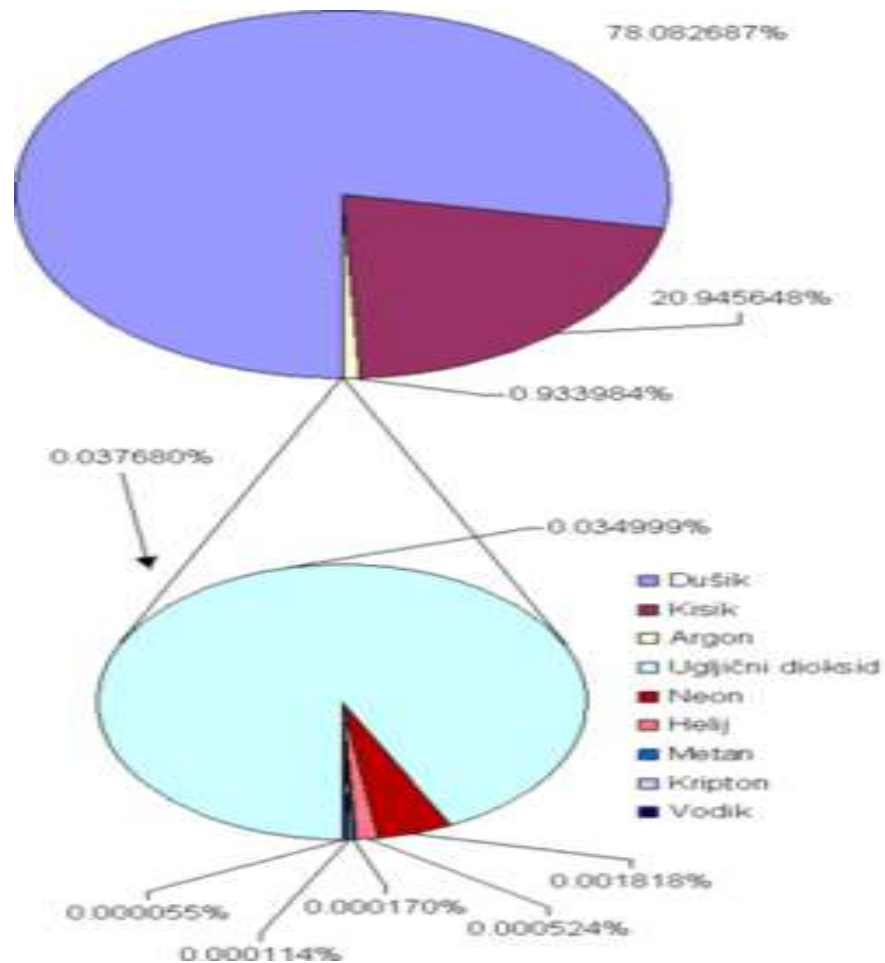


2.0. Zagađivanje i zaštita atmosfere

- **Atmosfera** je zemljin omotač debljine 1.000 km na Ekvatoru i 800 km na polovima, a unutar koga su slojevi različite debljine, sastava i temperature.
- **Uloga:** štiti živa bića od negativnih ultraljubičastih zraka i sadrži vazduh koji udišemo.

Sl. 1. Sastav vazduha



Sastav atmosfere prema NASA:

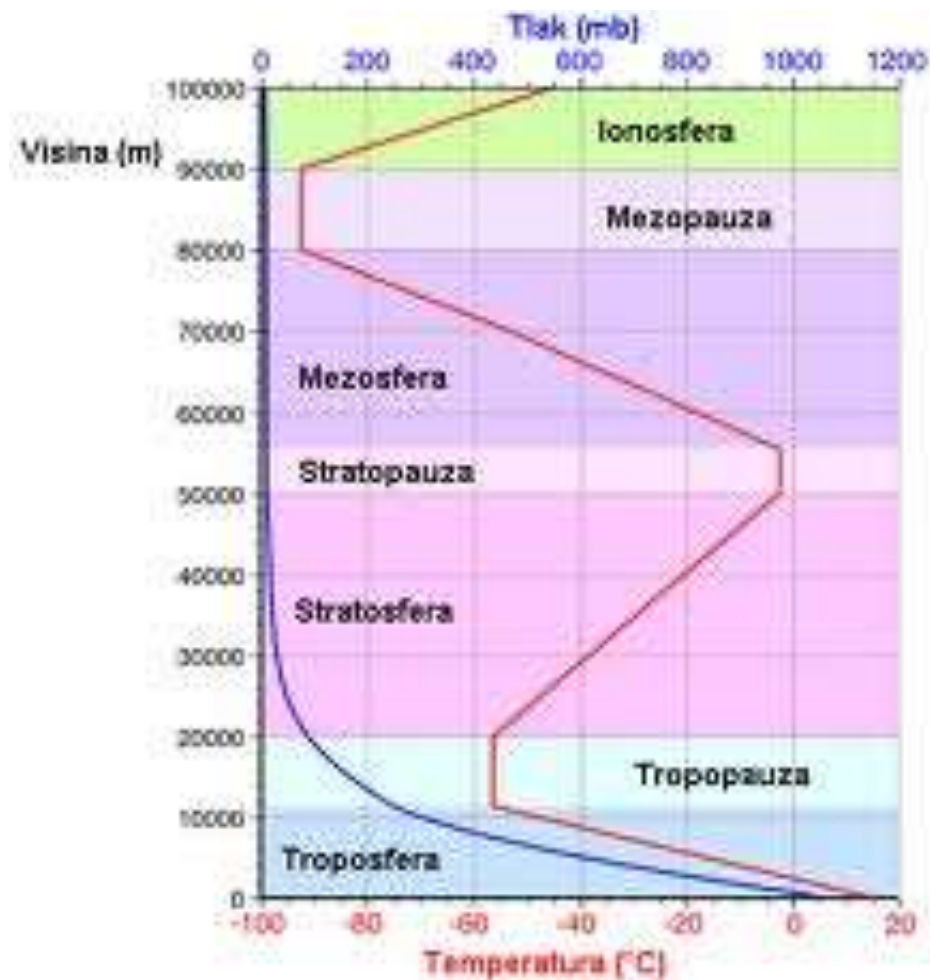
- Azot - 78.084 %
 - Kiseonik - 20.946 %
 - Argon - 0.9340 %
-

99.964 %

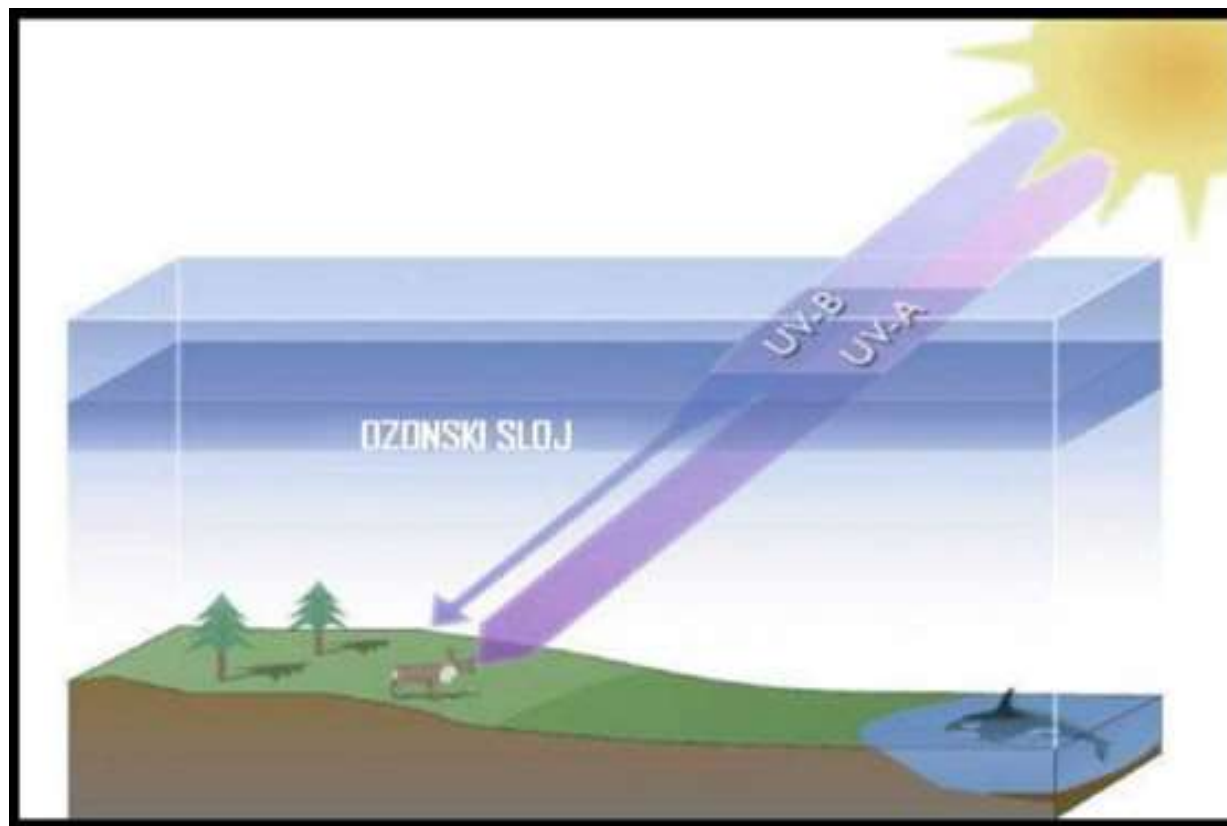
- ostali elementi - 0.036 %
- vodena para - do 4 %
- (CO_2 - 360 ppm) - **ppm** ((jedan) deo na milion)
označava milioniti deo jedne celine, i koristi se
za vrlo velika razblaženja.

- Atmosferski slojevi:
- **Troposfera:** od površine do 7 km ili 17 km; temperatura se smanjuje s visinom.
- **Stratosfera:** od 7–17 km do oko 50 km, temperatura se povećava s visinom - (**Ozonski sloj**)
- **Mezosfera:** od oko 50 km do 80–85 km, temperatura se smanjuje s visinom.
- **Termosfera:** od 80–85 km do 640 km, temperatura se povećava s visinom → prelazi u **Egzosferu** → do nekoliko hiljada km)
- Granice među tim slojevima nazivaju se: tropopauza, stratopauza i mezopauza.
- Prosečna temperatura atmosfere na površini Zemlje iznosi 14 °C.

Sl. 2. Atmosferski slojevi



Sl.3. Ozonski omotač ili ozonosfera, približno 10-50 km, u zoni stratosferskog ozona



Zagađenje atmosferskog vazduha

- **Aerozagađenje ili zagađenje vazduha** - podrazumeva prisustvo gasova i drugih sadržaja u vazduhu koji mu nisu svojstveni po prirodnom sastavu.
- **Emisija** podrazumeva nivo koncentracije zagađujućih supstanci na mestu gde nastaju.
- **Imisija** je nivo koncentracije zagađujućih supstanci kao rezultanta svih emisija na određenom području.

Sl. 4. Emisija (levo) i imisija u Pančevu (desno)



Izvori zagađujućih supstanci

- Izvori aerozagađivača su podeljeni na:
 - prirodne i
 - veštačke (antropogene).

- Prirodni izvori aerozagađenja: vulkanske erupcije, zemljotresi, oluje, šumski požari, izbijanje termalnih voda, geomorfološke karakteristike područja i klimatsko meteorološki faktori.
- Prirodni polutanti se eliminišu putem: samočišćenja, razblaženja, disperzije, taloženja na površinu Zemlje i hemijskim reakcijama neutralizacije.
- Ovaj vid zagađenja predstavlja mali deo ukupnog zagađenja.

- **Veštačko (antropogeno)** aerosagađenje nastaje delovanjem čoveka i čini najveću količinu aerosagađenja.
- **Početak:** u praistoriji - pronalazak vatre
- **Izvori:** raznovrsne industrijske operacije, proizvodnja energije iz fosilnih goriva za rad, kao i za zagrevanje prostoriya i pogon motornih vozila.
- **Veštački izvori aerosagađenja se dele na:**
 - a) stacionarne ili tačkaste izvore i
 - b) mobilne izvore.

- Stacionarni izvori zagađivača: industrijska i kućna ložišta na fosilna goriva (ugalj, nafta, zemni gas).
- Mobilni izvori: motorna vozila.
- Sagorevanjem benzina i drugih naftnih derivata oslobađaju se: čađ, azotni oksidi, sumporni oksidi, ugljen-monoksid, organski peroksidi, olovo, kadmijum i dr.

- **Polutanati antropogenog porekla se prema nastanku, kvalitativnim svojstvima i efektima dele na:** - primarne i
- sekundarne.

Primarni polutanti se emituju direktno iz poznatih izvora u atmosferu (jedinjenja sumpora, ugljenika, azotni oksidi, teški metali, halogena jedinjenja, čvrste i tečne čestice i radioaktivne materije).

- **Sekundarni polutanti** nastaju u atmosferi interakcijama primarnih polutanata međusobno, ili njihovim reakcijama sa uobičajenim sastojcima vazduha.
- Vrsta sekundarnog polutanta, kao i brzina njegovog nastajanja zavisi od reaktivnosti supstanci, koncentracije i uslova u kojima se odvija hemijska reakcija (temperatura, vlažnost vazduha, vazдушna strujanja, radijacija).

- ***Sekundarni polutanati u atmosferi mogu nastati:***

- **termalnim reakcijama** (reakcije sa gasnom fazom i sa tečnom fazom na površinama kapi tečnosti) i
- **fotohemijskim reakcijama** (disocijacija i ekscitacija molekula u prisustvu sunčeve svetlosti).
- Proizvodi fotohemijskih reakcija: aldehidi, ketoni, oksidanti, i PAN (peroksiacetil nitrat).

Smog

- **Smog** nastaje u uslovima visoke koncentracije polutanata (npr. gradska sredina + saobraćaj + industrijske zona) i maglovitom i mirnom vremenu (jesen, zima), i on je u vidu crnih dimova.
- **Smog** predstavlja kombinaciju štetnih gasova, čestica i čađi.

- Termin smog potiče engleskih reči: *smoke* (dim) i *fog* (magla).

- **Tipovi smoga:**

- kiseli („londonski“) i
- fotohemijski smog.
- Kiseli ili „londonski“ smog nastaje pri visokom nivou zagađujućih supstanci i visokoj relativnoj vlažnosti.
- Fotohemijski smog se javlja u sunčanim i suvim sredinama u kojima su visoke koncentracije izduvnih gasova automobila, tj. azotovih oksida i ugljovodonika (pr. Los Anđeles, Njujork).

Sl.5. Londonski smog (levo) i Fotohemijski smog - New York (desno)



- Visoke peći u železarama emituju: SiO_2 , PbO , ZnO i dr.
- Emisije termoelektrana: SO_2 , NO_x , fenole, metale, leteći pepeo, ugljovodonike i dr.
- Naftna industrija preradom sirove nafte oslobađa: ugljovodonike, sumpor-dioksid, vodonik-sulfid, ugljen-monoksid i azotne okside.
- Motori sa unutrašnjim sagorevanjem emituju: ugljen-monoksid, ugljovodonike, sumpor-dioksid, azotne okside, olovo (ranije korišćen kao aditiv goriva), čestice čađi, aldehide i ketone.

- **Smanjenje zagađenja emisija termoelektrana:**

- poboljšanjem tehnoloških procesa i
- prečišćavanje otpadnih emisija.
- **Skruberi**: suvi i mokri
- **Suvi skruberi** zadržavaju gasove preko sorpcionog granularnog materijala.
- **Mokri skruberi** uklanjaju SO_2 , NO_x i čestice.
- **Sorpcioni materijal**: krečnjak, jedinjenja magnezijuma, natrijuma i amonijak.
- **Specijalni apsorberi**: aktivni ugalj (uklanja ugljovodonike), silikagel (odstranjuje vlagu i H_2S), zeolit (koristi se za dobijanje čistih gasova).
- **Sorpcija** predstavlja apsorpciju (upijanje) i adsorpciju (taloženje na površini).

Upotreba olovnog benzina

- Upotreba olovnog benzina je 1986. godine zabranjena u SAD.
- Olovni benzin je zabranjen u svim evropskim zemljama (osim u Srbiji i Crnoj Gori), a još se uvek proizvodi u Latinskoj Americi, Aziji i Africi.
- Upotreba olovnog benzina je napuštena u Makedoniji 2004. god., u Hrvatskoj 2006. god., u Albaniji 2007. god., u Bosni i Hercegovini je najavljeno 2010. godine, u Crnoj Gori su pokrenute debate.

- Olovni benzin ima 400 miligrama olova po litru, što je čak 13 puta više nego što ima bezolovno gorivo.
- **Akutni efekti olova kod čoveka:**
 - Smrt deteta - ako koncentracija olova pređe vrednosti od $125 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ u krvi (1 μg je ravan milionitom delu jednog grama);
 - Oštećenje mozga kod odraslih pri koncentracijama od oko $100 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ krvi ili $80 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ krvi kod dece;
 - Gastrointestinalne smetnje kod koncentracije olova u visini od $60 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ krvi.

- **Hronični efekti (dugotrajni efekti):**

- Anemije kod odraslih za koncentracije olova u krvi koje se kreću u intervalu od 50 do 80 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$;
- Neurološke smetnje kod odraslih za koncentracije olova u krvi koje se kreću u intervalu od 40 do 60 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$;
- Smanjena reproduktivna moć kod odraslih muškaraca za koncentracije olova u krvi koje se kreću u intervalu od 40 do 60 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$;
- Koncentracije od 10 do 30 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ kod dece izazivaju smanjenje koeficijenta inteligencije, usporavanje rasta, slabljenje sluha i slično, dok kod odraslih (kao i kod dece) ove koncentracije oštećuju bubrege, nervni i imuni sistem.

Vlada Republike Srbije je 2010. god. donela **ODLUKU o utvrđivanju Nacionalnog programa zaštite životne sredine**, koja je u delu vezanom za **Transport** predvidela Kontinuirane ciljeve za period od 2010 – 2019. godine, u kom predviđa između ostalog i :

- isključivanje iz upotrebe olovnog benzina;
- poboljšanje kvaliteta goriva prema odgovarajućim standardima.

- Više od 50.000 vozača u Srbiji voze kola starija od 25 godina na olovni benzin.
- Olovo se kao aditiv koristi u obliku tetraetil olova, i njegova uloga je antidetonatorna, tj. obezbeđuje ravnomerno sagorevanje goriva i vazduha, i sprečava mehanička oštećenja motora.

- **Rešenja za smanjenje štetnih emisija prilikom rada saobraćajnih sredstava bi mogla biti sledeća:**
 - pravljenje motora sa manjom kubikažom,
 - savremenije mašine koje koriste bezolovni benzin,
 - korišćenje katalizatora (neutrališu sve zagađujuće materije koje emituju saobraćajna sredstva, osim olova),
 - uticati na podizanje svesti o korišćenju gradskog saobraćaja, podzemnih železnica, tramvaja (za prevoz većeg broja ljudi).

Disperzija zagađivača u atmosferi

- **Disperzija**-emitovani zagađivači iz primarnih izvora transportuju se u neizmenjenom obliku (kao primarni) ili izmenjenom (sekundarni polutanti) na manja ili veća udaljenja, pri čemu se određeno vreme zadržavaju u atmosferi, a zatim obaraju na zemljinu površinu, i dolaze u kontakt sa receptorima (zemljište, biljke, životinje, ljudi, materijali).
- **Rezidentalno vreme** predstavlja vreme zadržavanja zagađujućih supstanci u atmosferi, što zavisi od meteoroloških uslova, veličine čestica, njihove reaktivnosti, hemijskog sastava atmosfere i dr.

Sl. 6. Disperzija aerozagađivača



- Disperzija (transport) aerozagađivača zavisi od:
 - vrste izvora emisija,
 - konfiguracije zemljišta i
 - meteoroloških uslova područja.
- Emisije zagađenja ne poznaju državne granice, već se transportuju na velike udaljenosti, čak i na druge kontinente (pr. emisije zagađenja iz Nemačke, Poljske i Velike Britanije ugrožavaju Skandinaviju; emisije iz SAD ugrožavaju Kanadu, i dr.).

Inverzije

- **Inverzije:** temperaturne i stagnacione
- **Temperaturne inverzije** - predstavljaju zarobljen sloj toplog vazduha između dva sloja hladnog vazduha, one povećavaju koncentracije zagađivača u prizemnom sloju.
- **Stagnacione inverzije** - javljaju se iznad gradova i industrijskih zona smeštenih u dolinama (respiratorna oboljenja ljudi).

Sl. 7. Temperaturna inverzija (levo) i stagnaciona inverzija (desno)



- **Zagađujuće supstance mogu da se razlažu:**
 - hemijskim reakcijama (uz uzajamno delovanje svetlosti, UV, temperature, padavina) i
 - biološkim putem (uz pomoć mikroorganizama kao razlagača).
 - **Ne razlažu se:** plastika i pesticidi.

Posledice zagađenja atmosfere

- **Promene karakteristika atmosfere:**
 - svetlosnog režima,
 - klime i vremena,
 - atmosferskih procesa (mikroklima).

Svetlosni režim

- Aerozagađivači smanjuju sunčevu energiju u urbanim sredinama za oko 20 % i vidljivost za oko 70 %.
- Na vidljivost utiču:
 - zagađenost vazduha,
 - njegova vlažnost,
 - vetrovi i
 - temperaturne inverzije.

Sl. 8. Promena svetlosnog režima u Pekingu



Klima

- **Klima** – predstavlja režim tipova vremena, što podrazumeva nailazak, zadržavanje i potiskivanje vazdušne mase, novom fizičko-hemijski drugačijom vazdušnom masom.
- Klimatski elementi:
 - temperatura, - trajanje sunčeve insolacije,
 - vlažnost vazduha, - padavine,
 - oblačnost, - pravac, učestalost i jačina vetra.

Mikroklima gradova

- **Mikroklima** - klima na malom prostoru, u prizemnom sloju vazduha do 2m visine.
- Prosečne godišnje temperature u gradovima su više od okoline (za oko 0,3 % viša u gradovima nego u predgrađima).
- Vlažnost i strujanje vazduha su manji u gradovima nego u okolini.
- U gradovima je veća oblačnost, pojava magle i padavina, zbog velikog broja čestica prašine i drugih zagađujućih materija.

Sl.9. Mikroklima gradova



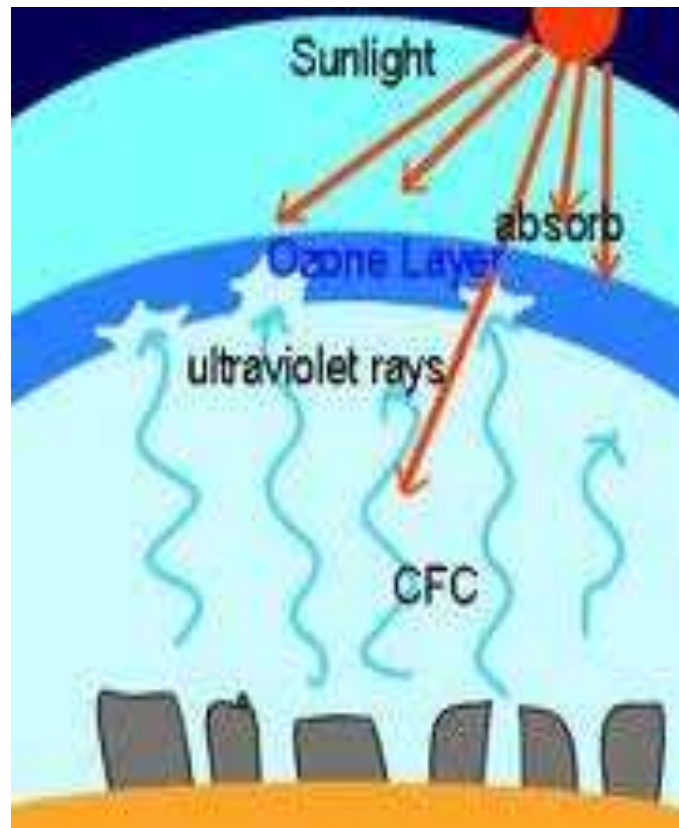
Degradacija ozonskog sloja

- **Ozonski sloj** ima ulogu da štiti živa bića od štetnog jonizujućeg ultraljubičastog zračenja.
- Najgušći ozonski sloj se nalazi na visini od 27 km, i to u koncentraciji od 4 – 8 ppm.
- Ultraljubičasto zračenje talasne dužine 200 – 280 nm, je najštetnije za čoveka.
- **Freoni** – hlorfluorougļjovodonici (1934. god.); nosači u sprejevima parfema, boja, lakova, pesticida i punjenja rashladnih uređaja.
- **Freoni → degradacija ozonskog sloja**

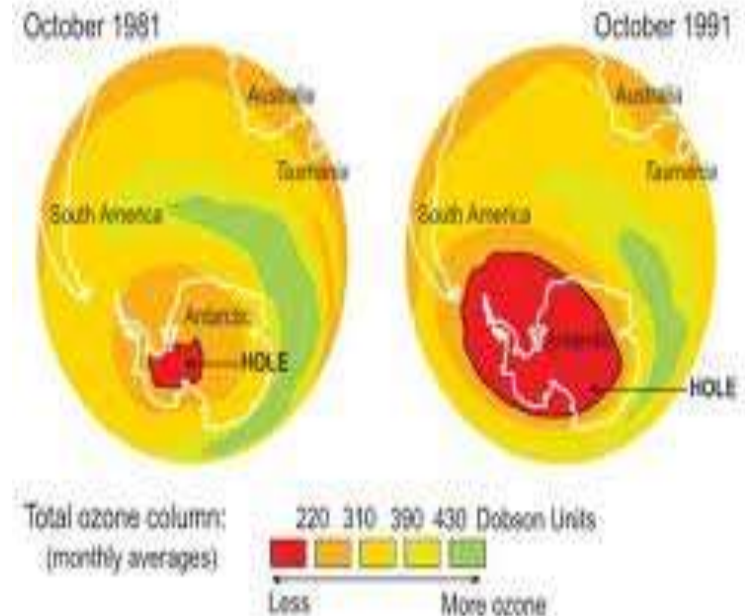
- Ultravioletno zračenje izaziva oboljenja i rak kože.
- Kod biljaka: oštećenja hlorofila i fitohormona, a štetno deluje i na plankton.
- U okviru programa UN zaštite životne sredine na sastanku u Montralu potpisan je Protokol (**Montrealski Protokol**) 1987. godine. Potpisnice ovog Protokola (92 države) obavezale su se da smanje proizvodnju freona za 50 % do 2000. godine.
- Predviđanja naučnika su da će se do 2045. godine dostići bezbedan nivo freona.

- Najmanje debljine je ozonski sloj na Antartiku (Južnom polu), gde postoje ozonske rupe veličine površine dve Evrope (oštećenja iznose oko 60 %, i traju do 90 dana).
- Američka svemirska agencija (NASA) je 08.09. 1998. god. registrovala najveću ozonsku rupu, iznad Antartika (27,2 miliona km²); veća je od površine Severne Amerike.
- Zimi ne pogoduju uslovi za fotohemijske reakcije stvaranja ozona; proleće i leto pogoduju.

Sl. 10. Uloga ozonskog sloja (levo) i degradacija ozonskog sloja (desno)



THE ANTARCTIC HOLE



- **U Srbiji**, u periodu od 1979-2006. god. **ozonske rupe** su se javile **9 puta** tj. jednom u tri i po godine;
- između novembra i februara;
- trajale maksimalno jedan dan (izuzetak 01-02.12.1999. god. trajala je 2 dana uzastopno).
- Montrealski protokol je pooštren dvema revizijama: prva u Londonu 1990., a druga u Kopenhagenu 1992. godine. Bude li se svet pridržavao odredbi iz Kopenhagena, ozonska rupa nad Antarktikom nestala bi oko 2060. godine.
- Po podacima iz 2006. god. godine smanjenje proizvodnje freona u odnosu na 1989. god. je iznosilo više od 95 % u svetu (Montrealski protokol (1987)).

Efekat staklene bašte

- *Efekat staklene bašte* predstavlja zagrevanje planete Zemlje nastalo poremećajem energetske ravnoteže između količine zračenja koje od Sunca prima i u svemir zrači Zemljina površina.
- Ovaj efekat predstavlja rezultat povećanja količine zračenja koje ne može od površine Zemlje da bude emitovano u svemir, već ga atmosfera upija i postaje toplija.

- Stakleni krov staklenika propušta kratkotalasne sunčeve zrake, koji se od površine Zemlje odbijaju kao dugotalasni, toplotni. Dugotalasne zrake stakleni krov ne propušta, već zadržava, i oni zagrevaju unutrašnjost staklenika.
- Ugljen-dioksid i drugi gasovi, čije su koncentracije povećane stvorile su omotač oko Zemlje, koji se ponaša slično krovu staklenika, tj. stvara uslove za povećanje temperature u prizemnim slojevima atmosfere.

- Fenomen „*staklene bašte*“ je prvi put uočen pre oko 100 godina.
- **Posledice zagrevanja planete koje se mogu očekivati:**
 - drastične klimatske promene (promena osnovnih klimatskih parametara, rasporeda padavina, nastajanja aridnih i pustinjskih predela) i
 - povećanje nivoa mora i okeana.
 - povećanje temperature za 2-3⁰ C može dovesti do otapanja leda na polovima (najugroženiji Grenland i Antartik), što bi dovelo do podizanja nivoa mora i okeana za 15-95 cm u sledećih 100 godina.

Sl. 11. Efekat staklene bašte



Kriza kiseonika

- Svi procesi sagorevanja praćeni su potrošnjom kiseonika.
- Sagorevanje fosilnih goriva u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem potroši više kiseonika nego čitava ljudska populacija.
- Danas autotrofne biljke sintetišu $3,8 \times 10^{11}$ tona kiseonika uz asimilaciju $5,2 \times 10^{11}$ tona ugljen-dioksida, tj. jedan hektar šume asimiluje 15 tona ugljen-dioksida, uz oslobađanje 11 tona kiseonika.

- **Uzroci krize kiseonika:** povećanje potrošnje fosilnih goriva, povećanje broja saobraćajnih sredstava, veće potrebe za električnom energijom, smanjenje vegetacijskog pokrivača, povećanje stanovnika na planeti, širenje naselja, saobraćajnica, industrijskih objekata, i dr.

ŠUME → FABRIKE KISEONIKA

PRAŠUME → PLUĆA PLANETE

Uticaj aerozagađenja na objekte i materijale

- Sekundarni polutanti (kisele kiše, O_3 , i oksidanati) oštećuju ili razaraju prirodne i sintetičke materijale, kulturne spomenike, instalacije i dr.
- Kisele kiše – sastoje se iz: H_2O , H_2SO_4 , HNO_3 i H_2CO_3 . Povećavaju rastvorljivost materijala, izvlače kalcijum i mermer pretvaraju u gips, stradaju fasade na građevinama, koroziraju materijali, destrukcija organskih jedinjenja, tekstila, stakla, kože, gume, električnih i drugih instalacija.

- Spomenik „Kleopatrina igla“- jedan od dva primerka ovog spomenika prenešen je 1880. god. iz Egipta u Njujork, gde je za 100 godina više oštećen nego za prethodnih 3000 godina.
- Zagađivači štetno deluju na: mikroorganizme, biljke, životinje i čoveka.
- U SAD je šteta zbog odsustvovanja sa posla, troškova lečenja, invalidskih penzija, čiji je uzrok aerozagađenje procenjena na 12 milijardi dolara godišnje.

Sl. 12. Spomenik Kleopatrina igla



Uticaj aerozagađenja na šumske ekosisteme

- Od ukupne kopnene površine Zemlje 1/3 zauzimaju šume.
- U Srbiji u strukturi šuma 61,8% zauzima bukva, 18,1% hrast (hrast kitnjak) i četinari 9,9%.
- Šumski ekosistemi su najsavršeniji ekosistemi u prirodi - **vrlo osetljivi**.
- **Šume**: proizvođači kiseonika, moderatori klime, stabilizatori strukture zemljišta, regulatori nivoa podzemnih voda, antierozivni faktor, i izvor su različitih sirovina.

- **Površine pod šumama se smanjuju** - krčenjem radi dobijanja kultivisanog zemljišta, izgradnje saobraćajnica, industrijskih objekata, neplanske seče, i dr. (svakog minuta nestane 20 ha šume).
- **Sušenje šuma**: bolesti, najezde insekata štetočina, nepovoljni faktori sredine, deficit u mineralnoj ishrani, nepovoljni klimatski faktori (sušna leta, hladne zime), i dr.

- **Faktori sušenja šuma**: - prirodni i
 - antropogeni.
- **Antropogeni**: greške u gajenju (uvođenje stranih vrsta na neodgovarajuća zemljišta), neadekvatno gazdovanje, loša nega šume, zakasnela proredba, neplanska eksploatacija i dr.
- **Osetljivost biljaka uzrokuju**: genetička svojstva, starost biljke, tip zemljišta, mineralni sastav podloge, klimatski faktori, nivo zagađenosti vazduha, kisele kiše, taloženje kiselina i azotnih jedinjenja.

- **Kisele kiše** zajedno sa biljnim izlučevinama izazivaju acidifikaciju zemljišta, deblokiraju toksični Al → inhibira rast korenovih dlačica.
- Zagađivači u zemljištu remete ravnotežu i dostupnost jona: K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} .
- Listopadno drveće je manje osetljivo nego četinari - manja lisna površina u odnosu na masu i kraći period ekspozicije zagađenju.

Sl. 13. Sušenje šuma uzrokovano kiselim kišama



• Prema stepenu oštećenosti šumski ekosistemi su klasifikovani u tri kategorije:

- I – kada šumski ekosistemi i zemljište apsorbuju manju količinu zagađivača, i ne pokazuju nikakve znake oštećenja;
- II – zbog apsorbovanih zagađivača nastaje redukcija fotosinteze i disanja, smanjena produktivnost, povećana osetljivost na bolesti;
- III – nastaju akutna oštećenja i smrt jedinke, menja se struktura ekosistema, smanjuje vodoodrživost zemljišta, pojačava erozija i menja lokalna klima.

- Zagađivači → menjaju fiziološke i biohemijske reakcije kod biljaka (fotosinteza, disanje, vodni režim, nivo metabolizma i aktivnost enzima).
- Mlade biljke osetljivije od starijih i biljke koje se nalaze na obodu šuma (jer su izložene većoj ekspoziciji zagađivača).
- Intenzitet apsorpcije zagađivača zavisi od: otvorenosti stoma, koncentracije zagađivača, temperature i vlažnosti vazduha (danju apsorpcija zagađivača je veća - stome su danju otvorene - koncentracija zagađivača je veća).

- Listopadne vrste - najosetljivije na SO_2 : *Acer pseudoplatanus* (javor) i *Betula verucosa* (breza), srednje osetljiva *Quercus robur* (hrast).
- Četinarske vrste - najosetljivije: smrča, bor i jela.
- Biljke sesilni organizmi (vezane za podlogu) - ne mogu primeniti vrednosti MDK koje su utvrđene za ljudsku populaciju.
- Primer: lišajevi su posebno osetljivi na zagađenje SO_2 od $30 \mu\text{gm}^{-3}$ (čovek $150 \mu\text{gm}^{-3}$).

AEROPOLUTANTI

Sumpor-dioksid (SO_2)

- Izvori sumpor-dioksida: - prirodni i
- antropogeni (90 %).
- Prirodni izvori: prirodni biološki procesi u vodi i na kopnu (H_2S), aktivnosti vulkana, isparenja iz mora i okeana.
- Antropogeni (veštački) izvori: sagorevanje fosilnih goriva, rad termoelektrana, rafinerije nafte, i dr.
- Severna hemisfera je izvor 70 % ukupnih količina SO_2 .

Sl. 14. Termoelektrana Kostolac



- Sagorevanjem nafte sa Srednjeg istoka, oslobađaju veće količine sumpora, od onih iz severne Afrike i Severnog mora.
- SO_2 se ne zadržava dugo u atmosferi, već se mokrim ili suvim taloženjem vraća na površinu Zemlje.
- Koncentracija u vazduhu zavisi od: disperzije, transformacija u sumpornu kiselinu i sulfate, apsorpcije od strane zemljišta, vegetacije i okeana (vlažnosti zemljišta i pH).

- **Suvo taloženje**: gasovi i čestice (obaranje na površinu planete, difuzijom, silom gravitacije i turbulencijom).
- **Mokro taloženje**: atmosferske padavine, (najčešće kisele kiše).
 - Sumporna kiselina je 20 puta jači zagađivač od sumpor-dioksida, i ona nastaje za 14 dana u atmosferi.

Biološki efekti zagađenja SO₂

- Sumpor - neophodni element gradi: aminokiseline - cistin, cistein i metionin; enzime, vitamine; alkaloida.
- SO₂ zauzima vodeću poziciju među zagađivačima prema ukupnoj emisiji, disperziji i biološkim efektima.
- Kod ljudi izaziva: iritaciju respiratornog sistema i oči, akutne kardiovaskularne bolesti, hronične opstrukcije pluća i astmatične napade.

- **Upotreba SO₂:**

- fungicid (drevni Egipat),
- za dezinfekciju napitaka (toksičan za mikroorganizme).

- **Apsorbcija SO₂ kod biljaka:**

- stome (folijarno) i
- kutikula.

Pogoduju apsorpciji: visok svetlosni intenzitet, visoka relativna vlažnost vazduha, vlažnost zemljišta i optimalna temperatura.

- **Biljke:** Niže koncentracije SO_2 → hronična oštećenja - hloroze listova (žučkaste, srebrnaste i bronzane).
- Veće koncentracije → suvozelene interkostalne i marginalne mrlje sa obe strane lista ispunjene tečnošću, koje sušenjem prelaze u nekrozne bele mrlje .
- Podela biljaka prema osetljivosti na SO_2 :
 - osetljive,
 - srednje osetljive i
 - otporne.
- Otpornije su biljke sa debelim listovima, pokrivene voskom i sa većim puferskim kapacitetom.

Uticaj SO₂ na metabolizam

- **Metaboličke promene:**

- biohemijske: menja nivo metabolita, aminokiselina, lipida, aktivnost enzima (povećava sadržaj slobodnih aminokiselina, a smanjuje sadržaj ukupnih proteina; smanjuje nivo ukupnih lipida; neke enzime inhibira, a druge aktivira) i
- inhibira fiziološke procese (disanje, fotosinteza, vodni režim).

SO₂ i drugi загаđivači

- **Interaktivni odnosi загаđivača:**
 - sinergistički (pojačavanje efekata) i
 - antagonistički (umanjenje ili poništavanje efekata).
 - Sinergistički: SO₂ - NO₂
 - Antagonistički: SO₂ – CO₂

Uticaj SO₂ na lišajeve i mahovine

- **Biondikatori** - lišajevi na zagađenje vazduha SO₂ reaguju smanjenjem gustine populacije (veće koncentracije dovode do njihovog potpunog iščezavanja tj. nastajanja „lišajskih pustinja“).
- **Mahovine** bioindikatori zagađenja atmosfere teškim metalima (akumuliraju ih) i sumpor-dioksidom. Prati se: iščezavanje osetljivih vrsta, gustina populacije (pokrovnost).

Sl. 15. Korasti lišaj *Xanthoria parietina* (levo) i
žbunasti lišaj *Usnea barbata* (desno)



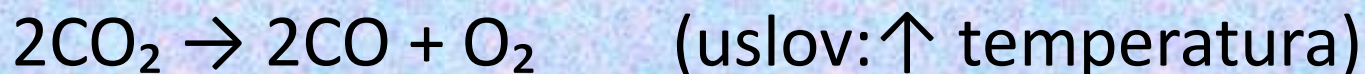
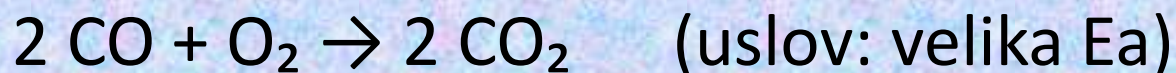
Vodonik-sulfid (H_2S)

- Antropogeni izvori: rafinerije nafte, industrija viskoznih vlakana i papira, i dr.
- Poluživot: od 2 do 48 sati, pri čemu se oksiduje do sumpor-dioksida i vode.
- Osobine: bezbojan, zagušljiv gas, miriše na pokvarena jaja.
- Čovek: izaziva asfiksiju (paralizom respiratornog centra); glavobolju, konjuktivit i nervne depresije.

Ugljen-monoksid (CO)

- **Prirodni izvori CO:** - dim vulkana, naslage uglja, močvare - raspadanja organskog materijala → metan → ugljen-monoksid (80 % CO nastaje od metana).
- Dekompozicijom ostataka žive materije oslobađa se ugljen-monoksid.
- **Veštački izvori CO:** nepotpuna sagorevanja ugljenika (peći, sagorevanja otpadaka, mašine sa unutrašnjim sagorevanjem, otvorene vatre).

- Emisija CO raste sa smanjenjem ili povećanjem brzine rada motora sa unutrašnjim sagorevanjem; pri brzini od 70 km/h je manja emisija, pri 120 km/h povećana.



- Zemljišne bakterije CO uključuju u metaboličke procese i oslobađaju metan i ugljen-dioksid.
- $\text{CO} + \text{hemoglobin} \rightarrow \text{karboksihemoglobin}$
- Čovek i životinje:
Oksihemoglobin/karboksihemoglobin (**asfiksija-gušenje**)

Sl. 16. Javne garaže (otvorenog i zatvorenog tipa)



- Koncentracija CO od 50-60 % u okružujućem vazduhu je smrtonosna, dok 80 % izaziva trenutnu smrt.
- Biljke: CO inhibira bakterijsku fiksaciju elementarnog azota u korenu deteline; izaziva prevremeno starenje i opadanje listova; inhibira ćelijsko disanje.
- Sinergizam: H_2S i NO_x .

Azotni oksidi (NO_x)

- Biogeni elementi: C, H, O i N (grade 95 % žive materije).
- Azot gradi: amino-kiseline, proteine, azotne baze i nukleinske kiseline.
- U vazduhu: azot-monoksid i azot-dioksid.
- U zemljištu: neorganska oksidovana jedinjenja nitrati i nitriti
- Ciklus kruženja azota: bakterije, gljive i više biljke.
- Azot se mora prevesti u amonijak, koji se dalje ugrađuje u molekule azotnih jedinjenja (aminokiseline, proteine, nukleinske kiseline).

Azot-suboksid (N_2O)

- **Azot-suboksid** - nastaje u zemljištu aktivnošću mikroorganizama putem denitrifikacije.
- **Denitrifikacija** – bakterije roda *Pseudomonas* u dubljim slojevima prevode nitrate i nitrite u molekule azota.
- Postojanost: oko 20 godina
- Dospeva u više slojeve atmosfere (stratosferu)
- Aerozagadenje: $\text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}$

Azot-monoksid (NO)

- **Prirodni izvori:** oksidativni proizvod metabolizma nekih bakterija.
- **Antropogeni izvori:** fosilna goriva, zatim sagorevanja u industriji, proizvodnja električne energije, rad motora sa unutrašnjim sagorevanjem (gde se pri visokoj temperaturi i pritisku elementarni azot oksiduje do NO; pri većim brzinama na otvorenom putu veća je emisija NO).

- Učešće u ukupnoj emisiji azot-monoksida procentualno izgleda ovako: transport (30%), termoelektrane (45%), industrija i domaća ložišta (25%).
- Azot-monoksid se dalje može oksidovati do azot-dioksida, nitratnih aerosola, a fotolizom i do gasovitog azota.
- Fotoliza – razgradnja pomoću sunčeve svetlosti.

Azot – dioksid (NO_2)

- **Emisija NO_2** : 50 % potiče od saobraćaja, 44% termoelektrana i industrije, a 6 % oslobađa poljoprivreda i sagorevanje čvrstih otpadaka; Azot-monoksid je nepostojan i vrlo brzo podleže oksidaciji do azot-dioksida u prisustvu ozona.
- **Osobine NO_2** : gas crvenkastobraon boje, oštrog mirisa (osetljiv već pri koncentraciji od 15 ppm), zadržava se oko tri dana u vazduhu.

- Toksičan je za živi svet, ali još toksičnija od njega su njegova sekundarna jedinjenja, azotna kiselina i peroksiacil-nitrat (PAN), iako je poluživot peroksiacil-nitrata oko 1 sat, on je vrlo toksičan za biljke.
- Obaranje iz vazduha: suvim i mokrim taloženjem (azotna kiselina).
- Amonijak se koristi za proizvodnju veštačkih đubriva (amonijum-nitrat), eksploziva, plastičnih masa, i punjenja za frižidere.
- Povećane koncentracije azota kod biljaka izizivaju: produžavanje vegetativne faze, smanjenje otpornosti na sušu i niske temperature, i akumulaciju neproteinskih azotnih jedinjenja (amidi).

Biološki efekti zagađenja NO_x

- Azot-dioksid je najtoksičniji među oksidima azota izaziva inflamaciju pluća i plućni edem (lako je rastvorljiv u vodi → epitel respiratornog sistema).
- Koncentracije od 200-700 ppm izazivaju smrt pri kratkoj ekspoziciji.
- Simptomi hroničnog trovanja: iritacija respiratornog trakta, kašalj, glavobolja, gubitak apetita, korozija zuba.
- Biljke: hloroza listova; lezije prelaze u nekrozne zone bele ili braon boje.

FLUORIDI

- Vazduh: u obliku gasova (najtoksični HF) i čestica.
- Industrijski izvori: proizvodnja aluminijuma, čelika, keramike, stakla, cigli i fosfatnih đubriva.
- Čestice fluorida: na površini listova → lako se ispiraju.
- Gasoviti fluoridi: brzo prodiru u biljke (preko stoma) i akumuliraju se u njihovim tkivima.
- Prema stepenu toksičnosti i afinitetu akumulacije fluoridi među gasnim polutantima zauzimaju prvo mesto.

BIOLOŠKI EFEKTI ZAGAĐENJA FLUORIDIMA

- Fluoridi kod čoveka i životinja izazivaju fluorozu (degeneracija kostiju, ukočenost kičme, okoštavanje i pegavost zuba).
- Vrlo osetljiva biljka (biondikator) na prisustvo fluorida je gladiola (*Gladiolus hortulans*); od drvenastih biljaka osetljivi su mladi četinari i breskva.
- Vrlo otporna biljka na delovanje fluorida je pamuk (*Gossypium hirsutum*).

Sl. 17. *Gladiola* (*Gladiolus hortulans*)- levo i
pamuk (*Gossypium hirsutum*)-desno.



- Biljke: inhibicija rasta, smanjenje lisne površine, usporavanje deobe i izduživanje ćelija, opadanje prinosa.
- Fiziološko-biohemijske promene:
 - strukturna oštećenja hloroplasta (bubrenje tilakoida i mitohondrija) → inhibiranje fotosinteze;
 - Disanje - zavisno od vrste, koncentracije i vremena ekspozicije → inhibicija ili stimulacija;
 - inhibicija većeg broja enzima (izuzetak - enzimi peroksidaza i katalaza pojačavaju aktivnost u prisustvu fluorida).

OZON (O₃)

- **Ozon** koji se nalazi u stratosferi jedan je od uslova opstanka života na Zemlji, za razliku od ozona koji se nalazi u prizemnom sloju atmosfere i pripada aeropolutantima.
- Koncentracije ozona zimi u nezagađenim sredinama kreću se od 0,01- 0,02 ppm, u letnjim mesecima iznose 0,07 ppm.
- U zagađenim sredinama koncentracije ozona su nekoliko desetina puta veće (intenzivan saobraćaj, visoka insolacija).

BIOLOŠKI EFEKTI ZAGAĐENJA OZONOM

- Jak je iritant očiju i gornjih respiratornih puteva.
- Veće koncentracije: edem pluća, krvarenje i opadanje alveolarne razmene gasova.
- Mikroorganizmi su vrlo osetljivi na ozon (koristi se za dezinfekciju i sterilizaciju vode umesto hlora).
- Osetljive biljke: povrće, vinova loza, duvan i četinari (tačkaste nekroze između lisnih nerava).
- Istraživanja u SAD: O_3 smanjuje prinose žitarica 4-6 %, graška, spanaća i krompira i za 10-30 %.

UGLJOVODONICI

- Ugljovodonike grade – ugljenik i vodonik.
- **Metan-** je gas bez boje, mirisa i ukusa, izaziva pospanost i dremež (blagi anestetik).
- Industrijski izvori ugljovodonika: isparenja rafinerija nafte, hemijska industrija, organski rastvarači i skladišta.
- Sastav emisije ugljovodonika izduvnih gasova automobila zavisi od vrste gasova i režima rada mašina.

BIOLOŠKI EFEKTI ZAGAĐENJA UGLJOVODONICIMA

- Ugljovodonici deluju na: iritiraju respiratorne organe i sluzokožu očiju, smanjuju kapacitet pluća.
- Toksičnost: povećava se sa povećanjem broja ugljenikovih atoma u molekulu (kancerogeni je benziperen).
- Peroksiacil-nitrati (PAN) - pripada sekundarnim zagađivačima (fotohemijski smog); najveće je koncentracije u prvoj polovini prepodneva. U vazduhu se zadržava oko sedam minuta. Jak je oksidans koji inhibira fotosintezu i rastenje biljaka.

ČESTICE I AEROSOLI

Čestice - delovi čvrste ili tečne materije, veličine od $0,1-10 \geq 10 \mu\text{m}$.

- Formiraju se mehaničkim dezintegracijama materijala: mrvljenje, erozija, sagorevanje goriva, spaljivanje materijala, vulkanske erupcija, podizanje prašine i peska sa površine Zemlje, isparavanja sa površine mora i okeana.
- Čestice su podeljene na:
 - prirodne i
 - industrijske.

- **Aerosoli** su čvrste čestice ili tečne kapi tečnosti, nevidljive golim okom ($10\text{ }\mu\text{m}$), koje ostaju duže vreme u atmosferi nego krupnije čestice.
- **Izvori aerosoli:**
 - prirodni (šumski požari, zemljište, vulkanske erupcije, polen) i
 - industrijski izvori (termoelektrane, cementare, prerada ruda, automobili).

- Čađ (garež) predstavlja aglomerate nesagorelih čestica uglja i fosilnih goriva, (jesen i zima).
- Ciklični ugljovodonici su sastavni deo čađi (kancerogeni).

TEŠKI METALI

- **Teški metali**: - toksični (Pb, Cd, Hg, Al) i
- mikrolementi (Cu, Zn).
- Teški metali se u atmosferi nalaze u obliku čestica i gasova.
- Kod ljudi i životinja, koža i respiratorni sistem predstavljaju ulazni put teškim metalima; distribuiraju se ili deponuju u jetri, kostima i masnom tkivu.

- U kiselim zemljištima pojačavaju se toksični efekti Cd, Co, Cu, Zn, i Al na šumske ekosisteme (najosetljivije vrste: lišajevi i mahovine).
- Biljke: teške metale apsorbuju i akumuliraju u svojim tkivima.
- **Pb (olovo)**
- Mozak i periferni nervni sistem su naročito osetljivi na toksično dejstvo olova. Nivo olova u jetri i mozgu je 5-10 puta veći nego u krvi. Olovo izaziva oštećenja bubrega, jetre, krvnih sudova i drugih tkiva.
- Biljke: inhibira fotosintezu, respiraciju i enzime (– SH grupama).

- Cd (kadmijum)
- u Japanu, zbog korišćenja u ishrani pirinča koji je bio zalivan vodom kontaminiranom kadmijumom → bolest „itai-itai“ (degeneracija kostiju (usled gubitka minerala) poremećaji u funkcionisanju jetre i bubrega).
- Biljke: inhibira fiksaciju elementarnog azota, fotosintezu i disanje, enzime sa –SH grupama.
- Osetljive biljke: spanać, salata i soja.
- Veliku moć apsorpcije: pirinač, trave, pšenica, salata i duvan.

- Hg (živa)

- tečan, lako isparljiv metal, sjajno srebrnaste boje.
- Koristi se u industrijama: proizvodnje aparata, boja, eksploziva, kao pesticid i u zaštiti materijala.
- Čovek: „Minimata bolest“, prvi put je zabeležena u Minimata zalivu u Japanu.
- Simptomi: nemogućnost zakopčavanja dugmad na odeći, a kasnije nemogućnost dugog hodanja i mentalni poremećaji.
- Uzrok: Minimata zaliv je bio kontaminiran živom u obliku živinog hlorida, koji je mesna fabrika koristila u proizvodnji vinil hlorida. Živin hlorid u mulju prelazi u toksični metil merkuri.

- Živa se akumulira u jetri, slezini, kostima i masnom tkivu.
- Hronična trovanja (simptomi): pojačano lučenje pljuvačke, drhtavica, fizički poremećaji, gubitak koordinacije mišićnih pokreta, gubitak memorije, depresija.

- **Cu (bakar):**
- neophodan element za živa bića
- Izvori: rudarstvo, bakarni fungicidi i predmeti od bakra.
- Toksičnost: gljive ← fungicid.
- Biljke: hloroze na vrhu i marginalnim zonama, a list dobija crvenkasto mrku boju.
- Osetljive: spanać, lucerka i jagoda.
- Životinje i čovek: akumulira se u iznutricama (jetra), a nalazi se i u izlučevinama (mleko, žuč). Veće koncentracije u hrani i vodi izazivaju Wilson-ovu bolest (hepatolentikularna degeneracija) i cirozu jetre.

- Zn (cink)
- neophodni element (sastavni deo enzima)
- Biljke: povećava otpornost na bolesti; nizak rast; formiranje sitnih listova i slabi razvijanje korenovog sistema.
- Čovek: simptomi trovanja cinkom - neprijatan ukus, povraćanje, hromost usled loše mineralizacije kostiju, usporeno rasteenje, i oštećenje pankreasa.

- Al (aluminijum)
- Biljke: izaziva inhibiciju izduživanja i savijanja korena, takođe inhibira funkciju DNK i biosintezu RNK, i ćelijsku deobu korena.
- Osetljive biljke: predstavnici šumskih ekosistema, povrtarske vrste - pasulj, salata i šargarepa.
- Mikroorganizmi: smanjuju svoju aktivnost

- Ni (nikl)
- Neophodan za rastenje (uloga u resorpciji gvožđa).
- Za biljke: toksičan - najveći afinitet pokazuju seme, stablo i list.
- Čovek: akutna trovanja manifestuju se grčevima i intestinalnim tegobama.
- Duga ekspozicija: promene na koži i respiratornom traktu, kancer pluća.

- As (arsen)
- krut nemetal svetlosive boje sa metalnim odsjajem.
- Upotreba: u industriji, zanatstvu, poljoprivredi i šumarstvu, za dobijanje insekticida, rodenticida, herbicida i veštačkih đubriva (superfosfati, amonijum sulfid).
- Biljke: boranje listova, venjenje i nekroza, usporavanje rasta i pojava sitnih plodova.
- Čovek: akumulira se u kosi, noktima, jetri, bubrezima i slezini.

- Simptomi akutnog trovanja su: iritacija stomaka, povraćanje, dijareja (krvava), šok, slabljenje pulsa, koma i smrt.
- Hronična trovanja (simptomi): tegobe u digestivnom traktu i jetri, gubitak apetita, promene na koži, opadanje kose, glavobolje, grčevi, siva boja lica i iznurenost, poremećaji u krvi, bubrezima i centralnom nervnom sistemu.
- Izaziva kancerogene promene na koži, plućima i jetri.

- Se (selen)

- Biljke: inhibira rastenje, izaziva hlorozu, liske postaju bele, koren dobija ružičastu boju.
- Čovek: prašine i gasovi koji sadrže selen iritiraju respiratorni trakt i izazivaju dermatitis.
- Simptomi hroničnog trovanja su: bledilo, neuroza, depresija, digestivni poremećaji, a mogući je i kancerogen.

ZAŠTITA OD ZAGAĐIVANJA VAZDUHA

- **Cilj:** da se spreči, smanji ili ukloni svako zagađivanje koje degradira životnu sredinu.
- **Zaštita zagađivanja vazduha u naseljima:**
 - urbanističke mere,
 - tehničkim i tehnološkim postupcima,
 - održavanjem čistoće ulica i javnih površina u naseljima,
 - pravilnom asanacijom čvrstog i tečnog otpada.

- **Smanjenje emisije ugljen-dioksida se može postići:**
 - odabirom uglja koji sadrži što manje sumpora;
 - kontrolom količine vazduha pri sagorevanju;
 - smanjivanjem emisije ugljovodonika pri prevozu i preradi goriva (nafta i njeni derivati);
 - smanjivanjem emisije ugljen-dioksida prelaskom na zatvorene sisteme proizvodnje;
 - uklanjanjem čestica ciklonima;
 - uklanjanjem čestica filtracijom;
 - uklanjanjem elektrostatičkim taložnicima;

- prečiščavanjem odpadnih gasova apsorbcijom;
- upotrebom katalizatora za kontrolu emisije iz automobila i
- katalitičkim uklanjanjem NO_x i SO_2 iz gasovitih produkata sagorevanja.

- **PRAVILA OPSTANKA ČOVEKA ↔ ŽIVOTNE SREDINE:**

- **Litosfera** - bez hrane možemo da izdržimo nekoliko nedelja.
- **Hidrosfera** - bez vode se može preživeti nekoliko dana.
- **Atmosfera** - bez vazduha ćemo doživeti samo par minuta (udišemo bio čist ili ne).

Hvala na pažnji.