankim slojem zemlje, jer se u njemu, zbog nedostatka kalcijkarbonata kisela oborina ne može neutralizirati. Tijekom zime mnogo se štetnih primjesa nakupi u snježnom pokrivaču pa se one u proljeće sa snježicom ulijevaju u jezero, u kojem se naglo povećava kiselost što negativno djeluje na sve životne procese. Posljedica je pomor riba i nestajanje nekih vrsta biljnog planktona, zbog čega voda postaje prozirnija. [8]

### **5.3. Utjecaj onečišćenog zraka na biljke**

Biljke su vrlo osjetljive na onečišćenje iz zraka. Na lišću nataložene čestice usporavaju fotosintezui sprečavaju izmjenu plinova kroz pući. Otrovni plinovi prodiru u biljku kroz pući i na mjestima gdje je njezin površinski sloj već oštećen kiselinama, te najprije djeluju na klorofil zbog čega se smanjuje fotosinteza i pojavljuje žutilo. Biološke su posljedice kisele oborine, među ostalim, ispiranje hranjivih sastojaka s lisnih organa i razaranje voštanog sloja na površini lišća i plodova, neotpornost biljke na bakterijske i gljivične zaraze, spriječeno je oblikovanje pupova na vršcima crnogoričnih grančica, javljaju se smetanje u reproduktivnim procesima, te je povećano ugibanje crnogoričnih sadnica. [8]

Sumpor-dioksid (sumpor (IV)-oksid,  $\text{SO}_2$ ) ulazi u unutrašnjost lista pretežno kroz pući. Pri manjim koncentracijama on pospješuje otrovanje, a pri većim zatvaranje pući. Kroz otvorene se pući pretjerano gubi voda, a ako su zatvorene, smanjuje se stvaranje ugljikohidrata, jer je ugljik-dioksidu (sumpor (IV)-oksid,  $\text{SO}_2$ ) zapriječen ulaz u list. Osim na transpiraciju i fotosintezu,  $\text{SO}_2$  utječe i na druge biokemijske procese u biljci, a od kiseline nastale njegovom reakcijom s vlagom u biljci se mogu oštetiti opne stanica i kloroplasta te razoriti čitava tkiva. Posljedice svega su promjena boje lišća ili iglica u blijedozelenu, žućkastu ili smeđu, obamrla oštećenja, prerano opadanje lišća, usporeni ili zaustavljeni rast. [8]

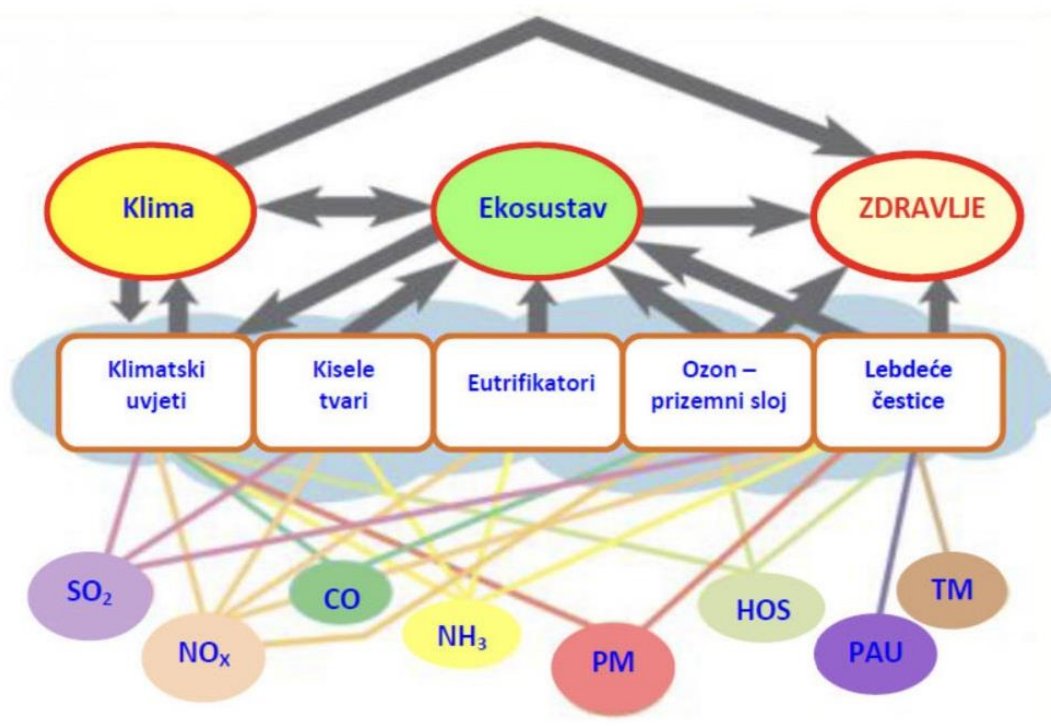
Dušikovi oksidištetno djeluju neposredno na površinu asimilacijskih i drugih organa. Tako dušikov-dioksid (dušik(IV)-oksid,  $\text{NO}_2$ ), može izazvati znatna oštećenja jer sprečava redukciju nitrata. Ti oksidi, kao i amonijak, obogaćuju tlo dušikom, pa kraće vrijeme mogu potencijalno djelovati na neke biljne vrste. Pritom nastaju biokemijske i fiziološke promjene koje umanjuju vitalnost drveća i njegovu otpornost na nepovoljne vremenske i biotičke činitelje.



Ozon ( $O_3$ ), za razliku od  $NO_2$  djeluje uglavnom samo danju. Kada ga lišće upije, može utjecati na niz fizioloških i biokemijskih procesa, pri čemu nastaju promjene unutar stanica, pa propada pigment i stare asimilacijski organi. Posljedica je i opet zastoj u rastu. Klor ( $Cl_2$ ) uzrokuje opadanje lišća, a fluorovodik (HF) oštećuje lisne rubove. Spojevi fluora općenito su vrlo opasni za vegetaciju. Od peroksiacetonitrata donja površina lišća postaje srebrna ili brončana.

Etin (acetilen,  $C_2H_2$ ) sprječava cvjetanje, a benzinske pare s uobičajenim aditivima klijanje. Olovo šteti osobito korjenastom povrću, a kadmij pašnjacima i livadama. Drveće i ostalo bilje uz prometnice ugrožava još i sol kojom se zimi posipavaju ceste. [8]

Kako u prirodi raznovrsne tvari djeluju uglavnom istodobno, dolazi do pojačavanja njihovih negativnih učinaka. Veoma je štetno zajedničko djelovanje plinova, kiseline oborine i teških kovina (Slika 14.). Treba naglasiti kako su biljke pri višoj temperaturi osjetljivije na onečišćenje.



Slika 14. Onečišćujuće tvari u zraku i njihov učinak na ekosustav

Za „umiranje šuma“, koje su početkom 80-ih godina mnogi pripisivali isključivo kiseloj oborini zbog sumpor-dioksida, no utvrđeno je da nastaje zajedničkim djelovanjem više nepovoljnih činitelja. (Slika 15.)



Slika 15. Kisele kiše

Početni poticaj za uništenje šuma dolazi od suho ili mokro staloženog onečišćenja zraka, i to plinova koji tvore kiseline, fotokemijskog onečišćenja i teških kovina. Oni mogu djelovati izravno na lišće ili izazivajući prije navedene promjene u tlu, preko kojih se oštećuje sustav sitnog korijenja i unose otrovi u stablo. Taj se negativni utjecaj može pojačati u ekstremnim vremenskim uvjetima kao što su vrućine, suše i hladnoće. [8]

Pokazalo se kako amonijak i sumpor-dioksid smanjuju otpornost mnogog drveća na hladnoću. Sušna su razdoblja opasnija za drveće kojem je prethodno površinski epitel oštećen kiselom maglom ili oksidansima. Također je ustanovljeno da jelove šume, kojim je sitno korijenje oštećeno otrovnim kovinskim ionima, osobito teško stradaju u dugim suhim razdobljima, kad se gornji sloj tla suši, pretpostavlja se da je bolest „umiranje drveća“ povezana prije svega s nekim vremenskim i biotičkim činiteljima, a ne s onečišćenjem zraka. [8]

Treba spomenuti opasnosti i za čovjeka i za životinje od nakupljenih teških kovina na nadzemnim dijelovima biljaka i u njima. Smatra se da su biljke što rastu uz prometnice glavni izvor olova koje se u ljudski organizam izravno unosi prehranom, tj. povrćem (osobito onim velikim i naboranim listovima kao što su kelj i salata), voćem, čajevima od bazge i lipe, gljivama i slično, ili mlijekom, jajima i mesom te iznutricama životinja koje se hrane tim biljem. Stoga je u Europi zabranjena za prehranu ljudi i stoke te za proizvodnju gnojiva svaka upotreba biljke koje rastu do 100m od prometnijih cesta.[8]

#### **5.4. Utjecaj onečišćenog zraka na životinje**

Onečišćujuće tvari koje štete ljudskom zdravlju, štete i životinjama. Pri akutnim onečišćenjima zraka stradaju ptice u krletkama, perad, psi mačke, svinje i stoka. Za vrijeme londonskog smoga 1952. godine od 351 životinja na izložbi, koja se tada održavala, 14 ih je uginulo ili moralo biti ubijeno, a 52 su oboljele, dok su mnoge životinje u zoološkom vrtu imale bronhitis i upalu pluća.

U prirodi su se zbog onečišćenja iz zraka dogodile velike i nagle promjene. Pa tako primjerice, u mnogim jezerima Europe i Sjeverne Amerike više uopće nema riba i ni na koji se način nemogu ponovno uzgojiti. Ustanovljeno je da mnoge vrste slatkovodnih riba nestaju zbog kiselosti i povećane koncentracije aluminija, kad se pH-vrijednost vode spusti ispod 5,0.

Osobito su osjetljiva riblja jaja, a slično je i s vodozemcima, odnosno žabama i daždevnjacima koji jaja odlažu u proljeće kad su jezera najkiselija zbog otapanja snijega, pa tada u vodama s pH nižim od 6,0 ugiba više od 60% zametaka, a inače je smrtnost manja od 1%. Među preživjelim vodozemcima mogu se javiti izobličeni primjerci. [10]

U životinja dulje vrijeme izloženih manjim količinama onečišćenja iz zraka, koje primaju izravno kroz dišni sustav i kožu ili posredno hranom ili vodom, nastaju kronična oboljenja i promjene u organizmu. Javlja se pojava da ptice pjevice koje žive blizu kiselih jezera u sjevernoj Europi nesu manje jaja. Ljuska jaja je mekana ili je nema, a manji je i udio izležanih ptica. Budući da takve pojave nisu nađene kod ptica koje žive duboko u šumi ili uz neutralna jezera, one se pripisuju trovanju ptica aluminijem preko kukaca kojima se hrane.

U ptičjem se organizmu umjesto kalcija, koji uz ostalo služi i za izgradnju ljuske jajeta, nakuplja aluminij. Neka su istraživanja pokazala smanjenu mliječnost krava u krajevima gdje je taloženje onečišćenja iz zraka na livadama veliko i povećanu neplodnost stoke na mjestima s većom koncentracijom sumpor-dioksida. Stoka, perad, divljači ptice s predjela jakog taloženja teških kovina nakupljaju otrove najviše u unutarnjim organima, a djelomično ih izlučuju mlijekom, odnosno jajima. [10]

U šumama blizu velikih industrijskih postrojenja u Poljskoj trofejne su vrijednosti jelenskih rogova smanjene, smatra se, zbog teških kovina i kiselog taloženja. Pesticidi djeluju ovisno o svojem kemijskom sastavu. Osim željenih učinaka na biljne i životinjske štetočine, oni mogu proizvesti i nepovoljne učinke. Važna skupina pesticida nakuplja se u životinjskom masnom tkivu, odakle se hranom unosi u ljudski organizam. Kao posljedica duljeg djelovanja izloženosti pesticidima na životinjske organizme, pojavljuju se oštećenja jetre i bubrega. Neki pesticidi djeluju kao otrov na plod, odnosno na mladunčad jer lako proizlaze kroz placentu i izlučuju se u mlijeku.

### **5.5. Utjecaj onečišćenog zraka na materijale**

Onečišćenje iz zraka loše djeluje i na mnoge materijale koje čovjek proizvodi ili upotrebljava. Tako može razarati papir i kožu, kao i reagirati s nekim zaštitnim premazima, punilima i aditivima koji poboljšavaju vrijednost proizvoda, ali se nakon njihove razgradnje materijali troše brže od materijala koji nisu bili zaštićeni. [10]

Ozon oštećuje tekstil i vunu, automobilske gume u gradovima te plastične mase nastale polimerizacijom spojeva s dvostrukim vezama. Dušik-dioksid smanjuje čvrstoću celuloznih vlakana i izbljeđuje tekstilne boje, a bijele tkanine čini žućkastima. Sumporovodik potamnjuje srebro i bakrene oplata te uništava i boje dobivene na osnovi olova. [8]

Na cisternama je zabranjena uporaba olovnih cijevi zbog njihova otapanja u kiseloj kišnici. No vjerojatno je najpoznatije štetno djelovanje kiselina u gradovima jer pospješuju koroziju kovina, a otapanjem troše vapnenac, mramor, beton i neke druge tvari. Kiselo taloženje iz atmosfere napada građevinske objekte i materijal – čelične mostove, oluke od pocinčanog lima, bakrene vodovodne cijevi, nadgrobne spomenike.

## 6. MJERE ZAŠTITE I UNAPREĐENJE KAKVOĆE ZRAKA

U područjima čistog zraka provode se zaštitne mjere kako se ne bi narušila kakvoća zraka novom izgradnjom ili aktivnostima. Stoga je osnovna mjera prostorno planiranje, a za svako predloženo ulaganje u gradnju treba, prije odobrenja, proračunati mogući utjecaj na okoliš. [3]

Na temelju ocjene kakvoće zraka područja se označuju kao:

- čista, ako koncentracija onečišćenja nikad ne prelazi vrijednosti navedene kao smjernice,
- umjereno onečišćena, ako su koncentracije onečišćenja veće od onih preporučenih smjernicama,
- onečišćena, ako su koncentracije onečišćenja veće od graničnih vrijednosti kakvoća zraka.

U zaštićenim područjima, npr. prirodnim rezervatima i rekreacijskim područjima, uvjeti su veoma strogi, i koncentracije onečišćenih tvari ne smiju se ni približiti vrijednostima koje navodi WHO.

U područjima umjereno onečišćenog zraka treba uz navedene mjere razraditi i dugoročni, etapni plan poboljšanja kakvoće zraka primjerice zamjenom ugljena plinom, uvođenjem daljinskoga grijanja, organizacijom djelotvornog udobnog javnog prijevoza kako bi se smanjio osobni prijevoz, usmjeravanjem prometa izvan grada, evidencijom pojedinačnih izvora onečišćenja i njihovih sanacija, preseljenjem ili zatvaranjem ili nadzorom provođenja tih mjera .

U područjima onečišćenja zraka provode se iste mjere kao i u prva dva područja, no postupci za poboljšavanje kakvoće zraka moraju provest brzo i temeljito. Neke zemlje imaju posebne propise za tako zvane epizodne situacije, odnosno za one situacije. Kada su u velikim gradovima ili idustrijskim područjima zbog nepovoljnih meteoroloških uvjeta tijekom više uzastopnih dana na više od polovine mjernih postaja izmjerene koncentracije kritičnih onečišćujućih tvari višestruko veće od graničnih vrijednosti. [10]

Tako je npr. u pokrajini Sjeverna Rajna-Westfalija u Njemačkoj propisana najava upozorenja ili uzbune I., II. Stupnja ako koncentracije onečišćenja dosegnu određene vrijednosti, a prema vremenskoj prognozi se očekuje da će temperaturna inverzija i tišina potrajati dulje od 24 sata. Zaštitne mjere predviđene u takvim okolnostima jesu:

- pri uzbuni I. stupnja ograničenje uporabe fosilnih goriva, prijevoza i rada industrije,
- pri uzbuni II. stupnja zabrana uporabe motornih vozila (osim hitne pomoći, vatrogasaca i sl.) i obustava rada velikih izvora onečišćenja zraka.

Međutim zaštitne mjere mogu činiti više štete nego koristi ako nisu dobro isplanirane i prethodno provjerene, a njihovo provođenje dobro organizirano.

Štete ne moraju biti samo materijalne, već se zbog prestanka loženja ljudi mogu razboljeti, a pri obustavi pogona mogu nastati još štetnije onečišćujuće tvari. Važno je djelovanje na izvore onečišćenja zraka kako se opasne koncentracije više ne bi ponovile.

Zbog toga se preporučuje u onečišćenim područjima pojačati mjere za poboljšanje kakvoće zraka, a do tada samo upućivati građane kako se valja ponašati u opasnim prilikama. Osjetljive skupine stanovništva (npr. mala djeca i kronični bolesnici) trebale bi ostati kod kuće uz zatvorene prozore, a u stanovima valja za grijanje i kuhanje upotrebljavati električnu energiju, ne pušiti i općenito izbjegavati aktivnosti kojima se zrak može onečistiti. [10]

## 6.1. Održivi razvoj

Onečišćenje predstavlja i multidisciplinarni problem, a najbolje bi i najučinkovitije bilo da nema emisije, ili ako to nije moguće, barem pokušati smanjiti emisiju tj. dobro upravljati, a to se može postići sljedećim aktivnostima:

- smanjenjem potrošnje goriva,
- kvalitetnije sagorijevanje fosilnih goriva,
- ugradnja filtera na izvore onečišćenja,
- kemijska antikorozivna zaštita materijala,
- razvoj biljaka otpornijih na onečišćenje,
- izgradnja visokih dimnjaka,
- meteorološka kontrola (redukcija emisije u nepovoljnim meteorološkim uvjetima).[8]

Zaštita i smanjenje štetnog utjecaja onečišćenja na okoliš osnovni je cilj istraživanja kvalitete zraka. (Slika 16.) [8]



Slika 16. Održivi razvoj

## 6.2. Kontrola emisije

Uloga meteorologa u kontroli onečišćenja atmosfere je sljedeća:

- definirati izvore onečišćenja na nekom području, područje utjecaja poznatog izvora onečišćenja,
- pomagati kod određivanja visine dimnjaka velikih izvora,
- pomagati u urbanističkom planiranju predlaganjem lokacija izvora tako da oni imaju najmanji mogući utjecaj,
- definirati epizode nepovoljnih meteoroloških uvjeta u kojima treba smanjiti emisiju,
- definirati lokaciju postaja za mjerenje kvalitete zraka,
- osiguravati i interpretirati meteorološke i klimatološke baze podataka,
- izrađivati meteorološke analize podataka kvalitete zraka.[8]

## 6.3. Praćenje kvalitete zraka u Hrvatskoj

Državna mreža za trajno praćenje kvalitete zraka u Hrvatskoj sastoji se od 36 automatskih mjernih postaja u velikim gradovima i industrijskim područjima, te 25 lokalnih 11 državnih gradskih postaja i 12 pozadinskih. Ukupno 48 automatskih mjernih postaja za trajno praćenje kvalitete zraka s ciljem zaštite ljudskog zdravlja i eko-sistema od štetnog utjecaja onečišćenja.

Veliko zagađenje zraka letećim česticama zabilježeno je 27.03.2020 godine u 10 sati u Osijeku i postupno se smanjivalo, ali je došlo i do Zagreba, kako je na državnoj mjernoj postaji Dugave u 15 sati koncentracija iznosila 402 mikrograma po kubnom metru. To predstavlja jako visoko zagađenje i gledano u 24 satnom razdoblju, prosječna koncentracija letećih čestica ne bi smjela dnevno prijeći 50 mikrograma po kubnom metru. Visoko zagađenje zabilježeno je i u okolnim zemljama, zbog čega se može pretpostaviti kako je izvor zagađenja bio u inozemstvu. (Slika 17.)

Godišnja je gornja granica prosječna vrijednost dopuštene koncentracije lebdećih čestica 40 mikrograma po kubnom metru zraka. U slučaju da se ta granica prekorači više od 25 puta godišnje tada je kvaliteta zraka za tu onečišćujuću tvar druge kategorije. Stoga se čeka do kraja dana, jer se mjerenja provode u više navrata i na kraju izračunava srednja vrijednost. [10]





Slika 17. Kvaliteta zraka u Zagrebu 27.03.2020 godine

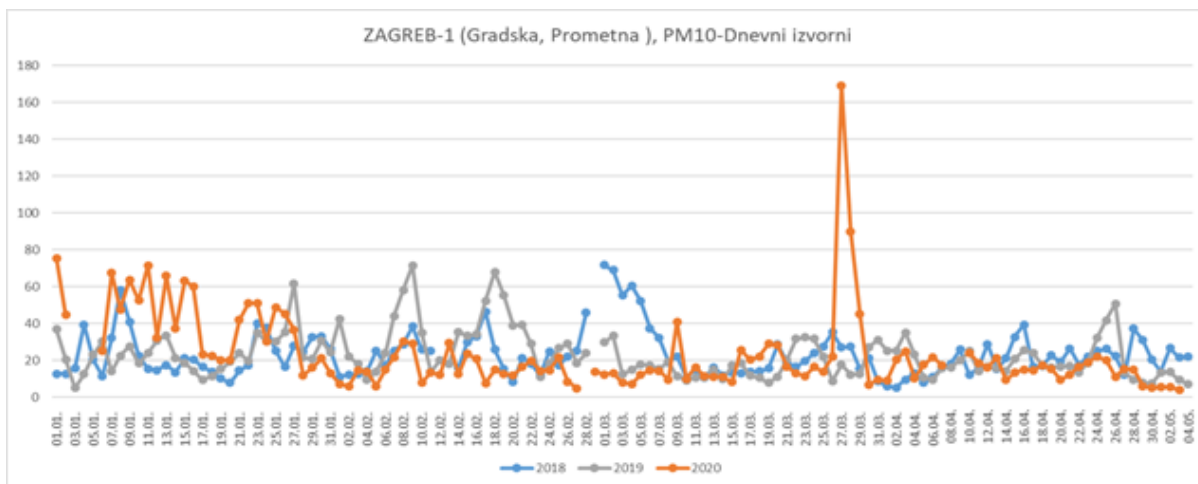
#### 6.4 Utjecaj pandemije koronavirusa na kvalitetu zraka

Dominantni izvori onečišćenja NO<sub>2</sub> su procesi izgaranja fosilnih goriva u motornim vozilima, odnosno cestovni promet. [9]

Osim značajnoga pada koncentracija NO<sub>2</sub>, na pojedinim postajama zamjećuje se i pad u koncentracijama ugljikovog monoksida (CO) i sumporovodika (H<sub>2</sub>S). [9]

Ugljikov monoksid (CO) nastaje nepotpunim izgaranjem fosilnih goriva u energetske sektorima, a izvori sumporovodika (H<sub>2</sub>S) su industrijski procesi (prerada nafte, proizvodnja mineralnih gnojiva, pročišćavanje otpadnih voda), te odlagališta otpada.[9]

Kod lebdećih čestica PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub> pad koncentracija je manje zamjetan. To je vjerojatno zbog činjenice što su glavni izvori lebdećih čestica različiti, uključujući grijanje (izgaranje u malim kućnim ložištima), industrijske aktivnosti, cestovni promet i poljoprivreda, a na njihove koncentracije također značajno utječu vremenski uvjeti. (Slika 18.)



Slika 18. Dnevne koncentracije PM<sub>10</sub> na mjernoj postaji Zagreb-1 tijekom 2018., 2019. i 2020. u razdoblju 1.1 do 4.5.

Mjere za prevenciju širenja koronavirusa značajno su utjecale na poboljšanje kvalitete zraka i kratkoročno pomogle u borbi protiv onečišćenja zraka. Trenutna kriza bi mogla i trebala potaknuti ljude da mijenjaju svoje stare navike, kao i vlade i donosioce odluka da ubrzaju klimatske reforme pogotovo ako se uzmu u obzir rezultati preliminarnih znanstvenih istraživanja koja ukazuju da su osobe izloženije onečišćenom zraku znatno ugroženije od infekcije koronavirusom, odnosno obolijevanju od bolesti COVID-19.[9]

## 7. ZAKLJUČAK

Problem onečišćenja zraka i negativnih utjecaja onečišćenja na čovjeka postoji čitav niz stoljeća, no nužna pozornost ovom problemu nije se pridavala sve donekoliko katastrofalnih nesreća koje su prouzročile akutne bolesti i smrtne slučajeve velikog broja ljudi u kratkom vremenskom razdoblju.

Sagledavajući probleme onečišćenja zraka, uglavnom zbog neodgovornog odnosa ljudi koji vode industrije prema prirodi i životnoj sredini, jasno je kako je zaštita životne sredine zadatak i obveza svakog građanina planete te kako je da bi se smanjilo onečišćenje zraka i tako spriječili mnogobrojni štetni učinci na čovjeka i njegov okoliš, potrebno obzirno i odgovorno početi upotrebljavati prirodna dobra, mehanička sredstva i energiju. Onečišćenje zraka, predstavlja svjetski problem i globalnu opasnost za sve stanovnike planete, i svakako je u današnje vrijeme vrlo aktualni problem.

Grafički prikazi ukazuju kako stanje kvalitete zraka u Hrvatskoj zadovoljavajuće, no javljaju se pojedine epizode, kao što je primjerice prikazano na mjernim jedinicama u Zagrebu 2020. godine, kada se, bilo da je uzrokovano ljudskim ili prirodnim djelovanjem, javljaju povećana ili smanjena onečišćenja što utječe na kvalitetu zraka.

Povećano djelovanje tvornica, ispušnih plinova iz prometa, kao i drugih ispuštanja štetnih plinova različitim aktivnostima, uzrokuje povećano zagađenje, dok se zbog smanjene aktivnosti ljudi pod utjecajem pandemije, moglo uočiti znatno poboljšanje kvalitete zraka što svakako ukazuje koliki je utjecaj antropogenog djelovanja na kvalitetu zraka i cjelokupnog okoliša.

## 8. POPIS SLIKA

Slika 1. Onečišćenje zraka u Europi.....	3
Slika 2. Izvori onečišćenja u Europi.....	4
Slika 3. Kruženje onečišćenja u atmosferi.....	8
Slika 4. Čestice onečišćenja u obliku magle.....	11
Slika 5. Onečišćenje ispušteno iz dimnjaka tvornica.....	12
Slika 6. Onečišćenje zraka automobilima.....	13
Slika 7. Potrošnja energije pojedinih vrsta prometa u RH.....	13
Slika 8. Zakiseljavanje tvari SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> i NH <sub>3</sub> .....	16
Slika 9. Prekoračenja GV za PM <sub>10</sub> u područjima Republike Hrvatske.....	17
Slika 10. Kvaliteta zraka u Zagrebu na dan 17.01.2020.....	18
Slika 11. Utjecaj onečišćujućih tvari u zraku na zdravlje čovjeka.....	23
Slika 12. Piramida učinka onečišćenosti zraka na zdravlje ljudi.....	24
Slika 13. Onečišćenje olovom u RH.....	31
Slika 14. Onečišćujuće tvari u zraku i njihov učinak na ekosustav.....	33
Slika 15. Kisele kiše.....	39
Slika 16. Održivi razvoj.....	41
Slika 17. Kvaliteta zraka u Zagrebu 27.03.2020. godine	
Slika 18. Dnevne koncentracije PM <sub>10</sub> na mjernoj postaji Zagreb tijekom 2018., 2019., 2020. u razdoblju 1.1 do 4.5.....	42

## **9. POPIS TABLICA**

Tablica 1. Onečišćenje zraka od glavnih izvora u naseljenim mjestima.....	9
Tablica 2. Podrijetlo onečišćenja tvari, njihove koncentracije u naseljenim područjima i njihova sudbina u zraku.....	10
Tablica 3. Klinički učinci karboksihemoglobina.....	27

## 10. LITERATURA

- [1] Penzar Branka i sur: Meteorologija za korisnike, Školska knjiga, Zagreb, 1996. , ISBN 953 -0-30847-7,
- [2] Penzar Branka i Ivan: Agrometeorologija, Školska knjiga, Zagreb, 2000. , ISBN 953-0-30678-4,
- [3] Tehnički leksikon, Leksikografski zavod Miroslava Krleže, Zagreb, 2007. , ISBN 978-953-268-004-1
- [4] Mozaik education – Onečišćenje zraka, <https://www.mozaweb.com/>, pristupljeno: 31.08.2020.
- [5] Svjetska othanizacija WHO onečišćenje zraka ubija dva miliona ljudi, dnevnik hr, <http://dnevnik.hr/vijesti/zdravlje/oneciscenje-zraka-ubija-dva-milijuna-ljudi-godisnje.html> , pristupljeno: 31.08.2020.
- [6] Zakon o zaštiti zraka NN 127/19 <http://www.zakon.hr/z/269/Zakon-o-za%C5%A1titi-zraka> , pristupljeno: 31.08.2020.
- [7] Zrak i sastav zraka, <http://www.slideshare.net/ninich/zrak-i-sastav-zraka> , pristupljeno: 31.08.2020.
- [8] Održivi razvoj - odraz, <http://www.odraz.hr/hr/nase-teme/odrzivi-razvoj> , pristupljeno: 31.08.2020.
- [9] Utjecaj pandemije koronavirusa na kvalitetu zraka, <http://www.haop.hr/hr/novosti/utjecaj-pandemije-koronavirusa-na-kvalitetu-zraka> , pristupljeno: 31.08.2020.
- [10] European Environment Agency, air pollution, change climate, water and marine environment, <https://www.eea.europa.eu> , pristupljeno 31.08.2020.
- [11] Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Zavod za zaštitu okoliša i prirode, <http://www.haop.hr>, pristupljeno 31.08.2020.
- [12] Kvaliteta zraka u Republici Hrvatskoj, Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, <http://iszz.azo.hr> , pristupljeno 31.08.2020.