

# Zrak i okoliš

---

**Kovačić, Dominik**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2015**

*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:128:580462>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-06**



**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  
STRUČNI STUDIJ SIGURNOSTI I ZAŠTITE

DOMINIK KOVAČIĆ

ZRAK I OKOLIŠ

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2015.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Specijalistički diplomski stručni studij Sigurnost i zaštita

Dominik Kovačić

Zrak i okoliš

Završni rad

Mentor;

Dr.sc. Zlatko Jurac, prof.v.š.

Karlovac, 2015.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
ODJEL SIGURNOSTI I ZAŠTITE

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Dominik Kovačić

Matični broj: 0420411012

Naslov teme: Zrak I okoliš

Opsi Zadatka:

1. Uvod u predmetno područje
2. Atmosfera
3. Pojmovi u zaštiti zraka i okoliša
4. Kontrola zraka i izvori onečišćenja i onečišćujuće tvari u zraku
5. Utjecaj onečišćenog vanjskog zraka na okoliš i zdravlje
6. Mjere za zaštitu i unaprijeđenje kakvoće zraka
7. Zaključak
8. Literatura

Zadatak zadan:

01.2015.

Rok predaje:

03.2015.

Predviđen datum obrane:

03.2015.

Mentor:

Dr.sc. Zlatko Jurac, prof.v.š.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Dr.sc. Igor Peternel, v.pred.

## PREDGOVOR

Zahvaljujem se profesorima Veleučilišta u Karlovcu, Specijalističkom diplomskom stručnom studiju Sigurnosti I zaštite na kvalitetnom prenošenju znanja. Posebno se zahvaljujem svome mentoru dr.sc. Zlatku Jurcu, prof.v.š. koji mi je svojim smjericama i stručnim znanjem pomogao pri izradi ovog rada, kao i na pomoći tijekom cjelokupnog trajanja studija.

Hvala Vam!

## SAŽETAK

Poseban značaj i naglasak u ovom radu dan je na tome da se pokaže zrak u svojem užem smislu te onečišćenje zraka i njegov utjecaj na okoliš u širem smislu.

U ovom završnom radu prikazao sam prirodna obilježja zraka, zatim kako čovjek onečišćuje zrak te nakraju kako taj zrak utječe na čovjekovo zdravlje i prirodu koja ga okružuje.

## SUMMARY

Special meaning and accent in this task is given to show air in its tighter meaning and air pollution and its impact on the environment in its wider meaning.

In this thesis I have presented natural characteristics of air, how human pollutes air and on the outskirts of, how the air affects on the health of human and nature that surrounds it.

# SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| 1. UVOD .....  | 3  |
| 2. ATMOSFERA.....  | 4  |
| 2.1. Sastav atmosfere.....   | 4  |
| 2.2. Vertikalna struktura atmosfere .....                                    | 4  |
| 3. POJMOVI U ZAŠTITI ZRAKA I OKOLIŠA .....                                   | 7  |
| 3.1. Pojmovi prema Zakonu o zaštiti okoliša (N.N. 110/07).....               | 7  |
| 3.2. Pojmovi prema Zakonu o zaštiti zraka (N.N. 178/04) .....                | 8  |
| 4. KONTROLA ZRAKA I IZVORI ONEČIŠĆENJA I ONEČIŠĆUJUĆE TVARI U<br>ZRAKU ..... | 11 |
| 4.1. Izvori onečišćenja.....   | 11 |
| 4.1.1. Prirodni izvori onečišćenja zraka .....                               | 11 |
| 4.1.2. Umjetni izvori onečišćenja zraka .....                                | 11 |
| 4.1.3. Sistematizacija izvora onečišćenja .....                              | 12 |
| 4.1.4. Sistematizacija onečišćenja prema agregatnom stanju.....              | 12 |
| 4.1.5. Izvori onečišćenja s obzirom na vrijeme .....                         | 12 |
| 4.2. Onečišćujuće tvari u zraku .....  | 13 |
| 4.3. Osnovni pokazatelji onečišćenja zraka, njihov oblik i ponašanje .....   | 15 |
| 4.4. Karakteristične promjene koncentracije.....                             | 18 |
| 4.5. Ocjena kakvoće zraka.....   | 19 |
| 4.6. Širenje primjesa u atmosferi.....                                       | 20 |
| 4.7. Onečišćenje na maloj udaljenosti od izvora .....                        | 22 |
| 4.8. Taloženje atmosferskih primjesa.....                                    | 24 |
| 4.9. Prijenos onečišćenja na velike udaljenosti .....                        | 26 |
| 4.10. Efekt staklenika i njegove posljedice .....                            | 26 |
| 4.11. Ozon i ozonske rupe .....  | 27 |
| 5. UTJECAJ ONEČIŠĆENOG VANJSKOG ZRAKA NA OKOLIŠ I ZDRAVLJE .....             | 28 |
| 5.1. Općenito o utjecaju onečišćenja zraka na organizam.....                 | 28 |
| 5.2. Bolesti dišnog sustava i kože .....                                     | 32 |
| 5.3. Bolesti srca i krvnih žila i ostale bolesti.....                        | 34 |
| 5.4. Rak .....   | 35 |
| 5.5. Utjecaj onečišćenja zraka na okoliš .....                               | 37 |
| 5.6. Promjene u tlu .....  | 37 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5.7.  | Promjene u vodi .....                                   | 38 |
| 5.8.  | Utjecaj na biljke .....                                 | 39 |
| 5.9.  | Utjecaj na životinje.....                               | 41 |
| 5.10. | . Djelovanje na materijale.....                         | 42 |
| 6.    | MJERE ZA ZAŠTITU I UNAPREĐENJE KAKVOĆE ZRAKA .....      | 44 |
| 6.1.  | Strategija smanjenja onečišćenja – održivi razvoj ..... | 45 |
| 6.2.  | Kontrola emisije .....                                  | 46 |
| 6.3.  | Praćenje kvalitete zraka u Hrvatskoj .....              | 46 |
| 7.    | ZAKLJUČAK .....   | 47 |
| 8.    | POPIS SLIKA .....                                       | 48 |
| 9.    | POPIS TABLICA.....                                      | 49 |
| 10.   | LITERATURA.....   | 50 |



## 1. UVOD

Čovjek na atmosferu djeluje dvojako – svjesno, kad želi izazvati određene atmosferske promjene koje mu odgovaraju, i nesvjesno ili nehوتيčno izgradnjom naselja, a poglavito kad se uopće ne obazire na okoliš, nastojeći što brže, lakše i jeftinije zadovoljiti svoje potrebe i želje za hranom, energijom i udobnijim životom.

Nehotično se djelovanje sastoji uglavnom od onečišćavanja atmosfere najrazličitijim primjesama. One se šire po cijeloj troposferi, a povremeno prodiru i u stratosferu. Donji sloj zraka, u kojemu živimo, najjače je i toliko onečišćen da se katkad u industrijskim i gusto naseljenim područjima može smatrati čak zatrovanim (kontaminiranim).

Atmosferske primjese utječu na ljude, životinje, biljke i cijeli okoliš izravno i neizravno 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.

## 2. ATMOSFERA

Atmosferu možemo definirati kao sloj zraka koji obavija Zemlju i rotira zajedno s njom, a zrak kao plinovitu smjesu od koje se sastoji Zemljin plinoviti omotač. Zemljina atmosfera vezana je uz Zemlju uglavnom gravitacijskim silama, a tek u višim slojevima (iznad 1000 km) gdje dolazi do disperzije plinova u međuplanetarni prostor prevladavaju elektromagnetske interakcije.

### 2.1. Sastav atmosfere

Ljudi često smatraju da se zrak sastoji od „molekula zraka“, što je dokaz prostorne i vremenske konstantnosti njegovih značajki. Ako razmotrimo molekularni sastav „čistog“ zraka, tada ćemo vidjeti da se zrak sastoji od brojnih plinova s pravilnom zastupljenošću na različitim horizontalnim i vertikalnim točkama i u različitim vremenima.

Tablica 1. Volumni udio pojedinih plinova u zraku

| PLINOVI U ZRAKU                     | VOLUMNI UDIO |
|-------------------------------------|--------------|
| Dušik (N <sub>2</sub> )             | 78.084 %     |
| Kisik (O <sub>2</sub> )             | 20.947 %     |
| Argon (Ar)                          | 0.934 %      |
| Ugljični dioksid (CO <sub>2</sub> ) | 0.033%       |

### 2.2. Vertikalna struktura atmosfere

Kada se govori o vertikalnoj strukturi Zemljine atmosfere, prije svega treba reći da ne postoji oštra granica između atmosfere i međuplanetarnog prostora, tj. atmosfera ne završava naglo, već postaje sve rjeđa s visinom. Ukupna masa Zemljine atmosfere bez vodene pare iznosi približno  $5,157 \times 10^{18}$  kg što je otprilike jedna milijuntina Zemljine mase. Čak 99% mase atmosfere nalazi se u sloju do približno 30 (35) km od tla, 75% unutar 11 km i 50% unutar 5 km od površine tla.

Atmosfera se u vertikalnom smjeru može podijeliti na slojeve na temelju četiri kriterija:

- sastav zraka i pojava električki nabijenih čestica,
- međudjelovanje atmosfere i Zemljine površine,
- promjena temperature s visinom,
- utjecaj atmosfere na letjelice.

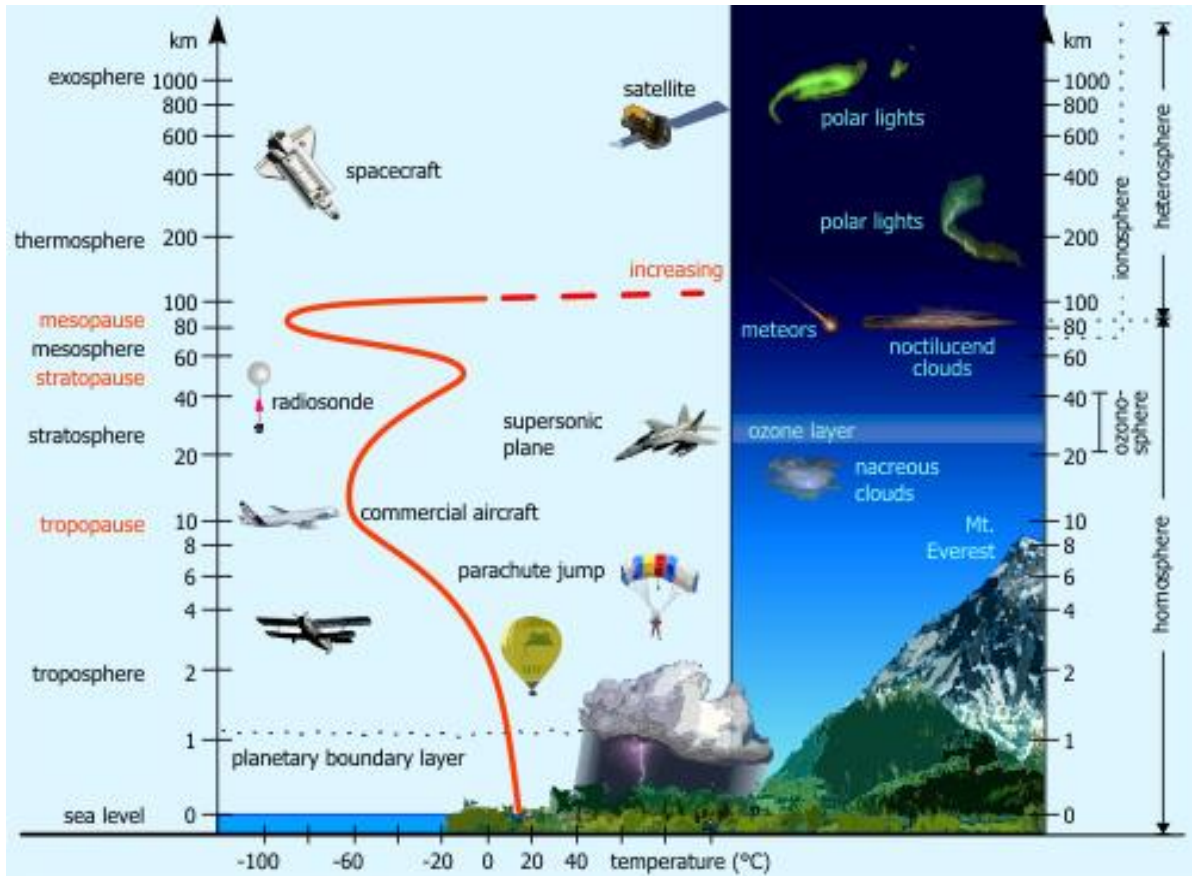
Prema sastavu zraka atmosfera se dijeli na homosferu u kojoj se omjer osnovnih plinova (dušik, kisik, argon) ne mijenja i heterosferu u kojoj se s molekulama dušika i kisika pojavljuju i atomi kisika i dušika. Relativna molekularna masa je do visine od 95 km stalna (homosfera), a nakon granice od 95 km se smanjuje s porastom visine (heterosfera). Sloj od 20 do 55 km u kojemu se nalazi najveća koncentracija ozona naziva se ozonosfera.

Na visini od 50 do 60 km s povećanjem visine naglo se povećava koncentracija električki nabijenih čestica (iona i elektrona), pa se taj sloj atmosfere naziva ionosfera.

Prema međudjelovanju atmosfere i podloge, atmosferu čini granični sloj (ili sloj trenja) i slobodna atmosfera. U graničnom sloju visine do 1 (1,5) km na gibanje zraka utječu Zemljina površina i turbulentno trenje, dok se u slobodnoj atmosferi mogu zanemariti sile trenja zraka. U graničnom sloju razlikujemo: prizemni granični sloj (do 100 m visine) u kojem na struju vjetra djeluje konfiguracija Zemljine površine i vertikalni temperaturni gradijent, te Prijelazni sloj (od 100 do 1000 m) u kojem je vjetrena struja pod djelovanjem površinskog trenja, gradijenta gustoće i rotacije Zemlje.

Prema promjeni temperature s visinom, atmosferu čini nekoliko slojeva. U najdonjem sloju atmosfere do visine od približno 11 km, temperatura u prosjeku opada s visinom za  $0,65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . Ovaj najdonji dio atmosfere naziva se troposfera, a dijeli se na gornju i donju troposferu, pri čemu se granica između njih nalazi na visini od približno 6 do 8 km. Sloj iznad troposfere (visina od 11 do približno 50 km) zove se stratosfera u kojem temperatura opada umjereno ( $<0,2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ), stagnira ili pak raste s visinom. Prijelazni sloj između troposfere i stratosfere naziva se tropopauza, te u našim krajevima doseže visinu od 9 do 11 km, ovisno o godišnjem dobu i vremenskim uvjetima, dok npr. u polarnim krajevima visina tropopauze iznosi od 8 do 10 km, a na ekvatoru od 16 do 18 km. Izotermičko stanje stratosfere zadržava se u prosjeku sve do visine od 25 km, a iznad te razine temperatura raste zbog apsorpcije ultraljubičastog zračenja Sunca u sloju ozona.

Kada bi sloj ozona podvrgli tlaku koji vlada na površini Zemlje (101 kPa), debljina tog sloja iznosila bi samo 2,5 mm – čak i ovako tanak sloj dovoljan je da nas zaštiti od štetnog ultraljubičastog zračenja.



Slika 1. Vertikalni prikaz atmosfere

Izvor: <https://matrixworldhr.files.wordpress.com/2011/10/2-zemljina-atmosfera.jpg?w=829>

U mezosferi (od 50 do približno 80 km) temperatura zraka ponovo opada za  $0,35^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . Na visini od 80 do približno 95 km postoji prijelazni sloj, tzv. mezopauza u kojemu se temperatura kreće u intervalu od  $-85^{\circ}\text{C}$  do  $-90^{\circ}\text{C}$ . Iznad ovog sloja u termosferi koja se nalazi na visini od devedesetak pa do 450 (500) km temperatura ponovo raste dosežući vrijednosti i veće od  $1.000^{\circ}\text{K}$ , uglavnom jer kisik apsorbira Sunčevo zračenje valne duljine manje od  $0,24\mu\text{m}$ , pri čemu disocira pa nastaje atomni kisik. Na visini od 500 km počinje egzosfera, pri čemu na visinama većim od 1.000 km započinje širenje plinova u svemir. Zemljina atmosfera gledana iz Svemira je plave boje jer atmosferski plinovi raspršuju plavo svjetlo više od ostalih valnih duljina.

### 3. POJMOVI U ZAŠTITI ZRAKA I OKOLIŠA

Pod okolišem se podrazumijeva ukupno čovjekovo materijalno okruženje:

- živa priroda (flora i fauna),
- neživa priroda (zrak, voda i tlo),
- ljudske tvorevine (naselja, prometnice, industrijska postrojenja i proizvodi).

Manji, prostorno određeni dio okoliša naziva se ekosustav. To je osnovna organizacijska jedinica prirode sa sposobnošću samoregulacije i samoobnove, a čine je svi živi organizmi tog područja (uključujući i čovjeka), te njihov pripadni neživi okoliš s kojim su u stalnoj dinamičkoj interakciji višestruko povezani u stalnoj izmjeni tvari i energetske tokovima. Znanstvena disciplina koja proučava ekosustave zove se ekologija.

#### 3.1. Pojmovi prema Zakonu o zaštiti okoliša (N.N. 110/07)

*Emisija* je ispuštanje ili istjecanje tvari u tekućem, plinovitom ili čvrstom stanju, i/ili ispuštanje energije (toplina, zračenje, buka, vibracije, svjetlost) te ispuštanje organizama, iz pojedinog izvora u okoliš, nastalo kao rezultat čovjekovih djelatnosti, kao i mikrobiološko onečišćivanje okoliša.

*Granična vrijednost emisija* je propisana vrijednost, koncentracija i/ili razina emisije, izražena u posebnim pokazateljima, koja u jednom ili tijekom više vremenskih razdoblja ne smije biti prekoračena.

*Imisija* je koncentracija tvari na određenom mjestu i u određenom vremenu u okolišu.

*Kakvoća okoliša* je stanje okoliša i/ili sastavnica okoliša, koje je posljedica djelovanja prirodnih pojava i/ili ljudskog djelovanja, izraženo morfološkim, fizikalnim, kemijskim, biološkim, estetskim i drugim pokazateljima.

*Okoliš* je prirodno okruženje organizama i njihovih zajednica uključivo i čovjeka, koje omogućuje njihovo postojanje i njihov daljnji razvoj: zrak, vode, tlo, zemljina kamena kora, energija te materijalna dobra i kulturna baština kao dio okruženja kojeg je stvorio čovjek; svi u svojoj raznolikosti i ukupnosti uzajamnog djelovanja.

*Onečišćivač* je svaka fizička i pravna osoba, koja posrednim ili neposrednim djelovanjem, ili propuštanjem djelovanja uzrokuje onečišćivanje okoliša.

*Onečišćavanje okoliša* je promjena stanja okoliša koja je posljedica nedozvoljene emisije i/ili drugog štetnog djelovanja, ili izostanaka potrebnog djelovanja, ili utjecaja zahvata koji može promijeniti kakvoću okoliša.

*Onečišćujuća tvar* je tvar ili skupina tvari, koje zbog svojih svojstava, količine i unošenja u okoliš, odnosno u pojedine sastavnice okoliša, mogu štetno utjecati na zdravlje ljudi, biljni i/ili životinjski svijet, odnosno biološku i krajobraznu raznolikost.

*Opterećenja* su: emisije tvari i njihovih pripravaka, fizikalni i biološki činitelji (energija, buka, toplina, svjetlost i dr.) te djelatnosti koje ugrožavaju ili bi mogle ugrožavati sastavnice okoliša.

*Opterećivanje okoliša* je svaki zahvat ili posljedica utjecaja zahvata u okoliš, ili utjecaj na okoliš određene aktivnosti, koja sama ili povezana s drugim aktivnostima, može izazvati ili je mogla izazvati onečišćivanje okoliša, smanjenje kakvoće okoliša, štetu u okolišu, rizik po okoliš ili korištenje okoliša.

*Područje utjecaja* je područje na kojem se prostire značajan utjecaj zahvata u okoliš, bilo da je uzrokovan samim zahvatom u okoliš ili sinergijom s postojećim ili planiranim zahvatima u okoliš.

*Praćenje stanja okoliša (monitoring)* je niz aktivnosti koje uključuju uzorkovanje, ispitivanje i sustavno mjerenje emisija, imisija, praćenje prirodnih i drugih pojava u okolišu u svrhu zaštite okoliša.

*Rizik po okoliš* je veličina koja se mjeri vjerojatnošću pojavljivanja događaja i potencijalom štete za okoliš koji taj događaj može uzrokovati.

### 3.2. Pojmovi prema Zakonu o zaštiti zraka (N.N. 178/04)

*Zrak*: zrak troposfere na otvorenom prostoru, izuzevši zrak na mjestu rada.

*Onečišćujuća tvar*: svaka tvar ispuštena/unesena u zrak izravnim i neizravnim ljudskim djelovanjem koja bi mogla nepovoljno utjecati na ljudsko zdravlje, kakvoću življenja i/ili na kakvoću okoliša u cjelini.

*Razina onečišćenosti*: koncentracija onečišćujuće tvari u zraku ili njeno taloženje na površine u određenom vremenu.

*Kakvoća zraka*: svojstvo zraka kojim se iskazuje značajnost u njemu postojećih razina onečišćenosti, onečišćeni zrak: zrak čija je kakvoća takva da može narušiti zdravlje, kakvoću življenja i/ili štetno utjecati na bilo koju sastavnicu okoliša.

*Granična vrijednost (GV):* granična razina onečišćenosti ispod koje, na temelju znanstvenih spoznaja, ne postoji ili je najmanji mogući, rizik štetnih učinaka na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini i jednom kada je postignuta ne smije se prekoračiti.

*Ciljna vrijednost:* razina onečišćenosti postavljena s ciljem dugoročnog otklanjanja mogućnosti štetnih učinaka na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini i koju, gdje je to moguće, treba postići u utvrđenom roku.

*Kritična razina:* razina onečišćenosti čije prekoračenje pred-stavlja opasnost za ljudsko zdravlje pri kratkotrajnoj izloženosti, pri čijoj se pojavi žurno moraju poduzeti odgovarajuće propisane mjere.

*Granica tolerancije:* postotak granične vrijednosti za koji ona može biti prekoračena pod za to propisanim uvjetima.

*Tolerantna vrijednost (TV):* granična vrijednost uvećana za granicu tolerancije.

*Ocjenjivanje:* mjerodavna metoda koja se koristi za mjerenje ili procjenjivanje (izračunavanje, predviđanje) razina onečišćenosti.

*Gornja granica procjenjivanja:* propisana razina onečišćenosti ispod koje se ocjenjivanje onečišćenosti može obavljati kombinacijom mjerenja i metoda procjene na temelju standardiziranih matematičkih modela i/ili drugih mjerodavnih metoda procjene.

*Donja granica procjenjivanja:* propisana razina onečišćenosti ispod koje se ocjenjivanje onečišćenosti može obavljati samo pomoću metoda procjene na temelju standardiziranih matematičkih modela i/ili drugih mjerodavnih metoda procjene,

*Emisija:* ispuštanje/unošenje onečišćujućih tvari u zrak.

*Granična vrijednost emisije:* najveća dopuštena emisija, izražena ili koncentracijom onečišćujućih tvari u ispušnim plinovima i/ili količinom ispuštanja/unošenja onečišćujućih tvari u određenom vremenu.

*Praćenje emisije:* mjerenje i/ili procjenjivanje emisije onečišćujućih tvari iz izvora onečišćivanja zraka.

*Emisijski podatak:* vrijednost svake izmjerene, izračunate ili procijenjene veličine koja se koristi za određivanje emisije.

*Emisijska kvota:* ukupna dopuštena godišnja količina emisije (izražava se u jedinicama mase u određenom vremenu) iz jednog ili više izvora zajedno, odnosno s određenog područja i/ili na teritoriju Države.

*Staklenički plinovi:* plinoviti sastojci atmosfere koji se, prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime, nadziru.

*Registar emisija stakleničkih plinova:* standardizirana i informatizirana središnja baza podataka, koju sačinjavaju podaci o emisijama stakleničkih plinova i njihovim emisijskim kvotama.

*Tvari koje oštećuju ozonski sloj:* tvari koje se, prema *Montrealskom protokolu o tvarima koje oštećuju ozonski sloj*, nadziru.

*Onečišćivač:* pravna ili fizička osoba čije djelovanje izravno ili neizravno onečišćuje zrak.

*Upravitelj (operator):* osoba koja upravlja stacionarnim izvorom ili nadzire njegov rad.

*Praćenje kakvoće zraka:* sustavno mjerenje i/ili procjenjivanje razine onečišćenosti prema prostornom i vremenskom rasporedu.

*Podatak kakvoće zraka:* vrijednost svake izmjerene, izračunate ili procijenjene veličine koja se koristi za određivanje kakvoće zraka.

*Sanacijski program:* skup mjera za poboljšanje kakvoće zraka nekog područja.

*Najbolja raspoloživa tehnika:* najučinkovitiji i najnapredniji razvojni stupanj djelatnosti i s njome povezanih načina proizvodnje, uz gospodarski i tehnički održive uvjete, uzimajući u obzir i troškove i prednosti, koji u pravilu može biti primjerena osnova za određivanje graničnih vrijednosti emisija, s ciljem sprječavanja i smanjivanja emisija u zrak.

*Upravljanje kakvoćom zraka:* osiguravanje izvršenja mjera kojima se provodi strategija sprječavanja i smanjivanja onečišćivanja zraka na svim razinama, tako da se time ne ometa uravnoteženi razvoj.

*Područje:* jedan od razgraničenih dijelova teritorija Države, od ostalih takvih dijelova, koji predstavlja funkcionalnu cjelinu s obzirom na praćenje, zaštitu i poboljšanje kakvoće zraka te upravljanje kakvoćom zraka.

*Naseljeno područje:* područje s više od 250.000 stanovnika, ili područje s manje od 250.000 stanovnika, a gustoća je stanovništva veća od prosječne u Republici Hrvatskoj te je nužna ocjena i upravljanje kakvoćom zraka.



## 4. KONTROLA ZRAKA, IZVORI ONEČIŠĆENJA I ONEČIŠĆUJUĆE TVARI U ZRAKU

### 4.1. Izvori onečišćenja

Ranije je spomenuto da se sastav zraka mijenjao usporedno s razvitkom života na Zemlji. Usprkos činjenici da postoje veliki prirodni izvori onečišćavanja zraka, istovremeno je potrebno spriječiti dodatno smanjivanje kvalitete zraka što ga uzrokuju tvari koje dolaze u zrak kao posljedica ljudskog djelovanja. Pod izvorom onečišćenja zraka podrazumijevamo objekt ili proces koji emitira onečišćujuće tvari u atmosferu. Izvori onečišćenja zraka mogu se sistematizirati prema različitim kriterijima. Prema vrsti onečišćenja zraka, izvori onečišćenja se dijele na prirodne i umjetne.

#### 4.1.1. Prirodni izvori onečišćenja zraka

Ovamo pripadaju:

- 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.

#### 4.1.2. Umjetni izvori onečišćenja zraka

Ovamo pripadaju onečišćenja uzrokovana aktivnostima i procesima kojima upravlja čovjek.

To su:

- onečišćenje uzrokovano proizvodnjom toplinske i/ili električne energije (elektrane i toplane),

- onečišćenje uzrokovano radom industrijskih postrojenja (npr. metalurgija, kemijska industrija) i poljoprivredom (kopanje, 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 itd.

#### 4.1.3. Sistematizacija izvora onečišćenja

Prema rasporedu onečišćenja, izvori onečišćenja se sistematiziraju u tri skupine:

- pojedinačni ili točkasti izvori su izolirani ili međusobno dovoljno udaljeni izvori koji ne onečišćavaju isti prostor, npr. termoelektrane, rafinerije i sl. uz koje nema drugih postrojenja, tako da su jedini izvor onečišćenja na tom području,
- primjer linijskih izvora su transportni putovi kojima se kreću transportna sredstva,
- površinski izvori podrazumijevaju velik broj manjih izvora koji onečišćavaju isti prostor, kao npr. industrijske zone s većim brojem postrojenja i/ili kotlovnice grijanja koje zajedno onečišćuju zrak u npr. jednom gradu.

#### 4.1.4. Sistematizacija onečišćenja prema agregatnom stanju

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

- izvori čestica,
- izvori plinova i
- izvori plinova i čestica

#### 4.1.5. Izvori onečišćenja s obzirom na vrijeme

Izvori onečišćenja mogu se još podijeliti na stacionarne i mobilne, a s obzirom na vrijeme onečišćavanja dijele se na:

- trajni izvori (npr. visoke peći, termoelektrane i sl.),
- povremeni izvori.

Emisija (lat. *emittere*) u prijevodu znaci izaslati, odaslati, dok imisija (lat. *imittere*) ima suprotno značenje, prihvatiti, prihvaćanje. Emisija i imisija mogu biti opće i posebne. Opća emisija znaci emitiranje onečišćenja iz svih izvora onečišćenja na Zemlji u atmosferu, a posebna emisija podrazumijeva emitiranje onečišćenja jednog ili više izvora onečišćenja na

određenom prostoru. Za opću i posebnu imisiju vrijede iste definicije 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 uvjetuje kvalitetu zraka određenog područja. Kvalitetu zraka određuje vrsta i koncentracija onečišćenja u njemu, što se utvrđuje mjerenjima čestica, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> i CO, a u industrijskim područjima i organskih tvari, teških metala i dr., ovisno o vrsti izvora onečišćenja.

#### 4.2. Onečišćujuće tvari u zraku

Prema definiciji Međunarodne organizacije za standardizaciju (International Organization for Standardization, ISO) zrak je onečišćen 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.

Već i prije pojave čovjeka zrak je bio povremeno onečišćen zbog 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 i vrlo je zahtjevan zadatak prikazati ih sve, dati sve relevantne informacije o svakom od njih, pa ćemo ovdje spomenuti samo najvažnije.

Pod onečišćujućim tvarima u zraku podrazumijevamo tvari koje uzrokuju štetu ljudima i okolišu. Ove tvari nalaze se u zraku u krutoj, tekućoj ili plinovitoj fazi. Treba napomenuti da postoje i prirodni izvori onečišćenja zraka koji mogu biti veći od onih izazvanih ljudskom djelatnošću. Usprkos tome potrebno je smanjiti dodatno onečišćavanje zraka ljudskom djelatnošću, tako da ćemo ovdje spomenuti onečišćujuće tvari koje su posljedica ljudske djelatnosti.

Općenito, onečišćujuće tvari u zraku koje su posljedica ljudskih aktivnosti možemo podijeliti u sljedeće skupine:

1. Plinovi

- SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S, O<sub>3</sub> (troposferski), CH<sub>4</sub>, freoni (klorofluorouglijci, freon 11 (CFC13) i freon 12 (CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)), haloni, metilklorid (CH<sub>3</sub>Cl), tetraklorugljik (CCl<sub>4</sub>).

2. Lebdeće čestice

- krute tvari i/ili kapljice tekućine raspršene u zraku (promjera cestica 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:

- pesticidi (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

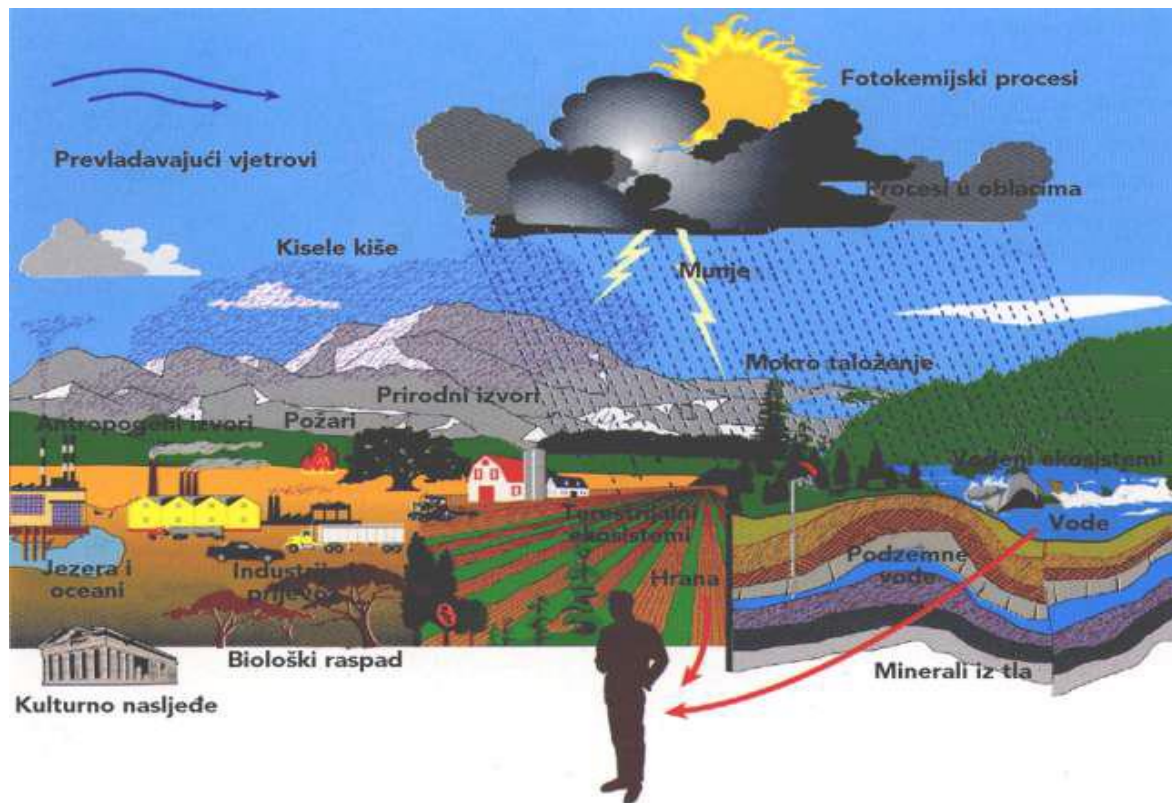
- (radioaktivni izotopi): svi izotopi Pu (najvažniji je Pu-239), izotopi U (U-235, U-238), Sr-90, Cs-137, H-3, C-14, J-131 i dr.

6. Ostale onečišćujuće tvari: azbest, fluoridi, formaldehid i dr.

7. Otpadna toplina kao specifični oblik onečišćenja atmosferskog zraka.

#### 4.3. 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.



Slika 2. Kruženje onečišćenja u atmosferi- izvori onečišćenja (emisija) – atmosfera – receptori (imisija)

Izvor: <http://matrixworldhr.com/>

Tablica 2. Pokazatelji onečišćenja zraka od glavnih izvora u naseljenim mjestima

| Izvor  | Pokazatelj onečišćenja zraka  |
|--|---|
| Grijanje i kuhanje u kućanstvima   | Lebdeće čestice (dim), sumpor-dioksid, ugljik-monoksid, dušikovi oksidi   |
| Prijevoz   | Ugljik-monoksid, dušikovi oksidi, ugljikovodici s olovom, oksidansi, lebdeće čestice (dim), sumpor-dioksid (diesel), neugodni mirisi  |
| Proizvodnja energije:<br>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, fluoridi, ugljik-monoksid   |
| Mineralni proizvodi: cement, azbest, Staklo i staklena vuna, keramika                                      | Prašina, azbestna vlakna, sumpor-dioksid, dušikovi oksidi, fluoridi   |
| Kemijska industrija: organska i anorganska   | Otapala, posebno onečišćenje i kiseline, posebno onečišćenje  |
| Prehrambena industrija   | neugodni mirisi, dim  |
| Ostalo: npr. 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 (čađa, kovine), dioksini  |

U atmosferi se onečišćenje može kemijski mijenjati zbog međusobnih kemijskih i fotokemijskih ili katalitičkih reakcija pri kojima mogu nastati još štetniji spojevi u zraku ili se nastali spojevi odlažu iz atmosfere. Promjenu ili odlaganje primarnog onečišćenja zraka uzrokuju i neki fizički procesi (ukapljivanje, apsorpcija ili adsorpcija i obaranje) te biološke aktivnosti

Tablica 3. Podrijetlo onečišćujućih tvari, njihove koncentracije u naseljenim područjima i njihova sudbina u zraku.

| Onečišćujuća tvar                  | Podrijetlo prirodni procesi                         | Podrijetlo ljudske aktivnosti                                | Masena koncentracija u nenaseljenim područjima                             | Trajnost u zraku                                | Promjene  | Uklanjanje iz zraka   |
|------------------------------------|---|--|--|---|---|---|
| Sumpor-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> <sup>2-</sup>                                | kišom ili taloženjem  |
| Sumporovodik (H <sub>2</sub> S)    | vulkani   | kemijska industrija, otpaci                                  | 0,3 µg m <sup>-3</sup>   | 2 dana  | oksidacija u SO <sub>2</sub>  | adsorbiranog LČ, apsorbicija na tlo, ocean  |
| Ugljik-monoksid (CO)               | šumski požari, oceani, reakcije terpena             | ispušni plinovi automobila i dimni plinovi ložišta           | 0,11 mg m <sup>-3</sup>  | 1-3mjeseca                                      | reakcije s hidroksil radikalom (-OH) u stratosferi, mikrobiološke reakcije na tlu |   |
| Dušik-monoksid (NO), dušik-dioksid | proizvod bakterija u tlu                            | izgaranje goriva i kemijska industrija                       | 0,2-2,4 µg m <sup>-3</sup><br>0,9-7,2 µg m <sup>-3</sup>                   | 5 dana  | fotokemijske reakcije   | apsorbicija na kapljice ili LČ i oksidacija do nitrata (NO <sub>3</sub> ) i taloženje |
| Amonijak (NH <sub>3</sub> )        | biološki procesi                                    | odlaganje otpadaka   | 4,3-14,4 µg m <sup>-3</sup>  | 7 dana  | reakcije na SO <sub>2</sub> oksidacija NO <sub>2</sub>                            | taloženje nastalih soli   |
| Ugljikovodici                      | biološki procesi                                    | ispušni plinovi automobila, kemijska industrija              | CH <sub>4</sub> : 0,6 mg m <sup>-3</sup><br>ostali: 1,0 mg m <sup>-3</sup> | 4 godine  | fotokemijske reakcije   | taloženje nastalih LČ, apsorbicija na vegetaciji, mikrobiološka aktivnost             |
| Ugljik dioksid (CO <sub>2</sub> )  | biološki procesi, oceani                            | izgaranje fosilnih goriva                                    | 580 mg m <sup>-3</sup>   | 2-4 godine                                      |   | apsorbicija u oceanu, fotosinteza   |
| Ozon (O <sub>3</sub> )             | fotokemijske reakcije, električno                   | fotokemijske reakcije ispušnih plinova                       | 0,04 mg m <sup>-3</sup>  |   | O <sub>2</sub> +O   | vezanje na vegetaciju, tlo i ocean  |
| Lebdeće čestice (LČ)               | vulkani, šumski požari, vjetrovom uzdignuta prašina | industrije, ložišta, sekundarni proizvodi kemijskih reakcija | u širokom rasponu  | ovisno o veličini čestica i vremenskim uvjetima | koagulacija, agregacija   | taloženje   |

Najbolje su proučeni mehanizmi nastajanja sekundarnih onečišćujućih tvari iz ispušnih plinova automobilskih motora. Dušik – monoksid (NO) pri visokim koncentracijama vrlo brzo oksidira u dušik – dioksid (NO<sub>2</sub>). Molekula NO<sub>2</sub> se apsorbicijom 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>. U daljnjem nizu 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.

Sunčeva svjetlost uz ozon i oksidanse može pospješiti oksidaciju  $\text{SO}_2$ , ali u našoj šumi, gdje su koncentracije  $\text{SO}_2$  zimi visoke, ti su mehanizmi manje važni.

$\text{NO}_2$  iz visokih izvora (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 proizvode npr. kućna ložišta i primarne onečišćujuće tvari iz prometnih sredstava.

Sekundarne onečišćujuće tvari koje nastaju fotokemijskim reakcijama sastojaka ispušnih plinova automobilskih motora (npr. Ozon) 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, tj. na području više zemalja. Putem se, na prije opisan način,  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_2$  pretvaraju u odgovarajuće kiseline koje na kraju dospiju na tlo ili na vegetaciju suhim taloženjem ili kao kiselina 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 dalje od izvora, sve više prevladava prvi mehanizam, jer je pretvorba u kiseline tijekom putovanja napredovala. Smanjenjem pH vrijednosti (porastom kiselosti) oksidacija  $\text{SO}_2$  se usporava.

Amonijak u zraku neutralizira nastalu kiselinu, time sprečava smanjenje pH i omogućuje nastavak oksidacije. Zbog toga je pH najčešće oko 4, neovisno o prevaljenom putu.

#### 4.4. Karakteristične promjene koncentracije

Koncentracije onečišćujućih tvari mijenjaju se tijekom dana, tjedna i godine ovisno o aktivnostima stanovništva i o meteorološkim uvjetima. Zato postoji pravilni dnevni, tjedni i godišnji hod razine koncentracije koji može biti poremećen promjenom jakosti emisije ili vremenskim uvjetima.

Karakteristični dnevni hod ili koncentracija  $\text{SO}_2$  i dima u sezoni loženja, uzrokovan cikličkim promjenama u aktivnostima stanovništva i dnevnim hodom vertikalnog miješanja zraka.



Dnevni hod koncentracija onečišćenja koje pretežno potječe od ispušnih plinova automobilskih motora nešto je drukčiji, jer jako ovisi o gustoći prometa.

Tjedni hod dnevnih koncentracija pokazuje sniženje razine SO<sub>2</sub> u poslovnim dijelovima grada zbog prestanka loženja u dane tjednog odmora kao i pomak najveće koncentracije NO nedjeljom zbog kasnijeg izlaska stanovnika u grad.

Godišnji hod onečišćenja zraka što potječe od izgaranja fosilnih goriva uvjetovan je sezonom loženja i specifičnim aktivnostima stanovništva. Godišnji hod koncentracije SO<sub>2</sub> u tipično stambenom području gdje je glavni izvor SO<sub>2</sub>, loženje zime razlikuje se od godišnjeg hoda u industrijskom području, gdje proizvodnja energije za potrebe pogona traje cijele godine.

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

#### 4.5. Ocjena kakvoće zraka

Na temelju praćenja koncentracije karakterističnih pokazatelja onečišćenja zraka kakvoća se zraka ocjenjuje usporedbom 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. Europska zajednica donijela je za sada propise samo za SO<sub>2</sub>, lebdeće čestice, NO<sub>2</sub> i olovo, i to na osnovi smjernica WHO kao dugoročni cilj. Ali kako je u mnogim velikim europskim gradovima i industrijskim bazenima sadašnja kakvoća zraka mnogo lošija od preporučene, EZ je postavila i snošljive granične vrijednosti kao etapni cilj koji su članice EZ trebale postići do travnja 1993. Zbog toga su zemlje u kojima je kakvoća zraka još uvijek lošija od preporučene trebale do 1. travnja 1991. dostaviti plan postupnog snižavanja emisija kako bi mogle u postavljenom roku zadovoljiti tom zahtjevu.

Smjernice, odnosno granične vrijednosti za SO<sub>2</sub> i lebdeće čestice, odnosno za SO<sub>2</sub> i dim, dane su u sprezi zbog dokazanog zajedničkog djelovanja. Smjernice WHO za kakvoću zraka navedene su u tablici 3.2.3., a granične vrijednosti u tablici 3.2.4. a i b. WHO u smjernicama daje srednje godišnje i najveće pojedinačne (dnevne, satne) vrijednosti, a EZ navodi 50. I 98. percentil izmjerenih vrijednosti, što je s obzirom na karakter razdiobe učestalosti rezultata mjerenja prikladnije za praktičnu primjenu (razdioba učestalosti koncentracija bolje prikazuje

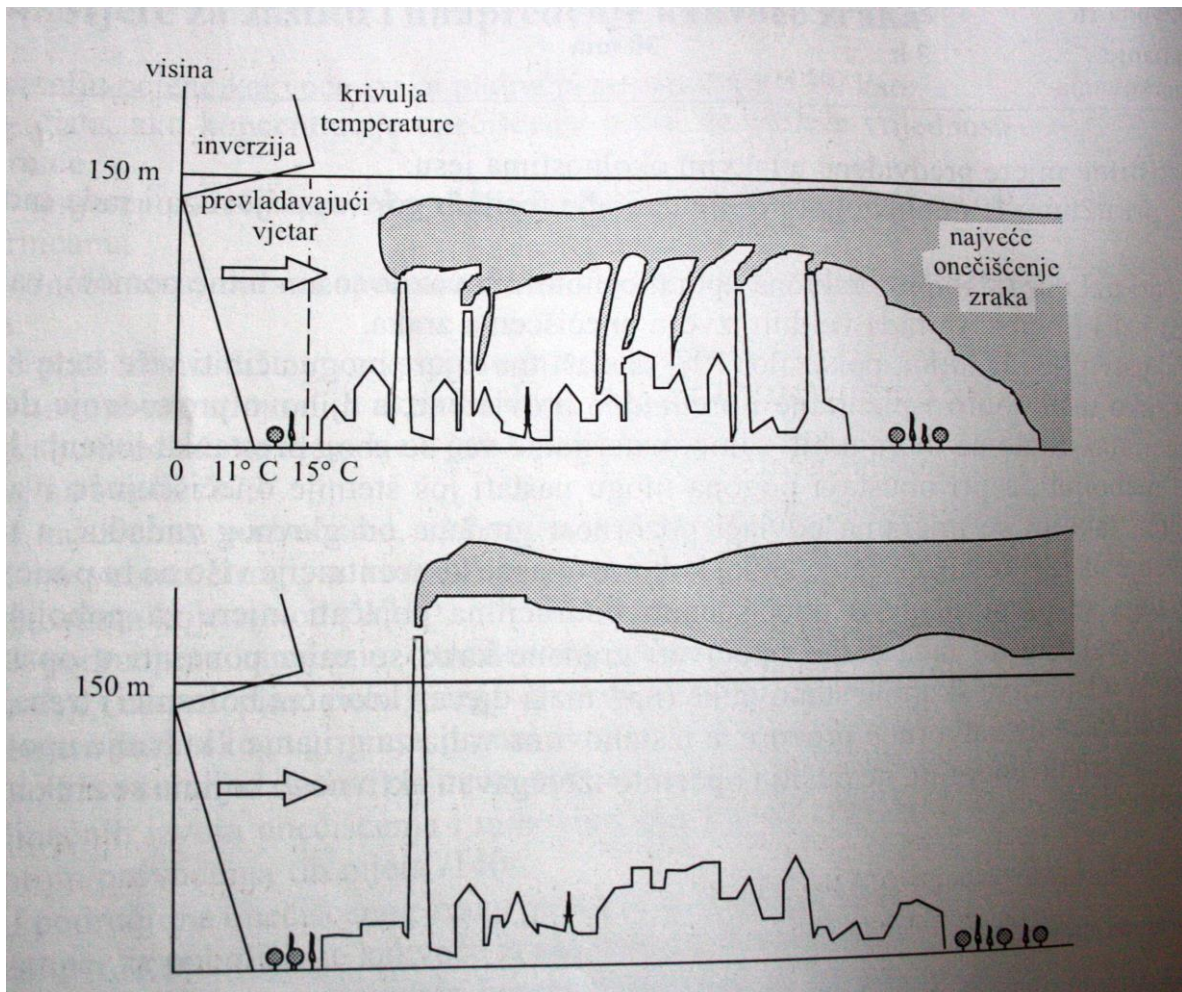
razinu onečišćenja zraka nego najviše vrijednosti koje mogu biti posljedica izvanrednih okolnosti). Svjetska zdravstvena organizacija donijela je posebne smjernice za zaštitu vegetacije koja je osjetljivija od ljudi, jer je trajno izložena vanjskom zraku (tablica 3.2.5.)

#### 4.6. Širenje primjesa u atmosferi

Ponašanje štetnih primjesa nakon napuštanja izvora ovisi o stanju atmosfere, vrsti i visini izvora te tehnološkim karakteristikama procesa pri kojem su primjese nastale. Tehnološki utjecaji s udaljenošću od izvora slabe, pa difuzija i prijenos primjesa uz možebitne kemijske promjene te mokro i suho taloženje upravljaju koncentracijama i raspodjelom štetnih primjesa oko izvora emisije, odnosno u nekom bližem ili daljem području.

Štetne primjese u zraku putuju kroz vjetar, a istodobno se šire fizikalnim procesom koji se zove difuzija. Difuzija ovisi o turbulenciji strujanja. Kako je turbulencija vrlo promjenjiva u prostoru i vremenu, teško ju je mjeriti i odrediti, pa se atmosferski uvjeti, umjesto turbulencijom, prikazuju brzinom vjetra, atmosferskom stabilnošću i visinom sloja miješanja. Ponašanje tih triju parametara u planetarnom graničnom sloju, kojemu je donja granica nepomična (tlo), a gornja granica primjenjiva, ovisi o odnosu između kratkovalnog Sunčevog i dugovalnog Zemljanog i atmosferskog zračenja te o svojstvima podloge. Zbog pravilnih promjena zračenja parametri i njihove međusobne kombinacije imaju izrazit dnevni i godišnji hod, a zbog oblika i sastava podloge vrijednosti im se razlikuju na različitim mjestima. Pri nekim vremenskim okolnostima na mjestima kao što su duboke riječne doline, kotline i obalno područje prevladava utjecaj podloge.

Neke od primarnih onečišćenih tvari u atmosferi podliježu kemijskim promjenama, često uz djelovanje sunčeve svjetlosti, i prelaze u sekundarno onečišćenje.



Slika 3. Širenje štetnih primjesa u sloju ispod podignute inverzije (gornja slika) i u sloju iznad podignute inverzije (donja slika).

Onečišćenje atmosferu napušta taloženjem. Način i brzina taloženja ovise o relativnoj vlažnosti zraka i o tome pada li oborina ili ne pada. Zbog raznolikih i složenih procesa koji upravljaju širenjem atmosferskih primjesa, prizemne su koncentracije vremenski i prostorno vrlo promjenjive, čak i kad je emisija konstantna. Da bi se problemi s onečišćenjem zraka mogli rješavati potrebna su ne samo mjerenja emisije i imisije na mnogim točkama, nego i računske procjene primjenom teorijskih modela difuzije, prijenosa i taloženja. Modeli prikazuju koncentraciju onečišćenja u mreži točaka mnogo gušćoj od mreže za mjerenje imisija.

Pri procjeni se odabire model kao i tehnološki i meteorološki unos koji najbolje oponašaju stvarno stanje. Za procjenu onečišćenja u blizini izvora primjenjuju se modeli u kojima je najvažniji utjecaj difuzije i koji uvažavaju reljef tla i oblik obale. Modeli za procjenu onečišćenja udaljenih područja moraju uvažiti prijenos ili i usputno taloženje i kemijske promjene štetnih primjesa.

Svaki se model prilagođuje vrsti izvora (točkasti, linijski, plošni) i njegovoj visini (prizemni, visoki), zatim prirodi emitiranih primjesa (plin: stabilan, labilan, težak, čestice), meteorološkim uvjetima, konfiguraciji terena ili obale te veličini naselja, odnosno industrijskog središta.

U redovitoj primjeni prednost imaju jednostavni i ekonomični, dobro provjereni modeli. Takvi su, na primjer, modeli koje preporučuje Međunarodna agencija za atomsku energiju u Beču (International Atomic Energy Agency) ili u Sjedinjenim Američkim Državama Agencija za zaštitu okoliša (U.S. Environmental Protection Agency) te Komisija za procjenu valjanosti nuklearnih propisa (U.S. Nuclear Regulatory Commission Evaluations).

Bez obzira na prirodu modela koji se primjenjuje, rezultati procjene ovise o kakvoći tehnoloških, a posebice meteoroloških ulaznih podataka. Zbog toga se provode meteorološka mjerenja na različitim visinama u planetarnom graničnom sloju, i to neprekidno (na meteorološkim tornjevima/supovima, posebnim automatskim meteorološkim postajama i pomoću lidara i sodara) ili povremeno radiosondažom, pilotbalonskim ili profilnim mjerenjem. No mjerenja su skupa, a u ograničenom vremenu ne mogu se obuhvatiti svi oblici atmosferskog utjecaja na onečišćenje te se zato takva mjerenja obavljaju u izabranim vremenskim stanjima, najčešće onima koja su nepovoljnija s obzirom na onečišćenje zraka.

#### 4.7. Onečišćenje na maloj udaljenosti od izvora

Prizemne koncentracije onečišćenja nedaleko od izvora veoma ovise o obliku terena, zgrada i naselja. To su, naime, činitelji koji utječu na gibanje i stabilnost zraka, pa prema tome, i na difuziju zračnih primjesa. Vrlo je važna, dakako, i visina izvora onečišćenja.

Najveće prizemne koncentracije oko točkastog izvora obrnuto su razmjerne visini izvora iznad tla. Zbog toga se izgradnjom visokih dimnjaka pokušava smanjiti prizemno onečišćenje bližeg okoliša.

Osim toga, kada puše vjetar, oko zgrada, osobito u zavjetrini, stvaraju se zračni vrtlozi, koji mogu, ako je tvornički dimnjak nizak, dim uvući i usmjeriti ga prema tlu i zgradama.

U stabilnom sloju zraka vertikalno je miješanje vrlo slabo, pa se primjese koje ulaze u takav sloj zadržavaju gotovo na istoj visini. Zato u sloju s noćnom ili zimskom temperaturom inverzijom uzrokovanom jakim izžarivanjem tla i zraka ima mnogo štetnih primjesa što potječu iz niskih izvora onečišćenja, a u gornjem se dijelu sloja zadržavaju primjese ispuštene iz visokih izvora. Kad prije podne započne toplinska konvekcija, nastali se vrtlozi zraka miješaju najprije pri tlu, a zatim sve dalje u visinu, pa tako inverzija nestaje. Kad vrtlozi

dosegnu onečišćenje nagomilano u visini, prebace ga do tla, gdje se tada najednom osjeti jako zadimljenje (fumigacija).

Zadimljenje na obalnom području nastane kad prije podne vjetar smorac dopre do kopna. Povećana prizemna koncentracija primjesa zbog zadimljenja najčešće nije dugotrajna, ali može biti velika, pa osobe osjetljivih ili bolesnih dišnih organa u to doba ne bi trebale izlaziti iz kuće.

U anticikloni kakva se u nas zadržava desetak i više dana u jesen, a u kopnenoj Hrvatskoj i zimi, postoji temperaturna invazija u visini, zbog adijabatskog grijanja zraka koji se spušta do neke visine i zatim istječe iz anticiklone. Ispod inverzije se razvijaju zračni vrtlozi zbog toplinske konvekcije u sloju miješanja. Primjese ispuštene u sloj miješanja gomilaju se u njemu, jer se ne mogu probiti u invazijski sloj, pa se kružeći spuštaju i do tla. Ako pak otvor visokog dimnjaka nadvisuje sloj miješanja primjese se ne mogu spustiti već ostaju u visini.

Dobro je, dakle, poznavati prosječnu visinu prizemne inverzije i sloja miješanja kako bi se visina planiranog dimnjaka po mogućnosti prilagodila tim podacima. Modeli za ocjenu kakvoće zraka na području do 20 km udaljenosti oko izvora onečišćenja i uz prijenos u kratkom vremenu zanemaruju uklanjanje primjesa iz atmosfere. Najvažniji su u praktičnim primjerima oni kojima je osnova Gaussova funkcija razdiobe. Zato se nazivaju gausovskim modelima.

Gausovski model difuzije plina iz stalnog izvora vrlo je podesan iz više razloga. Može se primijeniti na točkasti, linijski i plošni izvor, a ulazne pretpostavke i podaci su jednostavni. Iako se primjenjuje, omogućuje dopunske promjene u modeliranju, a njegove se procjene u prihvatljivim granicama podudaraju s mjerenjima.

Za izračunavanje prizemnih koncentracija podrijetlom iz linijskih i plošnih izvora postoji također gausovski model. On je npr. primijenjen u prizemne koncentracije kemijski aktivnih primjesa od prometa i kemijske industrije izračunavaju se pomoću gradijentnog modela ili K modela za prijenos primjesa. Jednadžba tog modela je diferencijalna, a odgovara svim atmosferskim uvjetima u kojima su turbulentni vrtlozi manji od širine dimne perjanice. Zato je model prvenstveno primjenjiv za linijske plošne izvore.

Osim neprekidne emisije kojom se može upravljati, događaju se i nekontrolirani vrlo štetni jednokratni ispusti onečišćenja, tzv. akcidenti. Prijenos i širenje izbačenog „oblaka“ nisu jednaki kao u dimne perjanice stalnog ispusta ali se također mogu matematički prikazati. Navedeni modeli relativno su jednostavni i lako primjenjivi, iako ima i takvih modela koji

daju bolje rezultate ali su zasad preskupi i neprikladni za redovitu primjenu. Onečišćenje u gradovima potječe iz mnogih gradskih izvora, točkastih, linijskih i plošnih, a pribraja mu se atmosfersko onečišćenje različitog podrijetla iz bližih ili dalekih izvora. Na koncentraciju onečišćenja u gradu utječu atmosferski procesi svojstveni širem gradskom području, kao i oni uzrokovani posebnom gradskom mikroklimom.

Za izračunavanje prizemnih koncentracija onečišćenja u gradovima najčešće se primjenjuje relativno jednostavan model, tzv. model kutije. Osnovna ideja modela je da promjena koncentracije neke onečišćujuće tvari u obujmu koji je određen gradskom površinom i visinom sloja miješanja ovisi o razlici između ulaza i izlaza te tvari u kutiju, te o njezinu stvaranju i razgradnji unutar gradske „kutije“ što se izražava diferencijalnom jednačinom. Kod nas je modelom kutije ocijenjeno prirodno provjetranje nekoliko gradova u kopnenom djelu Hrvatske. Za izračunavanje koncentracije onečišćenja iz glavnih gradskih izvora primjenjuje se model kutije u kombinaciji s gausovskim modelom. Postoji mogućnost da se u modele uključi deformacija dimne perjanice ako je otvor dimnjaka relativno nizak prema okolnim zgradama ili ako ima nekontroliranih ispusta iz pukotina na dimnjaku.

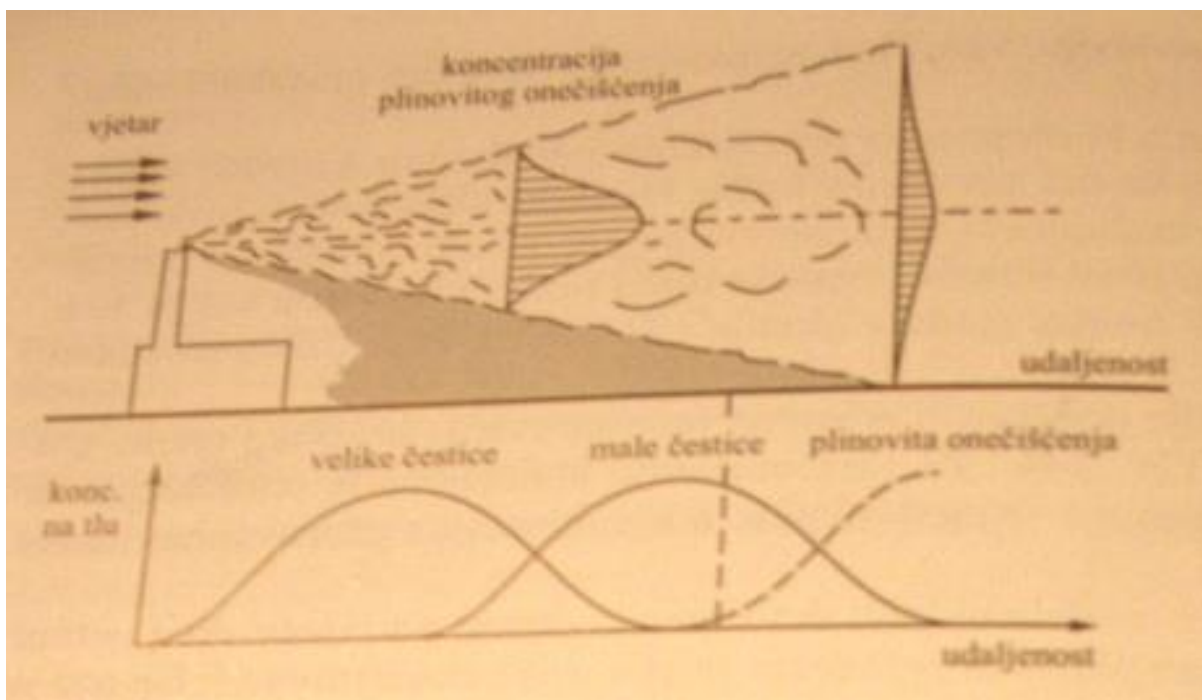
#### 4.8. Taloženje atmosferskih primjesa

Štetne primjese napuštaju atmosferu suhim i mokrom taloženjem. Suhim se taloženjem primjese djelomično i postupno sliježu kad oborina ne pada. U mokrom taloženju primjese padaju zajedno s oborinom, bilo da ih kiša ili snijeg ispiru iz zraka pod oblakom, bilo da su ušle u sustav oblaka prije nego se oborina razvila npr. kao jezgre ukapljivanja i ledene jezgre ili drukčije. Poznato je da se sumpor iz industrijskih izvora u umjerenim širinama uklanja u jednakoj količini suhim taloženjem (većinom kao sumpor-dioksid) i mokrim taloženjem (većinom u obliku sulfatne kiseline), a za ugljik –dioksid presudno je mokro taloženje. Čestice se talože na oba načina. Talloženjem štetnih primjesa povećava se onečišćenje na tlu i u vodi, a smanjuje u zraku. Tok suhog taloženja  $F_d$  razmjernan je koncentraciji primjese  $y_p$  u zraku :

$$F_d = v_d y_p$$

Veličina  $v_d$  je „brzina suhog taloženja“, a ovisi o svojstvima primjese i veličini čestica, o atmosferskim uvjetima i o podlozi na kojoj se primjesa taloži. Određuje se teorijski u

laboratoriju i iskustveno u prirodi. Za „teške“ čestice brzina se taloženja približava brzini gravitacijskog taloženja, koja se određuje na jednostavan način iz Stokesovog zakona. Suho se taloženje najčešće izračunava na temelju gausovog modela dimne perjanice. Pri gravitacijskom taloženju primjesa os dimne perjanice se spušta. Nagib osi i udaljenost na kojoj os dodiruje tlo određene su omjerom između gravitacijske brzine padanja čestice i brzine vjeta. Što su čestice veće, padaju većom gravitacijskom brzinom pa je os dimne perjanice nagnutija i dodiruje tlo bliže izvoru. Tako se najprije tj. najbliže izvoru talože najveće čestice, a lakše dopiru na veće udaljenosti. Modeli za suho taloženje nisu još dovoljno ispitani. Prijelaz iz suhog u mokro taloženje ovisi o količini vodene pare u zraku i događa se pri relativnoj vlažnosti zraka većoj od 90%. Ukapljivanjem vodene pare na česticama one se povećaju pa je tok taloženja razmjernan relativnoj vlažnosti zraka. Zato je srednja brzina taloženja u vlažnom zraku veća od brzine taloženja u suhom zraku. Dalje, taloženje neke količine primjesa u magli traje sat do sat i pol, a pri maloj i umjerenj relativnoj vlažnosti zraka cijeli dan. Tako se i pojačano noćno taloženje objašnjava povećanom relativnom vlažnosti zbog hlađenja zraka.



Slika 4. Rasprostiranje čvrstog i plinovitog onečišćenja iz dimnjaka Izvor:

<http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php>

Mokrim taloženjem u oborini koja pada primjese najbrže uklanjaju iz atmosfere i to 10 puta brže ako su prethodno bile u česticama oblaka, nego ako ih oborina pri padanju ispire iz

zraka. Djelotvornost mokrog taloženja, bez obzira na fizikalni proces kojim su primjese ušle u oborinu ovisi među ostalim o jakosti oborine te o veličini oborinskih čestica i čestica onečišćenja. Tijek mokrog taloženja  $F_w$  razmjernan je masenom udjelu primjese  $w_p$  u zraku gdje je  $v_w$  „brzina mokrog taloženja“, umnožak jakosti oborine i omjera masenih koncentracija primjese u kišnici (odnosno snježnici) i u zraku. Formula:

$$F_w = v_w \cdot w_p$$

#### 4.9. Prijenos onečišćenja na velike udaljenosti

Pri prijenosu štetnih primjesa na velike udaljenosti treba uvažiti difuziju primjesa, njihove kemijske promjene i taloženje, kao i međudjelovanje tih triju procesa.

Više je vrsta modela za procjenu koncentracije onečišćenja daleko od izvora. Najjednostavniji je „model kutije“, zatim ima statističkih modela te modela koji prema osnovnoj jednadžbi nose ime po matematičarima Euleru, odnosno Lagrangeu. Ti posljednji ističu se time što prate gibanje zračnih primjesa pa mogu pokazati područje odakle je neko onečišćenje došlo. To je korisno npr. u rješavanju međudržavnih sporova nastalih zbog izrazito velike koncentracije onečišćenja iz nepoznatog, odnosno dalekog izvora.

#### 4.10. Efekt staklenika i njegove posljedice

Efekt staklenika događa se prilikom zagrijavanja Zemljine atmosfere zbog otežane emisije topline primljene zračenjem. Zemlja se, naime, najviše zagrijava vidljivim Sunčevim svjetlom koje relativno slobodno prolazi kroz atmosferu. Ona, međutim, dobivenu energiju vraća u svemir u obliku infracrvenih zraka, koje zrači svako zagrijano tijelo.

Te infracrvene zrake djelomično zagrijavaju plinovi u njezinoj atmosferi (najviše ugljikov dioksid, ali i metan i vodena para), kao što ih zagrijava staklo staklenika. Kako sadržaj navedenih plinova zbog ljudskih djelatnosti stalno raste, pojačava se i zagrijavanje. Tako je sadržaj ugljikova dioksida od industrijske revolucije porastao za 25%, odnosno za 10% samo od 1950., dok danas raste brzinom od 0,5% godišnje.

Znanstvenici predviđaju da će se zbog toga do 2025. prosječna temperatura Zemlje dići za 1.5°C, što će (zbog kopnjenja leda i toplinskog širenja oceana) izazvati porast razine svjetskih mora za 20 cm.



Razlog zašto su Mars i Venera nenaseljivi, nije njihova blizina suncu već upravo efekt staklenika. Slično je i sa Saturnovim mjesecom Titanom.

Sporazum iz Kyota jedan je od načina da se čovjekov utjecaj na klimatske promjene ograniči.

#### 4.11. Ozon i ozonske rupe

Osim što djeluje kao staklenički plin ozon je i jaki oksidans koji dokazano ima štetan učinak na prinos usjeva, rast šuma i ljudsko zdravlje. Stalno se proizvodi i uništava u atmosferi djelovanjem svjetlosti, električnim pražnjenjima i kemijskim reakcijama. Povećane koncentracije ozona tipične su za urbana područja s gustim automobilskim prometom i jakim industrijom i upravo je zato ozon je glavni sastojak gradskog (fotokemijskog) smoga.

Srećom se samo 10 % od ukupnog ozona prisutnog u atmosferi nalazi se u troposferi - dijelu atmosfere u kojem se krećemo, radimo i dišemo. Ostatak se nalazi u stratosferi koja je udaljena 10-15 km od površine (ovisno o geografskoj širini). Za razliku od troposfere u stratosferi temperatura raste s visinom a stratosferski dani uvijek su sunčani i mirni, bez daška vjetra. Stratosferski ozon je "dobar" ozon koji čuva život na Zemlji apsorbirajući štetno ultraljubičasto zračenje (UV) koje nam stiže sa Sunca. Spore, bakterije, plijesni, pa čak i virusi uništavaju se UV zračenjem (UV-C se naziva i germicidno ili antimikrobno zračenje). Što zračenje ima manju valnu duljinu to je opasnije.

Ozon apsorbira manje od 20 % UV zračenja dok glavninu, i to ono najopasnije, apsorbiraju kisik i dušik (jednostavno zato što ih je puno više u zraku). Zato smo, prema njegovom djelovanju na ljudsko zdravlje i okolinu, UV zračenje podijelili na tri područja:

UV-C od 100 nm do 280 nm (75 %) najopasnije je UV zračenje ali ne prodire do površine Zemlje jer ga apsorbiraju dušik (valne duljine ispod 100 nm) i kisik (valne duljine ispod 260 nm); također ovo zračenje proizvodi većinu atoma kisika potrebnih za proizvodnju ozona.

UV-B od 280 nm do 315 nm (20 %) opasno zračenje koje može uzrokovati rak kože. Većinu ovog zračenja apsorbira ozon (valne duljine od 200 nm do 300 nm).

UV-A od 315 nm do 400 nm (5 %) najmanje je štetno, ali ipak može doprinijeti starenju kože, oštećenju DNA i moguće raku kože.

## 5. UTJECAJ ONEČIŠĆENOG VANJSKOG ZRAKA NA OKOLIŠ I ZDRAVLJE

### 5.1. Općenito o utjecaju onečišćenja zraka na organizam

Ljudskom je organizmu dnevno potrebno 15 do 16 kg zraka, a to 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 koji mu je dnevno potreban u čovjeka stvara osjećaj da se u zrak mogu ispuštati goleme količine štetnih tvari. No nepovoljni meteorološki uvjeti, kad nema difuzije u visinu mogu uzrokovati takvo nagomilavanje onečišćenja u donjem sloju zraka da su ljudi, životinje i bilje izloženi opasnosti, a materijali oštećenju. Velika onečišćenja zraka pedesetih godina u gradovima i industrijskim područjima u vrijeme kada je povećana smrtnost u rizičnim skupinama stanovništva, potaknula su znanstvenike širom svijeta da posebnu pozornost usmjere na proučavanje utjecaja onečišćenja zraka na zdravlje.

Iako se u tim situacijama onečišćenje zraka nije uvijek mjerilo, raspoloživi podaci upućuju na to da je zdravstvene učinke izazvalo zajedničko djelovanje većeg broja čestica i plinova iz tvorničkih dimnjaka unutar jake prizemne temperature inverzije.

Zimi u dimu i magli nastaje većinom reduktivni smog (smoke + fog = smog) sastavljen uglavnom od sumpor-dioksida i čađi. Kakvoća zraka u gradovima i industrijskim područjima najviše ovisi o dvjema skupinama onečišćujućih tvari koje su posljedica čovjekovih aktivnosti, uglavnom radi 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 cjeloukupnom 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.

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. To 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 onečišćuju zrak 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 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.

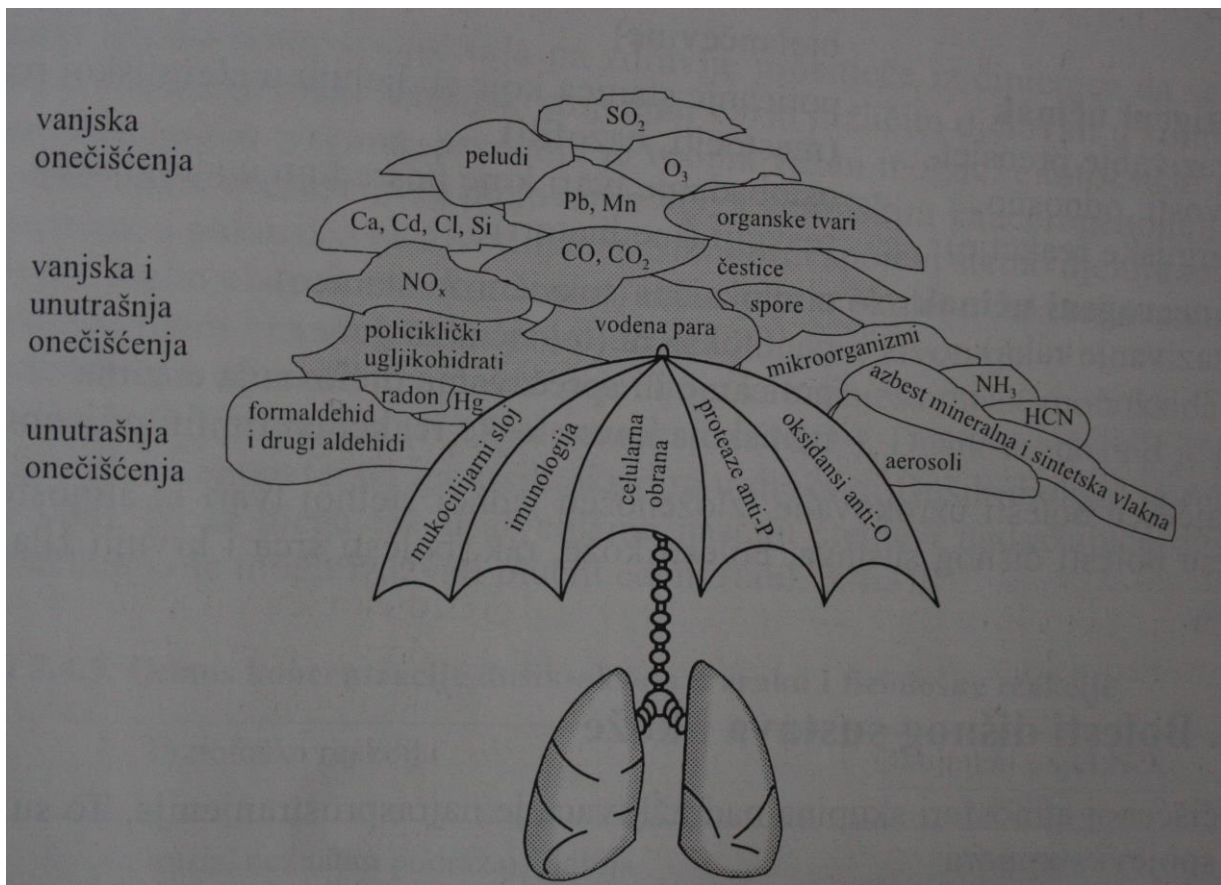
Onečišćenje zraka ne oštećuje jednako sva tkiva, odnosno sve stanice ljudskog organizma. Učinak ovisi o koncentraciji i trajanju djelovanja onečišćenja, njegovim fizikalno-kemijskim svojstvima, mjestu djelovanja i zdravstvenom stanju organizma.

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.

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 dimovi mogu 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. Čovječji 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).

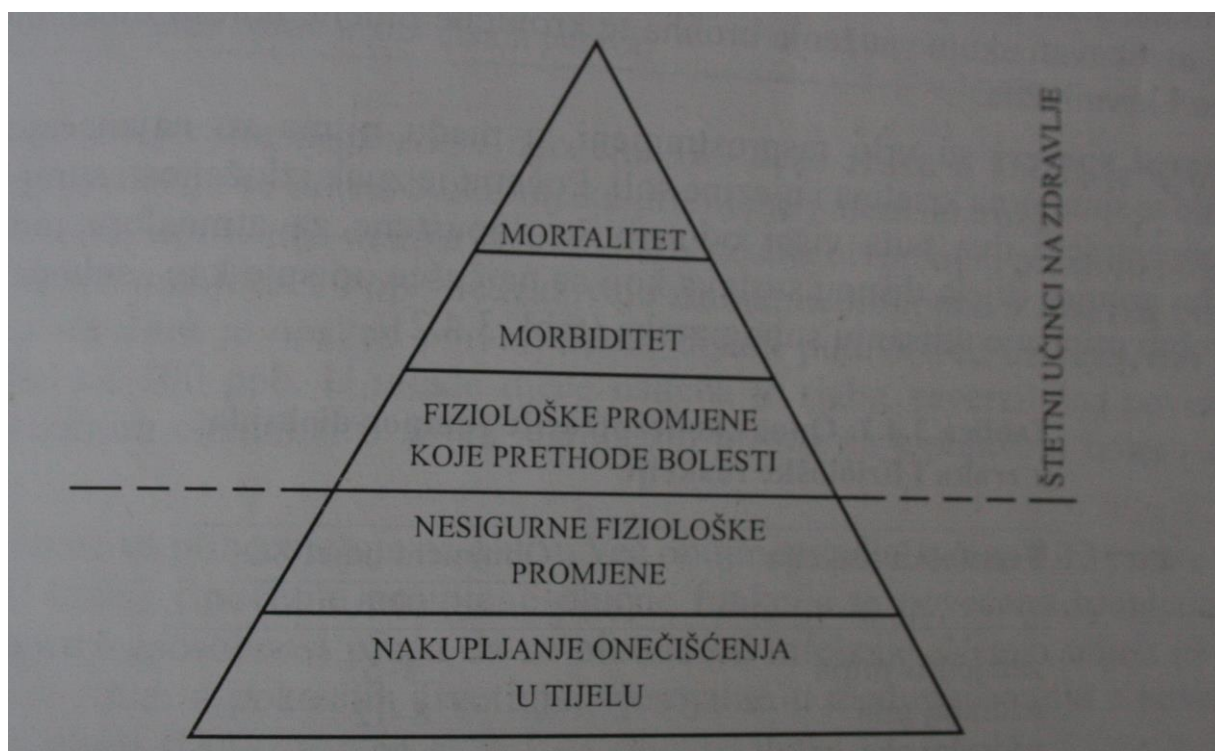


Slika 5. Najčešće onečišćujuće tvari u zraku i čovjekov obrambeni sustav-model

Izvor: <http://kvaliteta-zraka.imi.hr/>

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. Epidemiološke studije odražavaju stvarne uvjete, ali zbog vrlo mnogo činitelja koji djeluju nije moguće izdvojiti utjecaj jednog štetnog i zaključivati o uzročno – posljedičnom odnosu. Njemački autori dobili su značajnije rezultate praćenjem zdravstvenog stanja skupine školske djece iz ruhrsko-rajnskog područja, gdje je zrak izrazito zagađen. Nakon dva mjeseca boravka djece u području mnogo manjeg onečišćenja zraka neki hematološki, imunološki i funkcionalni parametri koji su pokazivali odstupanja od normale poboljšali su se i približili vrijednostima u vršnjaka koji žive u području s relativno čistim zrakom. Unatoč brzom i velikom razvoju novih tehnika i metoda, procjene učinaka onečišćenja zraka za zdravlje još nisu potpune.



Slika 6. Biološki odgovori na izloženost onečišćenju

Izvor: <http://znanost.geek.hr/>

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.

## 5.2. Bolesti dišnog sustava i kože

U onečišćenoj atmosferi skupina nadražljivaca je najrasprostranjenija. Ovamo pripadaju :

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

Nadražljivci djeluju izravno na sluznicu dišnog sustava i preko živčanih završetaka mogu uzrokovati akutno suženje bronha te 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 djela dišnog sustava koji se najčešće opisuje kao „suhoća“ nosa i grla i pogrešno pripisuje udisanju suhog zraka.

Novije studije upućuju na to da značajnije promjene otpora u dišnim putovima nastaju u osjetljivih osoba (npr. astmatičara) pri četiri puta nižoj koncentraciji sumpor-dioksida nego u zdravih osoba, posebice uz blagu do umjerenu tjelesnu aktivnost.

Visoka koncentracija  $\text{SO}_2$  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 proistječe 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  $\text{SO}_2$  s kemijskim kancerogenom u zraku, benzo(a)pirenom, u pokusima na životinjama. Sumporni spojevi štetno djeluju na čovjeka i neizravno, preko ekosustava: 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 ( $\text{NO}_2, \text{N}_2\text{O}_2$ ), trioksida ( $\text{N}_2\text{O}_3$ ) i pentoksida ( $\text{N}_2\text{O}_5$ ).

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 čovječjem organizmu izloženu 180 dana zraku u kojem je obujmeni udjel  $\text{NO}_2$  1 ppm razvijaju se krvne biokemijske promjene i ateroskleroza. Epidemiološka ispitivanja učinka dušikovih oksida na otvorenom prostoru pokazuju da 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. U 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 djeluje 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 jesu tzv. pušačke bolesti – kronični bronhitis i karcinom pluća. Izloženost dimu tuđe cigarete, tzv. pasivno ili nevoljno pušenje, može imati teške posljedice: usporeni razvoj

plućne funkcije u djece, smanjenu plućnu funkciju i povećanu hiperaktivnost dišnih putova u odraslih, poglavito astmatičara.

Pušenje, može imati teške posljedice: usporeni razvoj plućne funkcije u djece, smanjenje plućne funkcije i povećanu hiperaktivnost dišnih putova u odraslih, poglavito u 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.

### 5.3. Bolesti srca i krvnih žila i ostale bolesti

Smetnje na mnogim životnim organizmima izazivaju:

- 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. 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.

Ugljik – monoksid 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. Udjel karboksihemoglobina u krvi pušača je od 4 do 5 % prije dodatne izloženosti (tablica 4.)



Tablica 4. Klinički učinci karboksihemoglobina

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

Kronični učinci djelovanja ugljik-monoksida očituju se najviše na organima osjetljivim na pomankanje kisika – srcu i krvnim žilama. Na kardiovaskularni sustav djeluju i oksidansi, sumpor – dioksid i lebdeće čestice, te kadmij koji uzrokuje povišeni krvni tlak.

Onečišćenje organskog podrijetla, na primjer bakterije, virusi, gljivice, pelud, svojim zaraznim, antigenim i toksičnim svojstvima može izazvati zarazne bolesti (Tuberkulozu, ospice), bolesti preosjetljivosti (alergijsku upalu sluznice dišnog sustava) i akutne i kronične toksične učinke.

#### 5.4. Rak

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. To su:

- organske kancerogene tvari (policiklički aromatski ugljikovodici – PAU, benzo(a)piren,
- potencijalno karcogene kovine i njihovi spojevi (berilij, arsen, krom, kadmij, nikal, itd.),
- azbest,
- radon.

Onkogeno aktivne kemijske tvari napadaju površinu kože i pluća, a mogu prijeći i u unutarnja tkiva i napasti unutarnje organe. Međusobnim djelovanjem kemijske tvari i regenerativne makromolekule deoksiribonukleinske kiseline ljudskog organizma stanica može ostati zdrava, pretrpjati oštećenje koje se prenosi na potomstvo ili biti tako oštećena da postane nesposobna za život.

Najbolje proučen predstavnik skupine spojeva policikličkih aromatskih ugljikovodika je benzo(a)piren koji nestaje nepotpunim izgaranjem organske tvari, a već 1775. godine je povezan uz nastanak karcinoma u dimnjačara koji su mu izloženi u svojem poslu. Višestruko je potvrđena mogućnost da izazove plućni rak u pokusnih životinja. Ipak, smatra se da je benzo(a)piren odgovoran samo za mali dio (oko 9%) kancerogene aktivnosti kondenzata ispušnih plinova jer ona ovisi i o sastavu smjese ugljikovodika kojih djeluju, kao i o vrsti otapala.

Učinci ostalih kancerogena u zraku: plinova – bisklormetil-etera, vinikloridmonomera, kovina – nikala, berilija, kroma, arsena i kadmija te azbesta proučavali su se na mjestima gdje im je koncentracija veća zbog određenog prirodnog procesa. Rezultati tih ispitivanja upućuju na potrebu strogog nadzora i održavanja što niže koncentracije tih potencijalno kancerogenih onečišćenja u zraku, kako bi se opasnost od raka smanjila.

Podaci epidemioloških studija o učestalosti raka u radnika na poslu izloženih policikličkim aromatskim ugljikovodicima su prijeporni. Također su vrlo oskudni epidemiološki podaci o povezanosti raka kože, probavnog sustava, prostate, mokraćnog mjehura s općim onečišćenjem zraka. U relativno niskim koncentracijama PAU dalje od njihova izvora rizik od raka pluća je malen, ali je 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 /149/ stopa smrtnosti od raka pluća bila je za nepušače u gradu dvaput veća nago 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.

## 5.5. Utjecaj onečišćenja zraka na okoliš

Raznovrsno onečišćenje ubačeno u zrak tik uz tlo ili u visini rasprostire se atmosferom nošeno zračnim strujanjem. Mnoge onečišćujuće tvari na svojem putu podliježu kemijskim reakcijama, često uz djelovanje Sunčeve svjetlosti, a neke se spajaju s vodenom parom, česticama oblaka ili oborina. Reakcije su pri višoj temperaturi 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. 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. Napokon, 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.

## 5.6. Promjene u tlu

O vrsti onečišćenja, fizičko-kemijskim svojstvima tla i vrsti vegetacije ovisi što će se s onečišćenjem dogoditi kada se staloži na tlu. U blizini prometnica talože se kovine olovo, kadmij i cink. Dio tih teških kovina, koji se nije zadržao na bilju ili kroz pući ušao u biljke, dopijeva u tlo i odatle 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. 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 trovrtni, tj. kationi aluminijski, manganski, željezni, 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. Te otrovne 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, pa je prirodna obnova šuma sjemenjem oslabljena.

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. Prema /188/ 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.

#### 5.7. Promjene u vodi

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. 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 aluminija, 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 kalcij karbonata 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 poveća kiselost što negativno djeluje na sve životne procese. Posljedica je pomor riba i nestajanje nekih vrsta biljnog planktona, zbog čega voda postaje prozirnija.

## 5.8. Utjecaj na biljke

Biljke su vrlo osjetljive na onečišćenje iz zraka. Na lišću nataložene čestice usporavaju fotosintezu i 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 oblikovanje pupova na vršcima crnogoričnih grančica, smetanje u reproduktivnim procesima, povećano ugibanje crnogoričnih sadnica. Spomenimo i posebno djelovanje nekih onečišćujućih tvari.

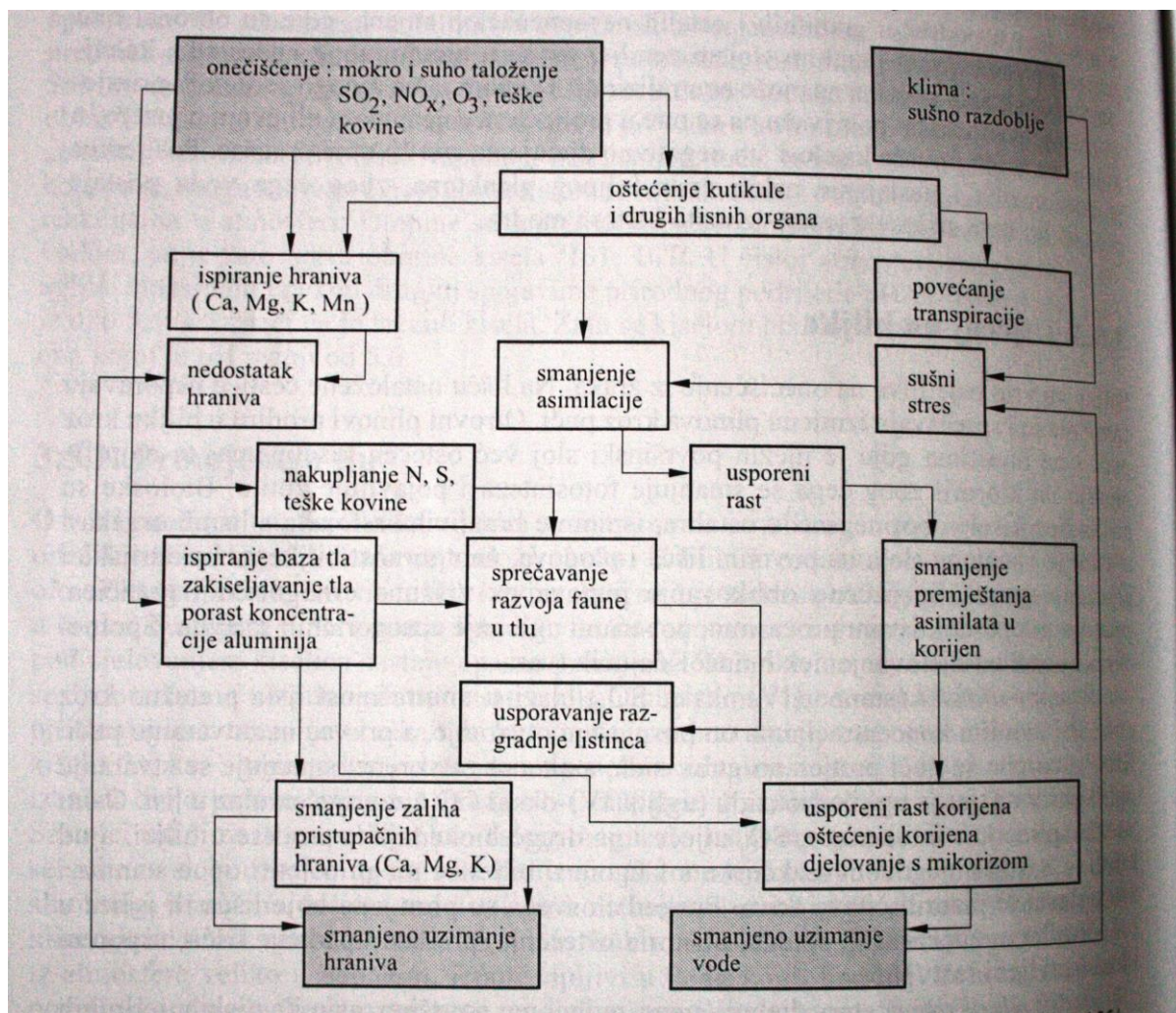
*Sumpor-dioksid* (sumpor (IV)-oksid,  $\text{SO}_2$ ) ulazi u unutrašnjost lista pretežno kroz pući. Pri manjim koncentracijama on pospješuje otrovanje, a pri većim zatvaranje pući. Kroz otvorene se pući pretjerano gubi voda, a ako su zatvorene, smanjuje se stvaranje ugljikohidrata, jer je ugljik-dioksidu (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 blijedo zelenu, žućkastu ili smeđu, obamrla oštećenja, prerano opadanje lišća, usporeni ili zaustavljeni rast.

*Dušikovi oksidi* štetno 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 po pravilu nastaju biokemijske i fiziološke promjene koje umanjuju vitalnost drveća i njegovu otpornost na nepovoljne vremenske i biotičke činitelje.

*Ozon* ( $\text{O}_3$ ), za razliku  $\text{NO}_2$  djeluje uglavnom samo danju. Kada ga lišće upije, on utječe 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* ( $\text{Cl}_2$ ) uzrokuje opadanje lišća, a *fluorovodik* (HF) oštećuje lisne rubove. Spojevi fluora općenito su vrlo opasni za vegetaciju. Od *peroksiacetilnitrata* donja površina lišća postaje srebrna ili brončana. *Etin* (acetilen,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ) sprečava 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.

Treba znati da u prirodi raznovrsne tvari djeluju uglavnom istodobno, što pojačava njihove negativne učinke. Veoma je štetno zajedničko djelovanje plinova  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  i  $\text{O}_3$ , kiseline oborine i teških kovina (slika 7.). Treba naglasiti da su biljke pri višoj temperaturi osjetljivije na onečišćenje.



Slika 7. Međusobno djelovanje unutar šumskih ekosustava opterećenih onečišćenjem  
Izvor: <http://www.sumari.hr/sumlist/online.asp?gb=B201113&lng=>

Za „umiranje šuma“, koje su početkom 80-ih godina mnogi pripisivali isključivo kiseloj oborini zbog sumpor-dioksida, utvrđeno je da nastaje zajedničkim djelovanjem više nepovoljnih činitelja. No dalje se mišljenja istraživača o tome donekle razlikuju. Spomenut ćemo neka. Urlich već 1982. godine smatra da teške kovine mnogo pridonose ugibanju drveća u gradovima. Prpić privatno pismenim priopćenjem, 1993 navodi da sam mehanizam još nije dovoljno objašnjen, ali je očito da su glavni krivci za umiranje šuma mnogi otrovi (čvrsti,

plinoviti i tekući otpad, pesticidi, deterdženti, umjetna gnojiva i dr.) zajedno s nepovoljnim vremenom koje se ponavlja više uzastopnih godina. U izvještaju za njemačku skupštinu tadašnje saznanje opisano je ovako:

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. Pokazalo se da amonijak i sumpordioksid 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.

Prema njemačkom fitopatologu O. Kandler (Plant Disease 1990/vol. 74) pretpostavlja se da je bolest „umiranje drveća“ povezana prije svega s nekim vremenskim i biotičkim činiteljima, a ne s onečišćenjem zraka. Tu pretpostavku potkrepljuje činjenica da su se neke bolesne šume u Njemačkoj oporavile, iako onečišćenje zraka očito nije smanjeno.

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 sl. ili mlijekom, jajima i mesom te iznutricama životinja koje se hrane tim biljem. Zato je u Europi zabranjena za prehranu ljudi i stoke te za proizvodnju gnojiva svaka upotreba biljke koje rastu do 100m od prometnijih cesta.

## 5.9. Utjecaj na životinje

Pouzdana je da sve onečišćujuće tvari koje štete ljudskom zdravlju, šteti i životinjama. Zna se da pri akutnim onečišćenjima zraka stradaju ptice u krletkama, perad, psi mačke, svinje i stoka. Za poznatog londonskog smoga 1952. godine od 351 životinje na izložbi, koja se tada održavala, 14 ih je uginulo ili moralo biti ubijeno, a 52 su oboljele. Istodobno su mnoge životinje u zoološkom vrtu imale bronhitis i upalu pluća.

U prirodi su se zbog onečišćenja iz zraka dogodile velike i nagle promjene. Na primjer, u mnogim jezerima Europe i Sjeverne Amerike više uopće nema riba i ni na koji se način ne

moгу ponovno uzgojiti. Ustanovljeno je da mnoge vrste slatkovodnih riba nestaju zbog kiselosti i povećane koncentracije aluminiја, kad se pH-vrijednost vode spusti ispod 5,0. Osobito su osjetljiva riblja jaja i mlаđ. Slično je i s vodozemcima, tj. žabama i daždvenjacima. Oni 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 ima izobličениh primjeraka.

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. Tako ptice pjevice što žive blizu kiselih jezera u sjevernoj Europi nesu manje jaja. Ljuska jaja je mekana ili je nema, a manji je i udjel izležениh ptića. Budući da takve pojave nisu nađene u ptica što žive duboko u šumi ili uz neutralna jezera, one se pripisuju trovanju ptica aluminijem preko kukaca kojima se hrane. Naime, kukci koji nisu preosjetljivi na kiselost izrazito se namnože kad u jezerima više nema riba. 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, divljač i ptice s predjela jakog taloženja teških kovina nakupljaju otrove najviše u unutarnjim organima, a djelomično ih izlučuju mlijekom, odnosno jajima. U šumama blizu velikih industrijskih postrojenja u Poljskoј trofejne su vrijednosti jelenskih rogova smanjene, smatra se, zbog teških kovina i kiselog taloženja.

Pesticidi djeluju ovisno o svoјem 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. Ako je životinja dulje izložena djelovanju nekih pesticida, pojavljuju se oštećenja jetara i bubrega. Neki pesticidi djeluju kao otrov na plod, odnosno na mladunčad jer lako proizlaze kroz placentu i izlučuju se u mlijeku.

#### 5.10. . Djelovanje na materijale

Onečišćenje iz zraka loše djeluje na mnoge materijale koje čovjek proizvodi ili upotrebljava. Na primjer, razara papir i kožu, te reagira 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. 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. Na cisternama je zabranjena uporaba olovnih cijevi zbog njihova otapanja u kiseloj kišnici. No vjerojatno je najpoznatije štetno djelovanje kiselina u gradovima. One pospješuju koroziju kovina, a otapanjem troše vapnenac, mramor, beton i neke druge tvari. Može se reći da kiselo taloženje iz atmosfere napada građevinske objekte i materijal – čelične mostove, oluke od pocinčanog lima, bakrene vodovodne cijevi, nadgrobne spomenike. Velike štete nastaju i razaranjem stari kulturnih spomenika-kipova, građevina, fasada i fresaka, koji predstavljaju neponovljivo nasljeđe iz prošlosti.

## **6. MJERE ZA ZAŠTITU I UNAPREĐENJE KAKVOĆE ZRAKA**

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 područjima čistog zraka provode se zaštitne mjere da 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 nego se odobri, proračunati mogući utjecaj na okoliš.

U zaštićenim područjima, npr. prirodnim rezervatima i rekreacijskim područjima, uvjeti su veoma strogi, a 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 npr. zamjenom ugljena plinom, uvođenjem daljinskoga grijanja, organizacijom djelatnog 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, ali se postupci za poboljšavanje kakvoće zraka moraju provest hitro i temeljito.

Prema podacima o razini koncentracije SO<sub>2</sub>, u hrvatskim gradovima za 1990./1991. godinu samo bi Rijeka bila svrstana u onečišćeno područje, jer su koncentracije SO<sub>2</sub> prelazile propisane vrijednosti, a Zagreb je bio na samoj granici. No glede lebdećih čestica Zagreb pripada u onečišćeno područje (kao i Solin, Koromačno i industrijski dio Pule, tj. sva četiri mjesta gdje se lebdeće čestice mjere ). Taj primjer najbolje pokazuje koliko je važno da se u svakom mjestu mjeri ono onečišćenje koje je tamo kritično, jer inače zaključci mogu biti pogrešni.

Neke zemlje imaju posebne propise za takozvane epizodne situacije, tj. kada su u velikim gradovima ili industrijskim 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.

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.

Iskustvo je, međutim, pokazalo da 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. I napokon, takvim se mjerama odvlači pozornost građana od glavnih zadataka, a to 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

#### 6.1. Strategija smanjenja onečišćenja – održivi razvoj

Onečišćenje je multidisciplinarni problem, a najbolje bi i najefikasnije bilo da nema emisije, a ako je to nije moguće, barem pokušati smanjiti emisiju tj. dobro upravljati:

- 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).

Zaštita i smanjenje štetnog utjecaja onečišćenja na okoliš osnovni je cilj istraživanja kvalitete zraka.

## 6.2. Kontrola emisije

*Zakonske norme* – granična vrijednost emisije, značajan meteorološki problem.

*Zakonske norme* – granična vrijednost emisije, inženjerski i ekonomski problem.

*Planirana izgradnja* – studije utjecaja na okoliš, važna uloga meteorologije.

Uloga meteorologa u kontroli onečišćenja atmosfere:

- mogu definirati izvore onečišćenja na nekom području, područje utjecaja poznatog izvora onečišćenja,
- pomažu kod određivanja visine dimnjaka velikih izvora,
- pomažu u urbanističkom planiranju predlaganjem lokacija izvora tako da oni imaju najmanji mogući utjecaj,
- definiraju epizode nepovoljnih meteoroloških uvjeta u kojima treba smanjiti emisiju,
- definiraju lokaciju postaja za mjerenje kvalitete zraka,
- osiguravaju i interpretiraju meteorološke i klimatološke baze podataka,
- izrađuju meteorološke analize podataka kvalitete zraka.
- 

## 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 (PHARE 2006).

Ukupno 48 automatskih mjernih postaja za trajno praćenje kvalitete zraka s ciljem zaštite ljudskog zdravlja i eko-sistema od štetnog utjecaja onečišćenja

## 7. ZAKLJUČAK

Problem onečišćenja zraka i negativnih utjecaja onečišćenja na čovjeka postoji već nekoliko stoljeća, no sve kritičnije postaje zadnjih nekoliko desetaka godina, a nužna pozornost ovom problemu nije se pridavala sve dok nekoliko katastrofalnih nesreća nisu prouzročile akutne bolesti, pa 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, postavlja se pitanje: „Trebaju li ekologija i dalje biti nauka kojoj će se profesionalno posvetiti pojedinac ili je zaštita životne sredine i prirode obaveza svakog građanina naše planete?“ Da bi se smanjilo onečišćenje zraka i tako spriječili mnogobrojni štetni učinci na čovjeka i njegov okoliš, trebalo bi promijeniti uvriježeni stav prema ekonomskom standardu i socijalnim ciljevima, te obzirno i dogovorno početi upotrebljavati prirodna dobra, mehanička sredstva i energiju.

Onečišćenje zraka, nažalost postaje svjetski problem i globalna opasnost za sve stanovnike planete.

## 8. POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Vertikalni prikaz atmosfere.....   | 4  |
| Slika 2. Kruženje onečišćenja u atmosferi- izvori onečišćenja (emisija) - atmosfera - receptori (imisija) ..... | 12 |
| Slika 3. Širenje štetnih primjesa u sloju ispod podignute inverzije .....                                       | 18 |
| Slika 4. Rasprostiranje čvrstog i plinovitog onečišćenja iz dimnjaka.....                                       | 25 |
| Slika 5. Najčešće onečišćujuće tvari u zraku i čovjekov obrambeni sustav-model .....                            | 27 |
| Slika 6. Biološki odgovori na izloženost onečišćenju.....   | 28 |
| Slika 7. Međusobno djelovanje unutar šumskih ekosustava opterećenih onečišćenjem.....                           | 37 |

## 9. POPIS TABLICA

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1. Volumni udio pojedinih plinova u zraku.....  | 4  |
| Tablica 2. Pokazatelji onečišćenja zraka od glavnih izvora u naseljenim mjestima.....                                   | 16 |
| Tablica 3. Podrijetlo onečišćujućih tvari, njihove koncentracije u naseljenim područjima i njihova sudbina u zraku..... | 17 |
| Tablica 4. Klinički učinci karboksihemoglobina.....   | 35 |

## 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
- [4] <http://www.biosvijest.com/>
- [5] <http://dnevnik.hr/vijesti/zdravlje/oneciscenje-zraka-ubija-dva-milijuna-ljudi-godisnje.html>
- [6] <http://www.zakon.hr/z/269/Zakon-o-za%C5%A1titi-zraka>
- [7] <http://www.slideshare.net/ninich/zrak-i-sastav-zraka>