

# TEHNOLOŠKI PROCESI U ZAŠTITI ZRAKA

## CILJ:

Upoznavanje sa tehnološkim procesima i uređajima koji se primjenjuju u zaštiti zraka, s posebnim naglaskom na optimiranje radnih uvjeta procesa, dimenzioniranje procesne opreme te razvoj integriranih procesa

# **OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA-1**

- Izvori onečišćenja zraka (prirodni i antropogeni; pokretni i nepokretni).
- Definiranje temeljnih pojmova, definiranje emisija i imisija.
- Podjela onečišćujućih tvari prema agregatnom stanju.
- Mehanizmi nastajanja čvrstih i plinovitih onečišćujućih tvari.
- Način rješavanja problema u zaštiti zraka (primarni i sekundarni postupci, integralni pristup zaštiti zraka).
- Smanjenje emisija onečišćujućih tvari iz pokretnih i nepokretnih izvora.
- Tehnički procesi i uređaji u zaštiti zraka i osnovne značajke na kojima se temelji njihov rad.

# OKVIRNI SADRŽAJ PREDMETA-2

- Uklanjanje čvrstih onečišćujućih tvari iz otpadnih i/ili ispušnih plinova primjenom mehaničkih metoda separacije (centrifugalni sedimentatori, cikloni, filtri, elektrofiltri, skruberi).
- Uklanjanje plinovitih onečišćujućih tvari ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CS}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  i dr.) primjenom fizičkih metoda separacije (adsorpcijski i apsorpcijski procesi).
- Kemijska obrada otpadnih ili ispušnih plinova: visokotemperaturni procesi razgradnje (VOC,  $\text{CO}$ , ugljikovodici i dr.), katalitički procesi razgradnje ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , VOC,  $\text{N}_2\text{O}$ , CFC i dr.).
- Biološka obrada otpadnih plinova.
- Odabrani primjeri: primjena monolitnih struktura u zaštiti zraka, fotokataliza i dr..

# Literatura

1. N. de Nevers, *Air Pollution Control Engineering*, McGraw-Hill, N.Y., 1995.
2. H. Brauer, Y.B.G. Varma, *Air Pollution Control Equipment*, Springer-Verlag, Berlin, 1981.
3. R.A. Santen, P.W.N.M. van Leeuwen, J.A. Moulijn and B.A. Averil, *Catalysis-An Integrated Approach*, 2nd Ed., *Studies in Surface Science and Catalysis*, Vol. 123, Elsevier, Amsterdam, 1998.
4. A. Cybulski and J.A. Moulijn, *Structured Catalysts and Reactors*, Marcel Dekker, N.Y. , 1998.
5. C. D. Cooper, F.C. Alley, *Air Pollution Control-A Design Approach*, Waveland Press, Long Grove, 2002.
6. R.C. Flagan, J.H. Seinfeld, *Fundamentals of Air Pollution Engineering*, Prentice Hall, New Jersey, 1988.
7. J.D. Seader, E.J. Henley, *Separation Process Principles*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Hoboken (2006)
8. A. Jess, P. Wasserscheid, *Chemical Technology. An Integrated Approach*, Wiley-VCH, Weinheim (2013)
9. Internet...
10. **Nastavni materijali:**  
ppt prezentacije, poglavlje **Zrak-uvodna razmatranja (Analitika okoliša)**, **BREF, Air Pollution Engineering, Physical Sciences Reviews, 2017.**

# Europski zeleni plan

- Nulta razina onečišćenja
- Čista voda
- Čisti zrak
- Industrija
- Kemikalije



## Europska komisija predložit će povećanje klimatskih ambicija EU-a za 2030.

Relevantno zakonodavstvo o energiji preispitat će se i prema potrebi revidirati do lipnja 2021. Države članice ažurirat će 2023. svoje nacionalne energetske i klimatske planove kako bi odražavali nove klimatske ambicije.

Emisije stakleničkih plinova



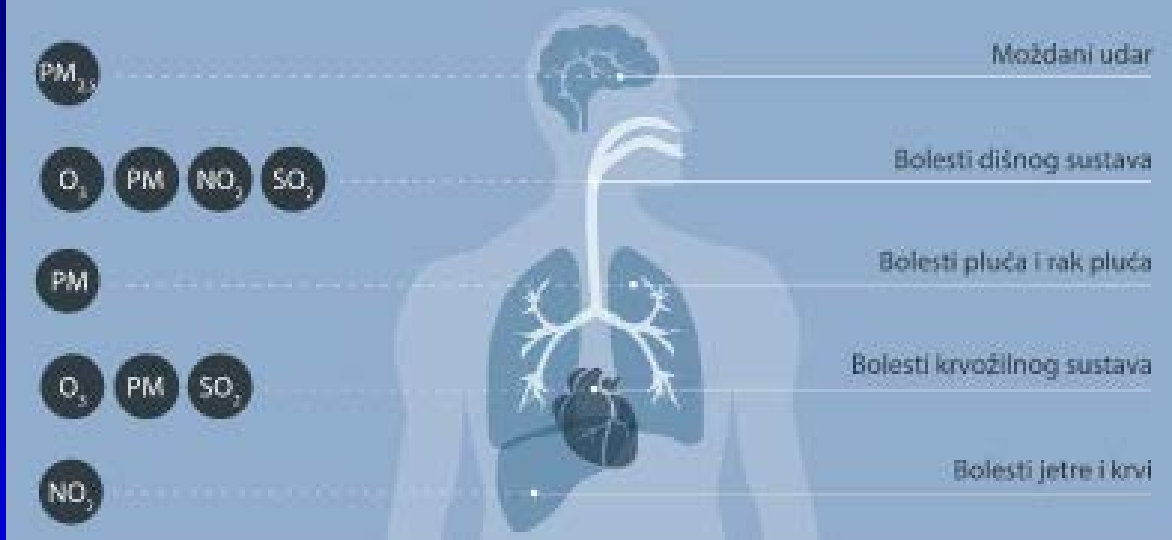
2023.: države članice ažuriraju svoje nacionalne energetske i klimatske planove kako bi odražavali nove klimatske ambicije.

\* Emisije koje se neće ukloniti do 2050. uklonit će se npr. kroz prirodne ponore ugljika kao što su šume i tehnologije hvatanja i skladištenja ugljika.

**Onečišćenje zraka najveći je  
ekološki rizik za zdravlje u  
Europskoj uniji!**

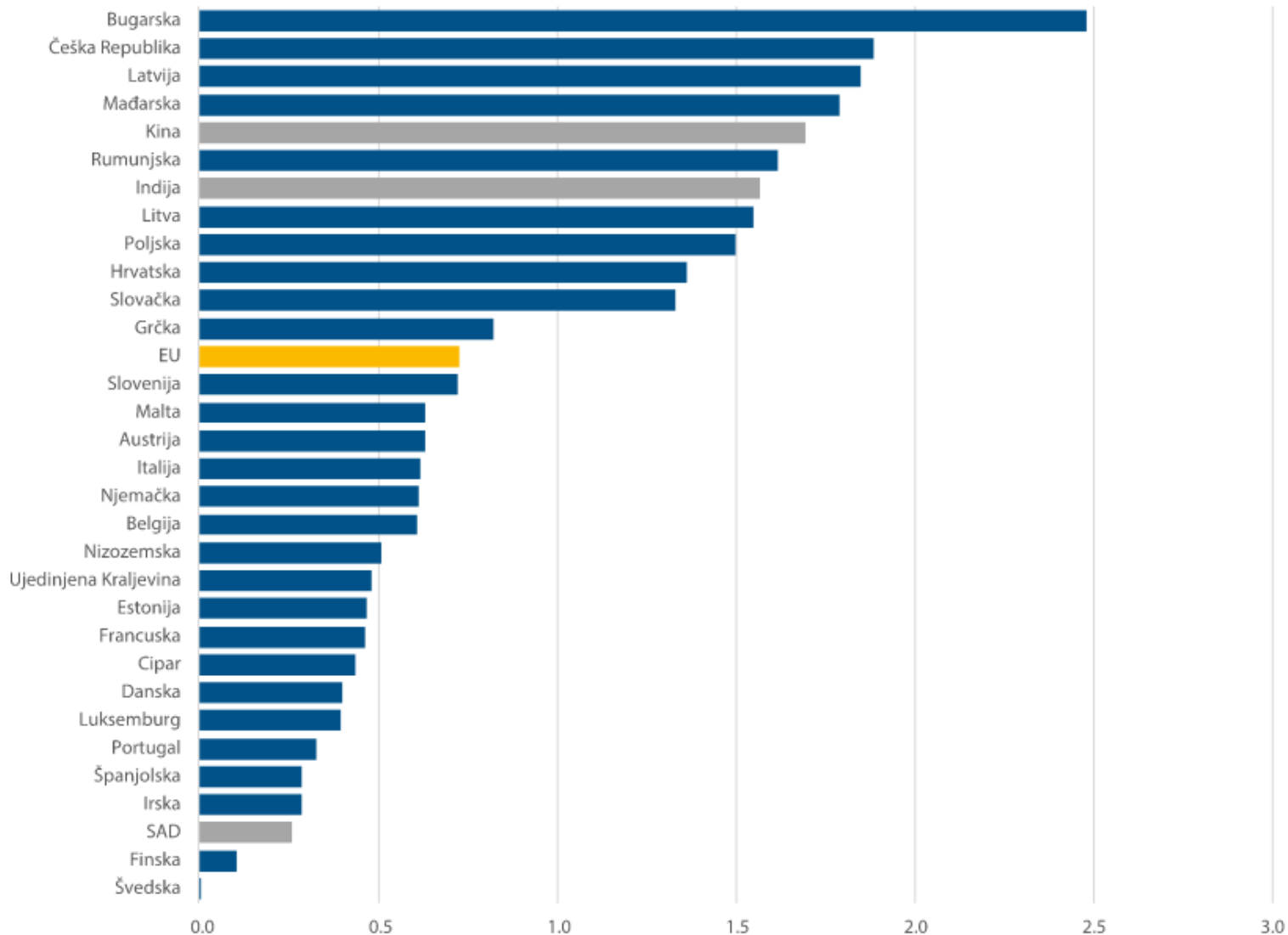
<https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/air-quality-23-2018/hr/>

# KAKVI SU UČINCI NA ZDRAVLJE LJUDI



- 2014. godine sitne lebdeće čestice (PM<sub>2,5</sub>) prouzročile su približno **400 000 slučajeva preuranjene smrti građana EU-a**, dok je NO<sub>2</sub> prouzročio **75 000** takvih slučajeva, a O<sub>3</sub> **13 600**.
- Prema podacima WHO-a **bolesti srca i moždani udar izazvani onečišćenjem zraka odgovorni su za 80 % slučajeva preuranjene smrti**. Slijede ih bolesti pluća, uključujući rak, i druge bolesti.

## Godine zdravog života izgubljene zbog onečišćenja zraka na 100 stanovnika



*Izvor: WHO, „Public Health and Environment (PHE): ambient air pollution DALYs attributable to ambient air pollution”, 2012.*



Prema podacima EEA-e otprilike **1/4 europskih građana koji žive u gradskim područjima bila je 2015. godine izložena razinama onečišćenja zraka koje prekoračuju neke od normi kvalitete zraka EU-a**, a do 96 % građana EU-a koji žive u gradskim područjima bilo je izloženo razinama onečišćujućih tvari u zraku koje WHO smatra štetnima za zdravlje.

**Onečišćenje zraka u pravilu utječe više na stanovnike gradova nego na stanovnike ruralnih područja iz dvaju razloga:**

- gustoća naseljenosti u gradovima podrazumijeva veće ispuštanje onečišćujućih tvari u zrak (npr. iz cestovnog prijevoza),
- čestice se teže disperziraju u gradovima nego u ruralnim područjima.

Sastav i struktura atmosfere  
Definiranje temeljnih pojmova  
Posljedice onečišćenja  
Biogeokemijski ciklusi  
Povijest onečišćenja

**ZRAK** je naziv za plinoviti omotač koji okružuje Zemlju i tvori atmosferu.

Atmosfera se pruža do više od 500 km visine u odnosu na nadmorsku visinu; predstavlja vrlo tanak sloj uz površinu Zemlje za koju ga vežu gravitacijske sile.

grč. *atmos* = para i *sfaira* = kugla

**atmosfera**- smjesa različitih plinova

- **ONEČIŠĆENJE** – pojave neke tvari u okolišu u određenom mjestu, vremenu i koncentraciji koja nije posljedica trajnog stanja i ne uzrokuje štetu kao zagađenje
- **ZAGAĐENJE** – ljudskom djelatnošću uzrokovano unošenje zagađivala (tvari ili energije) u okoliš koja uzrokuju štetne posljedice po živa bića i ljudsko zdravlje, onemogućuju ili ometaju tradicijske ljudske djelatnosti ...

# Sastav atmosfere

Najzastupljeniji sastavni dijelovi atmosfere izraženi u volumnim

udjelima:

dušik (N <sub>2</sub> )	– 78,084 %,
kisik (O <sub>2</sub> )	– 20,947 %,
argon (Ar)	– 0,934 %,
ugljikov dioksid (CO <sub>2</sub> )	– 0,033 %,

- ***u tragovima*** mogu biti zastupljeni:

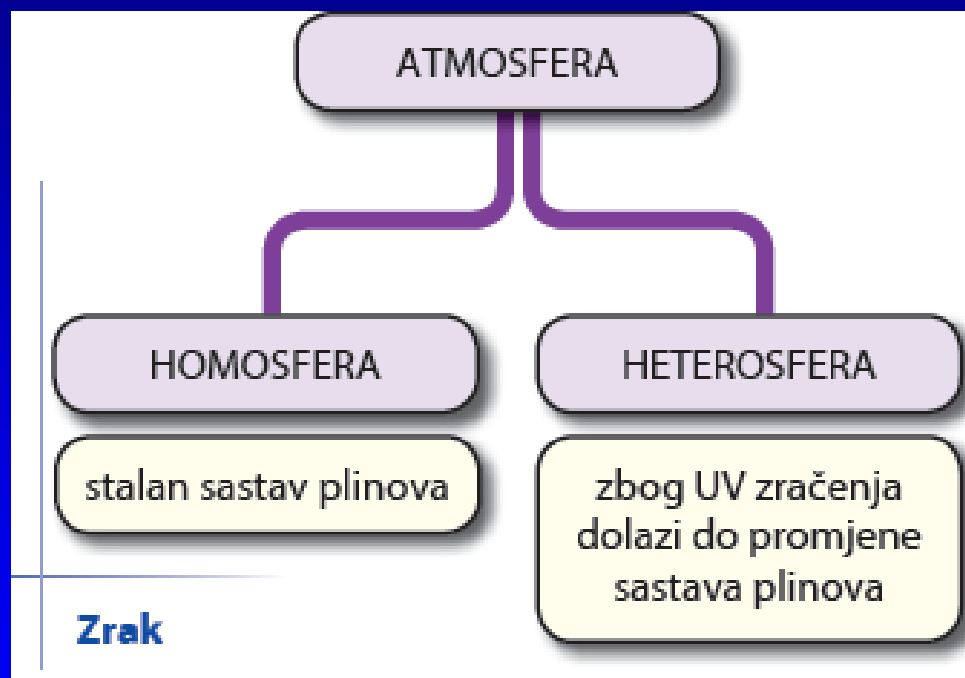
neon (Ne), helij (He), metan (CH<sub>4</sub>), didušikov oksid (N<sub>2</sub>O), dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>), vodik (H<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), kripton (Kr), ksenon (Xe), radon (Rn), jod (I<sub>2</sub>), ugljikov monoksid (CO), amonijak (NH<sub>3</sub>) i dr.

## SASTAV ZRAKA

NAZIV	FORMULA	VOLUMNI UDIO
dušik	N <sub>2</sub>	78,084 %
kisik	O <sub>2</sub>	20,947 %
argon	Ar	0,934 %
ugljičkov dioksid	CO <sub>2</sub>	0,033 %
neon	Ne	
helij	He	
metan	CH <sub>4</sub>	
didušikov oksid	N <sub>2</sub> O	U TRAGOVIMA
dušikov dioksid	NO <sub>2</sub>	
vodik	H <sub>2</sub>	
ozon	O <sub>3</sub>	
kripton	Kr	
kсенon	Xe	U TRAGOVIMA
radon	Rn	
jod	I <sub>2</sub>	
ugljičkov monoksid	CO	
amonijak	NH <sub>3</sub>	

## Sastav zraka

# Podjela atmosfere



Do visine od 80 km

Iznad 80 km

Atmosferu s obzirom na kemijski sastav dijelimo na:

**homosferu** (do visine od 80 km)

- sastav pojedinih plinova ( $O_2$ ,  $N_2$ , Ar, Ne, He, Kr, Xe, Rn) je stalan

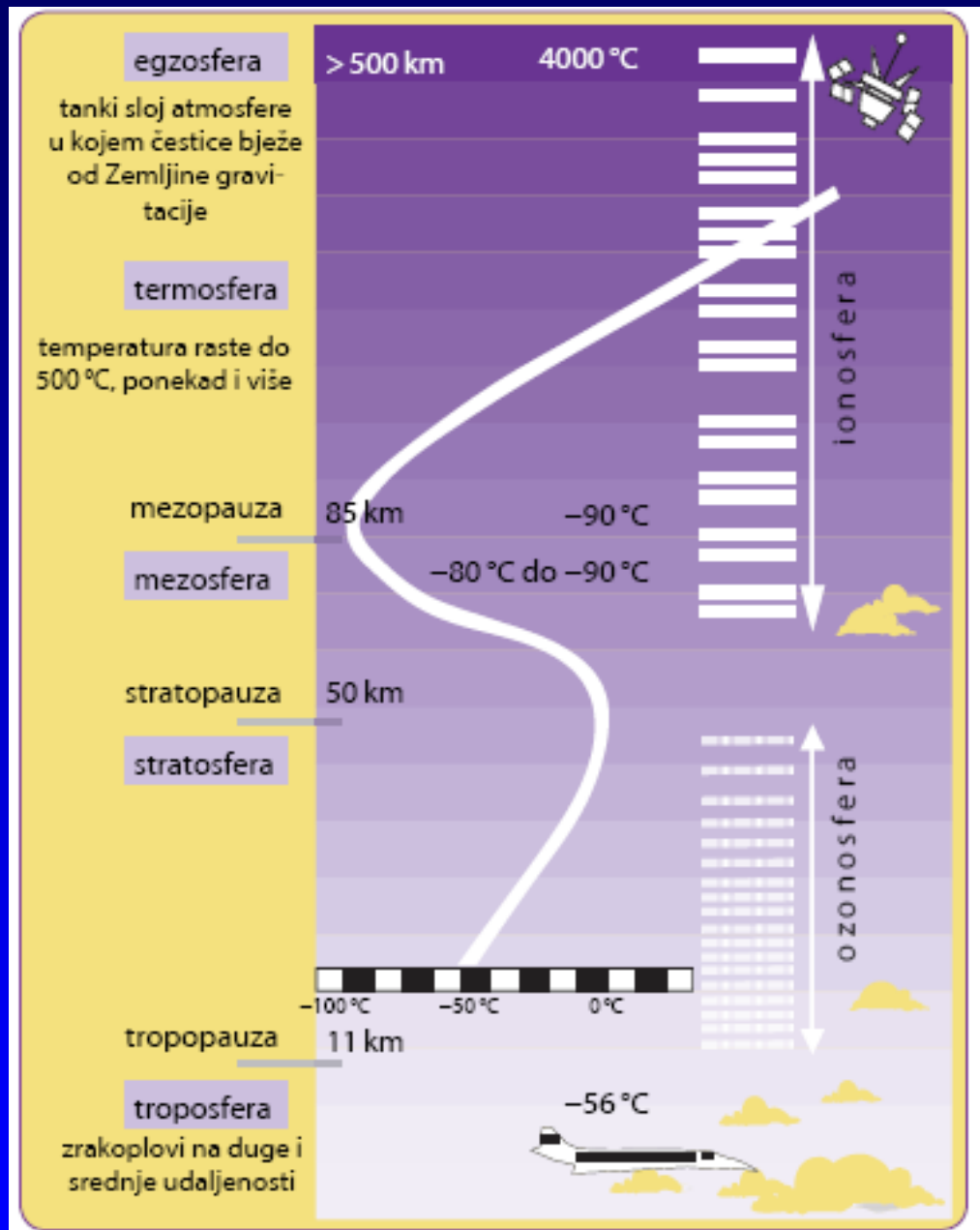
**heterosferu**

- dolazi do promjene volumnih omjera plinova, jer apsorbiraju UV zračenje i dolazi do njihove ionizacije.



# Podjela atmosfere

- troposfera
- stratosfera
- mezosfera
- termosfera
- egzosfera
- ozonosfera
- ionosfera



## Troposfera

- sloj koji je najbliži površini Zemlje, a prostire se do približno 11 km visine. Plinovi koji se nalaze u troposferi omogućavaju život na Zemlji. Temperatura tog sloja smanjuje se s visinom. Prosječna temperatura na površini Zemlje iznosi približno 15 °C, a temperatura gornjeg rubnog područja troposfere iznosi oko –56 °C.

## Tropopauza

- tanak sloj između troposfere i stratosfere.

## Stratosfera

- sloj koji se nalazi iznad troposfere (od 11 km do oko 50 km). U donjim dijelovima stratosfere (*hladna stratosfera*) temperatura se neznatno mijenja s porastom visine, a u gornjim dijelovima (*topla stratosfera*) temperatura raste s visinom, jer u tom dijelu ozon apsorbira ultraljubičasto Sunčevo zračenje.

Sa stratosferom se uglavnom podudara **ozonosfera**. Najveću koncentraciju ozon postiže na visinama između 20 i 35 km (**stratosferski ozon**).

Ozon upija oko 4 % Sunčeve energije koja prolazi kroz atmosferu, a najviše u ultraljubičastom dijelu spektra.

## Ozonosfera

- sloj atmosfere koji se prostire do visine od 50 km iznad površine Zemlje.

## Ionosfera

- sloj atmosfere između 50 km i 600 km iznad površine Zemlje. Sastoji se uglavnom od kisika i dušika. Sunčeva energija u obliku ultra ljubičastog (UV) i rendgenskog (X) zračenja ionizira plinove i time omogućava nesmetano gibanje elektrona.

## Mezosfera

- dio atmosfere koji se nastavlja na stratopauzu, a prostire se od 50 do 85 km visine. Temperatura zraka u mezosferi smanjuje se s visinom.

## Termosfera

- sloj koji se nastavlja na mezopauzu i prostire se do 500 km. Temperatura zraka u ovom dijelu atmosfere naglo raste s porastom visine, a visoke temperature posljedica su apsorpcije Sunčevog zračenja i procesa ionizacije.

## Termopauza

- sloj između termosfere i egzofere.

## Egzosfera

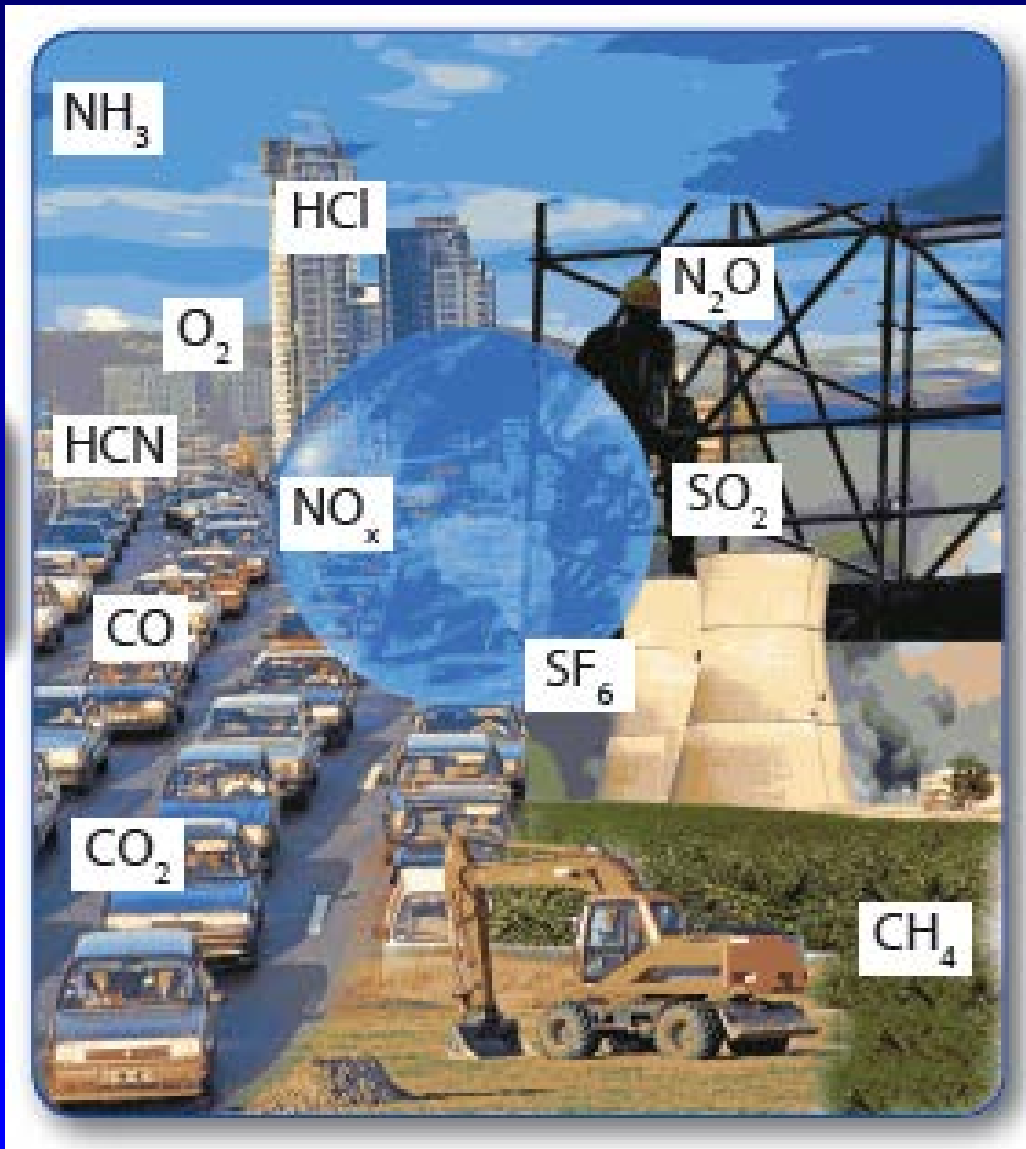
- vanjski sloj atmosfere koji se nalazi iznad 500 km, a njena granica nije točno određena.

Temperatura zraka u ovom sloju je iznimno visoka i može doseći vrijednosti od 4 000 °C.

Atomi plinova u egzosferi u stanju su plazme (potpuno su ionizirani) i gibaju se kaotično.

U egzosferi mogu biti zarobljene čestice izvanzemaljskog podrijetla, koje se nastavljaju gibati u orbiti Zemlje (unutar Zemljina magnetskog polja). U egzosferi se nalaze i meteorološki sateliti (do visine 36 000 km).

# ONEČIŠĆENJE ZRAKA



Poznato je da bez hrane možemo živjeti tjednima, bez vode danima, a život bez kisika mjeri se u minutama.

## Zašto brinuti zbog onečišćenja zraka?

- Urbanizacija i industrijalizacija - sve veći broj ljudi na sve manjoj površini
- Kontinuirano izlaganje ljudi velikom koncentracijama onečišćujućih tvari
- Ljudska populacija još uvijek raste eksponencijalnom brzinom

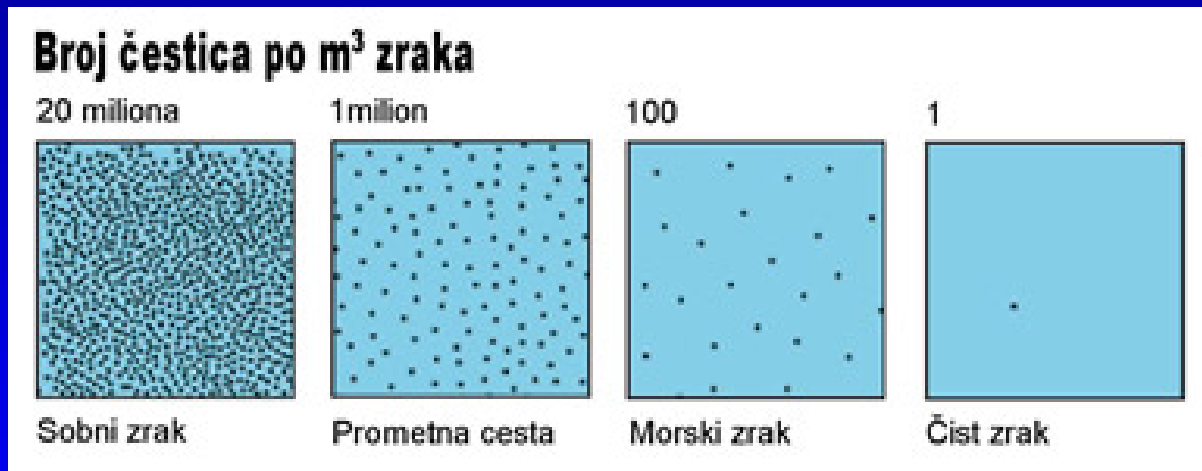




## Onečišćenje zraka

- sve više utječe na ljudsko zdravlje, izaziva ozbiljne zdravstvene probleme i u ekstremnim slučajevima smrt,
- utječe na prirodne procese u okolišu , ugrožava prirodnu i biološku raznolikost,
- dovodi do globalnih procesa u okolišu (učinak staklenika, fotokemijski smog, nastajanje troposferskog ozona, smanjenje stratosferskog ozona, globalno zagrijavanje i dr.)
- smanjuje vidljivost,
- uzrokuje koroziju materija i oštećenje materijalnih i kulturnih dobara,
- može dovesti do značajnih ekonomskih gubitaka.

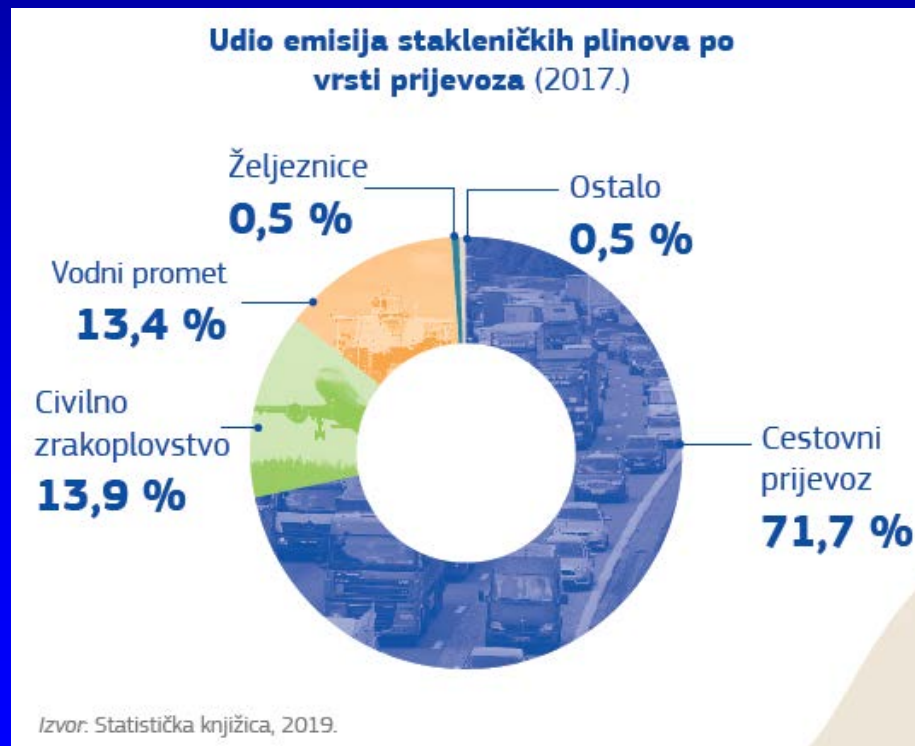
20 000 puta udahnemo svakoga dana i pritom unesemo 12 000 litara zraka u naša pluća da bismo pribavili kisik neophodan za život. Međutim, ne provodimo većinu našeg vremena na svježem zraku. Naprotiv, 90% našeg vremena provodimo u zatvorenim prostorima.



Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) zbog onečišćenja zraka svake godine prerano umire preko 3 milijuna ljudi, što predstavlja oko 3 % smrtnosti godišnje.

## Izvor problema

- **Proizvodnja i upotreba energije** čine više od **75 %** emisija stakleničkih plinova u EU-u.
- **Promet** proizvodi četvrtinu emisija stakleničkih plinova u EU, a udio je i dalje u porastu. Zelenim planom EU-a nastoji se postići smanjenje tih emisija od **90 %** do **2050**.



# EU Zeleni plan, prosinac 2019. – što ako ne učinimo ništa?

Ne budemo li učinili ništa po pitanju klimatskih promjena, svojoj ćemo djeci ostaviti:



## onečišćenje

⚠ već danas **400 000** ljudi godišnje **prerano umire** zbog onečišćenja zraka.

*Izvor: Europska agencija za okoliš, Kvaliteta zraka u Europi – izvješće za 2019.*



## toplinu i sušu

⚠ **90 000** smrtnih slučajeva godišnje zbog toplinskih valova

⚠ **660 000** dodatnih zahtjeva za azil godišnje u EU-u, uz porast temperature od 5 °C

⚠ ako temperatura poraste za 4,3 °C, **pod prijetnjom izumiranja naći će se 16 % vrsta**

## TEMELJNE DEFINICIJE I POJMOVI

- **Onečišćenje zraka** - prisutnost jedne ili više onečišćujućih tvari (ili onečišćivala) u zraku u dostatno visokoj koncentraciji, dovoljno dugo i u takvim okolnostima da štetno ili opasno djeluje na udobnost, zdravlje i dobrobit ljudi i/ili na okoliš i izaziva neželjene posljedice u okolišu.
- **Onečišćujuća tvar (ili onečišćivalo)** - bilo koja tvar ispuštena/unesena u zrak izravnim ili neizravnim ljudskim djelovanjem ili prirodnim procesima koja nepovoljno utječe na ljudsko zdravlje, kvalitetu življenja i/ili kvalitetu okoliša u cjelini.

- **onečišćivač:** pravna ili fizička osoba čije djelovanje izravno ili neizravno onečišćuje zrak; do onečišćenja zraka uglavnom dolazi zbog emisija onečišćujućih tvari koje nastaju ljudskim djelovanjem (antropogeni izvori) ili prirodnim procesima (prirodni izvori)
- **emisija** – proces ispuštanja/unošenja onečišćujućih tvari, mirisa (ili mirisnih tvari), buke, topline ili radijacije u okoliš
- **imisija** – primanje onečišćujućih tvari iz atmosfere u receptor; količina onečišćujuće tvari u zraku na nekom mjestu
- **granična vrijednost emisije** - najveća dopuštena emisija, izražena ili koncentracijom onečišćujućih tvari u ispušnim plinovima i/ili količinom ispuštanja/unošenja onečišćujućih tvari u određenom vremenu
- **izvor onečišćenja** – mjesto ispuštanja onečišćujućih tvari u atmosferu;
- **ponor** - proces, aktivnost ili mehanizam kojim se iz atmosfere uklanjaju staklenički plinovi (npr. šume, oceani)

- **aerosol** - sustav s dvije faze, od kojih je glavna faza plinovita, a u njoj može biti dispergirana kapljevita ili kruta faza
- **lebdeće čestice** - krute čestice različitih veličina i podrijetla koje se mogu održati u struji ispušnih ili dimnih plinova tijekom duljih razdoblja jer su premale da bi imale značajnu brzinu taloženja
- **krute čestice** – dolaze u obliku prašine, pepela (ili lebdećeg pepela), čađe (čestice bogate ugljikom koje nastaju nepotpunim izgaranjem i talože se prije ispuštanja dimnih plinova u zrak) ili dima (plinovi izgaranja i njim anošene krute čestice)
- **para** - plinovita faza tvari koja može istodobno postojati u kapljevitom ili u čvrstom stanju
- **mirisne tvari (odoranti)** – tvari koje imaju izrazit i svojstven miris

**pepeo (eng. ash), lebdeći pepeo (eng. fly ash)** – čestice pepela dispergirane u dimnim plinovima

**čađa (eng. soot)** – čestice bogate ugljikom koje nastaju pri nepotpunom izgaranju i talože se prije ispuštanja dimnih plinova u zrak



- **najbolja raspoloživa tehnika (BAT)**

najučinkovitiji i najnapredniji razvojni stupanj djelatnosti i s njom povezanih načina proizvodnje, uz gospodarski i tehnički održive uvjete, uzimajući u obzir i troškove i prednosti, koja 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

- **emisijski faktor**

Prosječni stupanj emisije plina u odnosu na podatke o djelatnosti toka izvora, pod pretpostavkom potpune oksidacije pri izgaranju i potpune konverzije pri ostalim kemijskim reakcijama



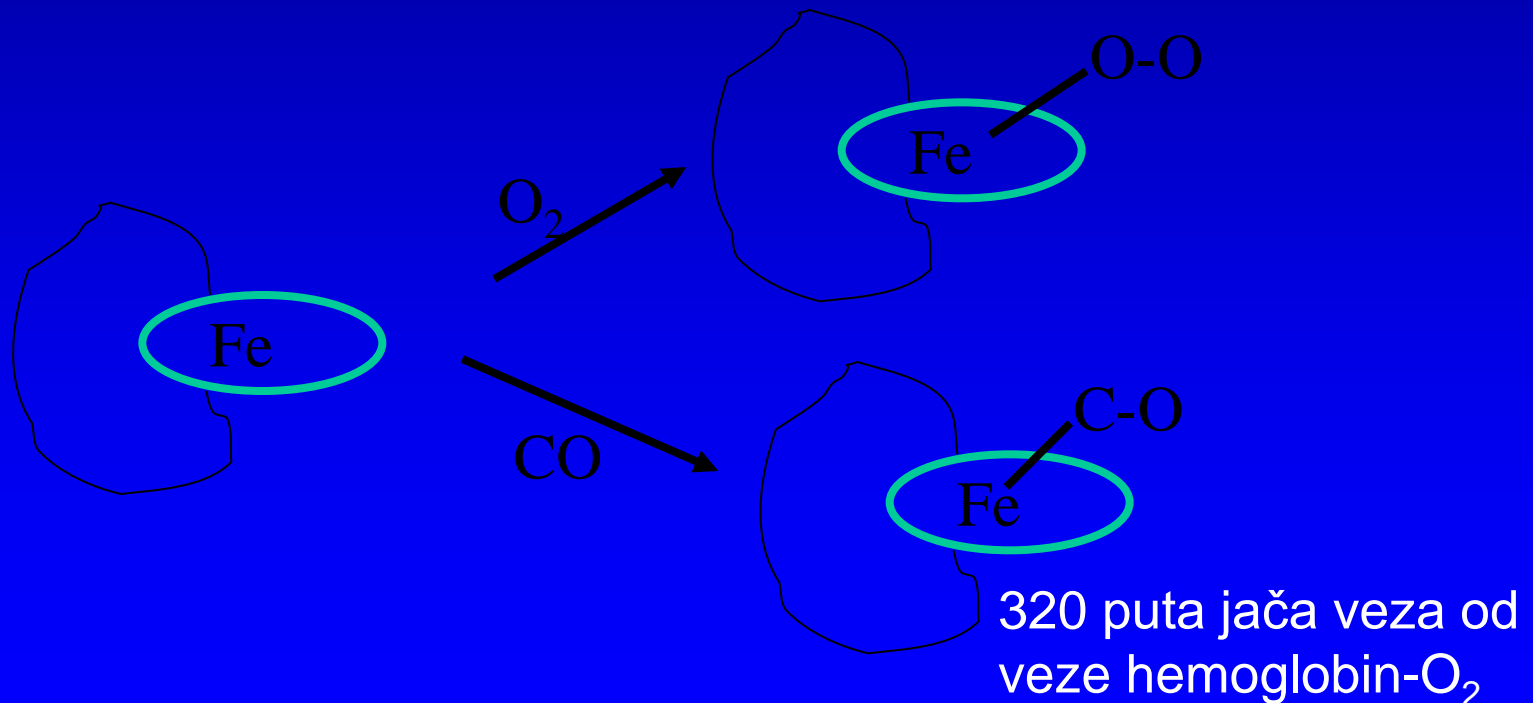
**Tablica - Uobičajena onečišćivala zraka i problemi u okolišu koje izazivaju.**

<b>Problemi u okolišu</b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>NH<sub>3</sub></b>	<b>VOC</b>	<b>CO</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>CFC</b>
fotokemijski smog		+		+	+	+	
acidifikacija	+	+	+		+		
eutrofikacija		+	+				
razgradnja ozonskog sloja		+					+
klimatske promjene		+		+	+	+	

# Utjecaj onečišćenja zraka na zdravlje ljudi

## CO: Utjecaj na zdravlje ljudi

CO ulazi u krvotok i veže se na hemoglobin, zamjenjujući kisik



## Hlapljivi organski spojevi\*, VOC ⇒

“sick building syndrom, SBS” (sindrom bolesti zgrada)

- Pojam se odnosi na pojavu kad stanovnici neke kuće ili stana osjećaju akutne zdravstvene probleme ili zdravstvene tegobe (glavobolja, iritacije očiju, nosa ili grla, suhi kašalj, stalno curenje iz nosnica, umor, problemi sa koncentracijom i suha i iritirana koža), a koji se mogu vezati uz njihov duži boravak u određenom zatvorenom prostoru, iako se ne može detektirati neko specifično oboljenje ili uzrok tih tegoba.
- Prema nekim istraživanjima ***razina onečišćivala u zatvorenim prostorima može doseći vrijednosti koje su višestruko veće (2-5 puta, a ponekad i do 100 puta u izuzetnim situacijama) u odnosu na one izvan zgrada***
- Čovjek u toku samo jednog sata udahne više od 0,5 m<sup>3</sup> zraka u svoja pluća
- Pretpostavlja se da postoji **više od 300 VOC-a koji uzrokuju SBS**

*\*hlapljivi organski spojevi su organski spojevi čiji tlak pare iznosi 0,01 kPa ili više kod temperature od 293,15 K, odnosno spojevi koji imaju odgovarajuću hlapljivost pod određenim uvjetima upotrebe.*

# Smanjena vidljivost kao posljedica onečišćenja zraka (fotokemijski smog)



## Utjecaj kiselih kiša na biljni svijet



# Globalne posljedice onečišćenja zraka

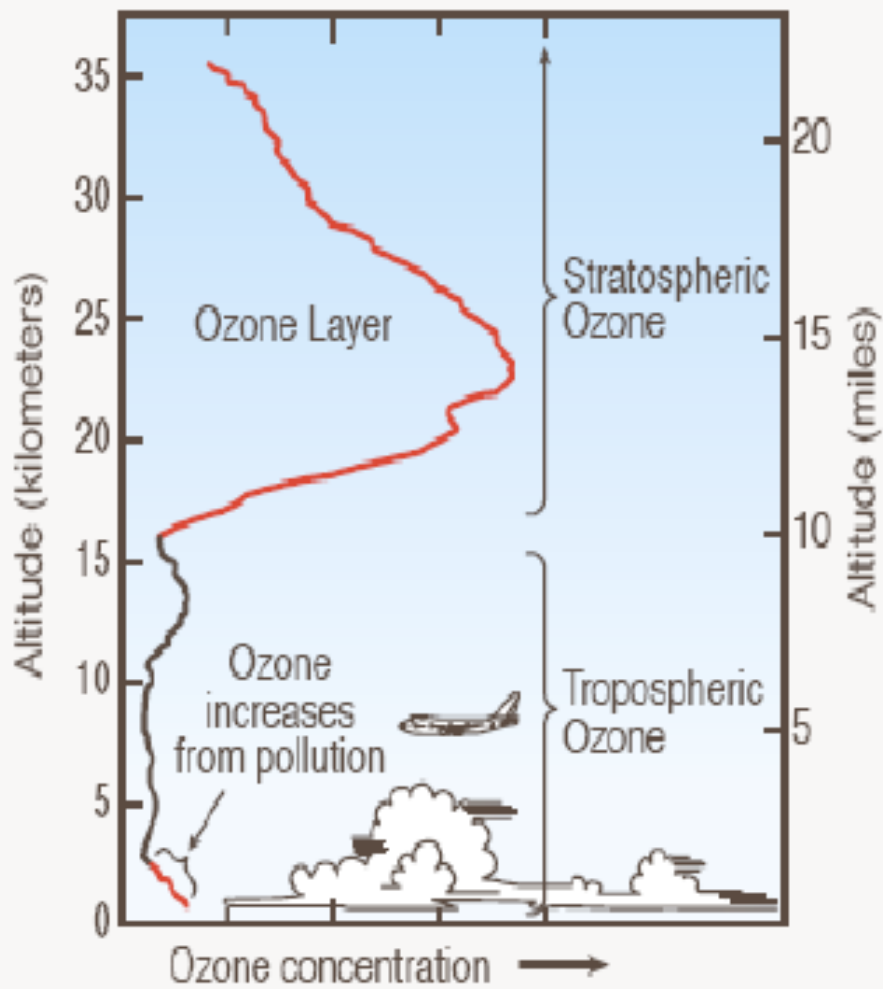
- **Nastajanje troposferskog ozona**
- **Globalne klimatske promjene** (globalno zagrijavanje ili staklenički učinak)
- **Staklenički učinak** – popularan pojam, ali ponekad u krivom kontekstu. Odnosi se na zadržavanje IR zračenja (topline) uslijed prisutnosti određenih plinova u atmosferi (primarno CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O). *Međutim, bez prirodnog stakleničkog učinka u našoj atmosferi Zemlja bi bila 33 °C hladnija nego što je sada. Kad govorimo o stakleničkom učinku mislimo primarno na **nedavni neželjeni porast sposobnosti atmosfere da zadrži toplinu.***
- **Smanjenje ozonskog sloja (“ozonske rupe”)** - halogeni (kloridi, bromidi i fluoridi) i haloni



# Globalne klimatske pojave

- Porast prosječne temperature na površini zemljine atmosfere i površini oceana
- Porast prosječne temp. u zadnjem stoljeću: 15 °C
- ***Pokazatelji:***
  - učestale promjene vremena,
  - otapanje ledenjaka,
  - otapanje Grenlandske ploče,
  - tropske nepogode,
  - nestajanje koraljnih grebena,
  - dezertifikacija,
  - otapanje polarne kape,
  - erozija tla,
  - porast razine mora,
  - porast saliniteta voda,
  - smanjenje bioraznolikosti,
  - nestajanje otoka,
  - promjene u raspodjeli oborina,
  - promijenjena hidrologija i dr.

## Ozone in the Atmosphere



## STATOSFERA

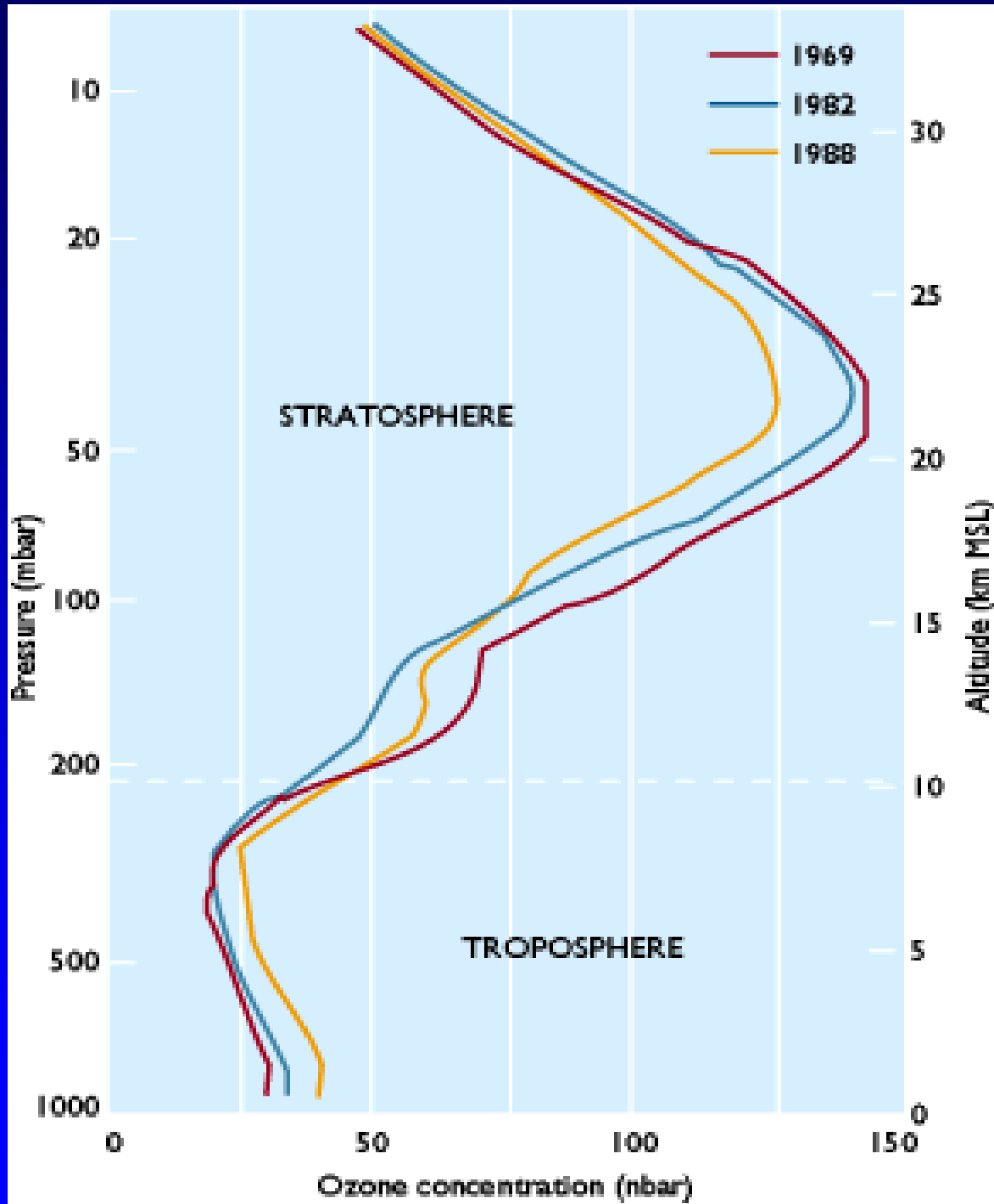
smanjenje koncentracije ozona (tzv. ozonske rupe)

1971. Paul Crutzen upozorio da  $\text{NO}_x$  uništavaju ozon

1984. Joe Farman otkrio manjak ozona iznad Antarktika

## TROPOSFERA

(tzv. loš ozon)

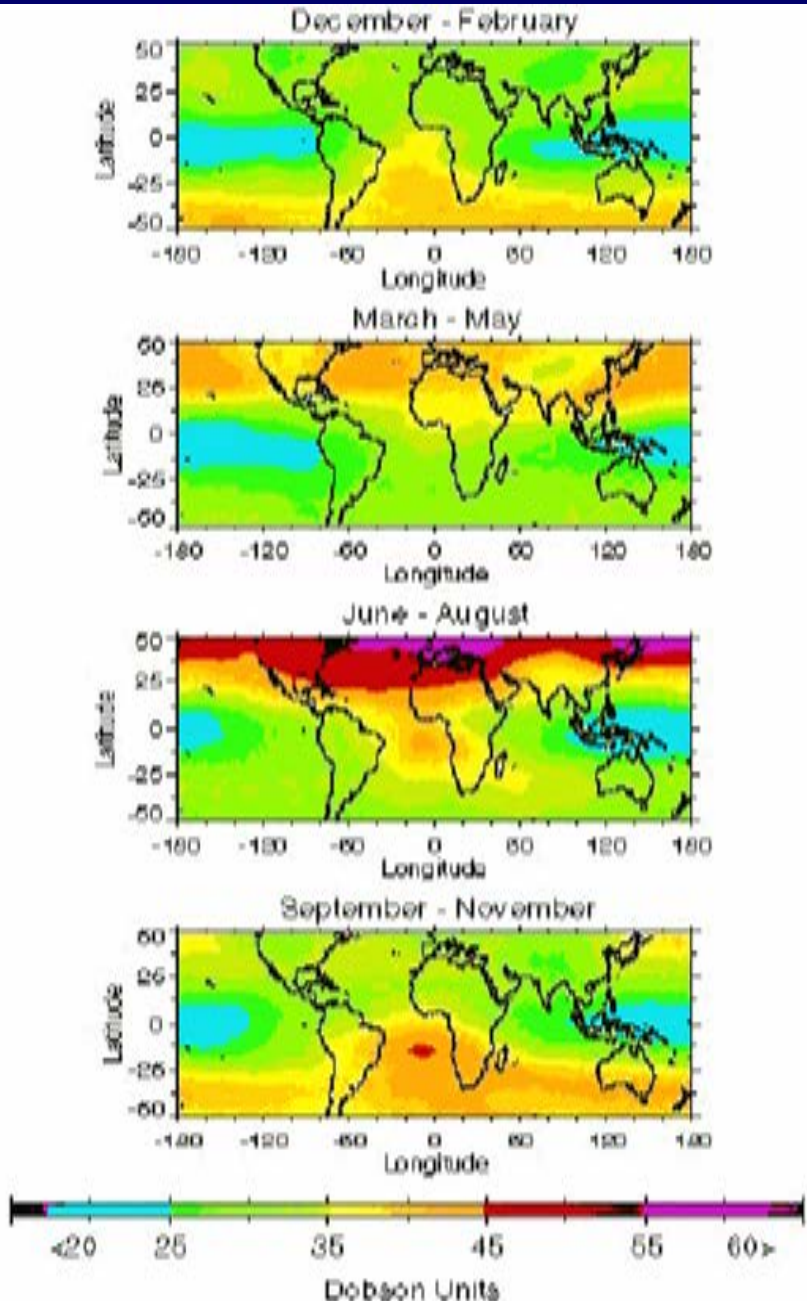


Prosječna koncentracija  $O_3$  u troposferi i stratosferi u različitim vremenskim periodima

Stahelin and Schmid, 1991

# Sezonska raspodjela troposferskog ozona prema geografskim područjima

- najveća koncentracija u ljetnim mjesecima na sjevernoj hemisferi



## *Nastajanje troposferskog ozona (“loš” ozon) - Chapmanov mehanizam*

Može se opisati složenim kemijskim reakcijama oksidacije u kojima sudjeluju hlapljivi organski spojevi (engl. volatile organic compounds, VOC), uglavnom ugljikovodici (HC) i dušikovi oksidi:



(HC: VOCs, ROG (reactive organic gas), NMHC, NMOG...)

Dušikovi oksidi i ozon međusobno reagiraju u atmosferi što se može opisati sljedećim reakcijama:



$h\nu$  - foton s energijom zavisnom o frekvenciji svjetlosti ( $\nu$ ),

M - uglavnom molekula kisika ili dušika



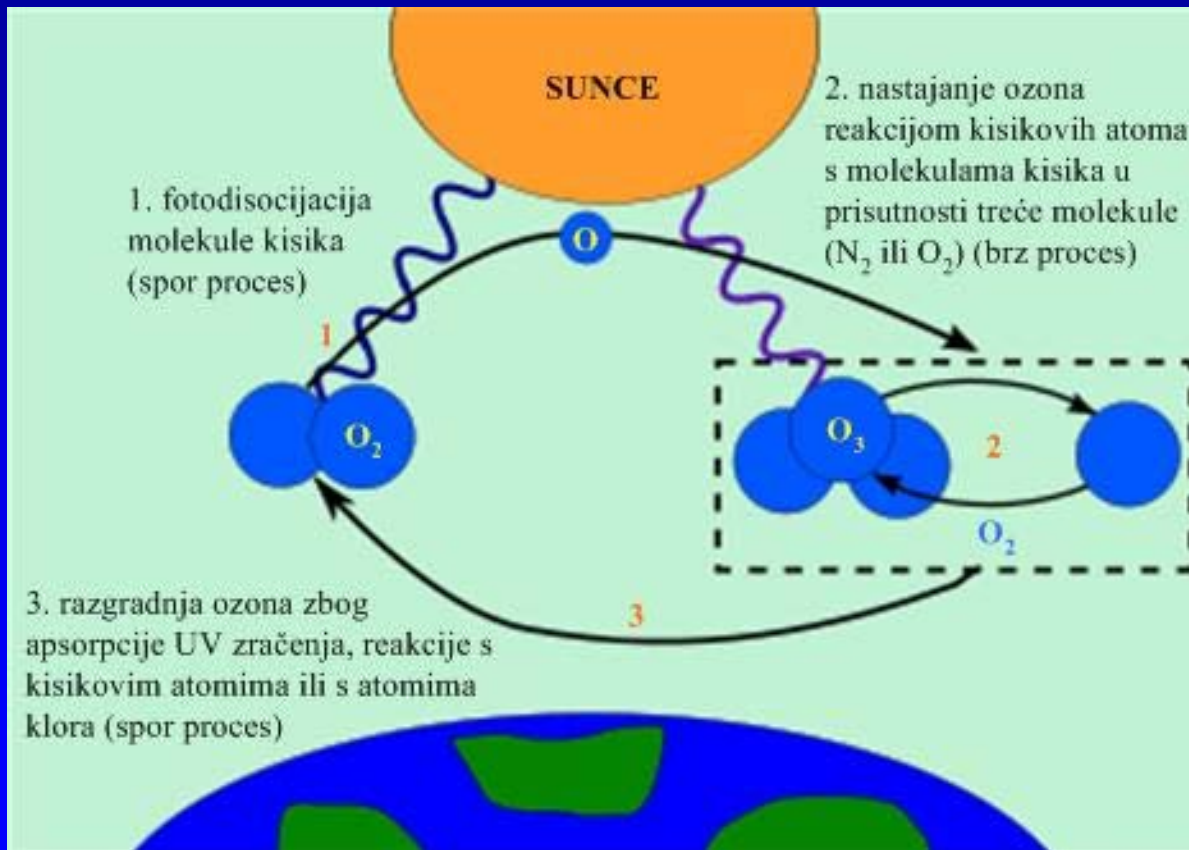
VOC prevodi NO i NO<sub>2</sub> bez sudjelovanja O<sub>3</sub>



**O<sub>3</sub> – glavna komponenta fotokemijskog smoga,** međutim nastajanje aldehida (RCHO) i PAN (peroksiacetil nitrat: (R(C(O)OONO<sub>2</sub>)) opisuje se na sličan način

## Smanjenje stratosferskog ozona („dobar” ozon)

Koncentracija ozona u stratosferi rezultat je dinamičke ravnoteže između kemijskih procesa nastajanja i procesa njegove razgradnje



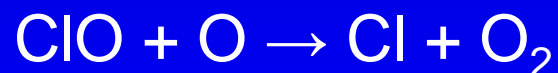
Mehanizam nastajanja i razgradnje ozona

## Mehanizmi nastajanja i razgradnje

fotodisocijacija kisika



***kemija klora i broma:***



klorofluorougljici  
(CFC; freoni)  
hidroklorofluorougljici  
(HCFC)  
bromoklorofluorougljici  
(haloni).

***jedan atom klora može sudjelovati u razgradnji mnogo molekula ozona  
(prema nekim procjenama  $10^4$  do  $10^6$ )***



**Tablica - Spojevi klora koji izazivaju oštećenje ozonskog sloja**

Spoj	Globalna koncentracija u atmosferi/ ppb	Procijenjen vijek trajanja u atmosferi/ godine	% emisija koje dopijevaju do stratosfere
CH <sub>3</sub> Cl	0,62	2-3	≤ 3
CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	0,48	>80	100
CFCI <sub>3</sub>	0,28	ca. 83	100
CCl <sub>4</sub>	0,12	50	≤ 100
CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	0,12	ca. 9	9

# Indikatori globalnog zagrijavanja

- Indikator globalnog zatopljenja je **prosječna globalna temperatura zemlje (AGT)**; u dvadesetom stoljeću je iznosila 15 °C, ali je naglo porasla tijekom zadnjih godina (u kasno ledeno doba iznosila je 9 °C)
- Bolji pokazatelj je **temperaturna devijacija ili temperaturna anomalija (AGTA)**: najveći porast u periodu od 1880-1940 i od 1976 do danas
- Prema predviđanjima **prosječna temperatura će porasti za 2,5 °C u sljedećih 100 godina** ( u usporedbi sa porastom od 0,6 °C tijekom zadnjih 100 godina)

## Biogeokemijski ciklusi

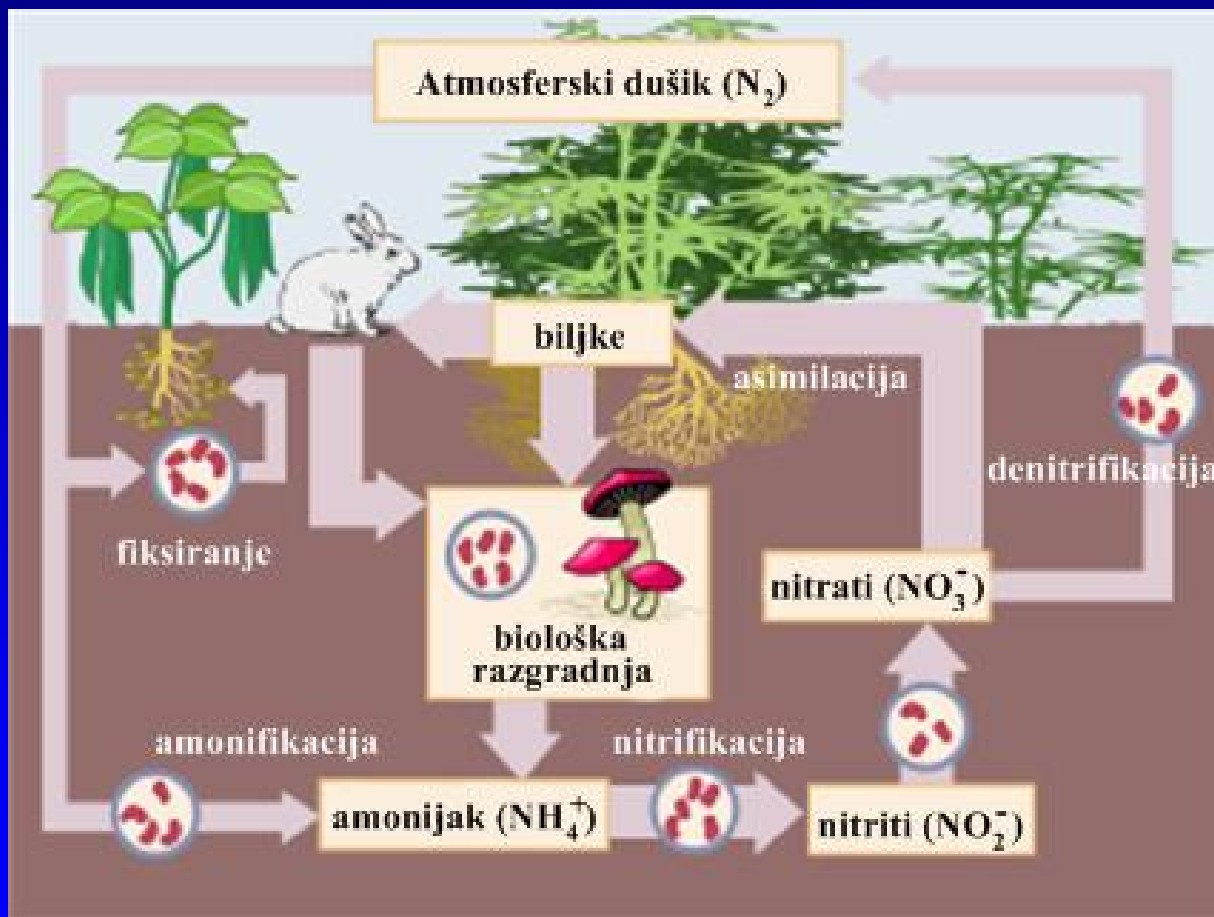
Svi kemijski elementi koji se pojavljuju u organizmima dio su biogeokemijskih ciklusa.

Biogeokemijski ciklusi označavaju **kretanje kemijskih elemenata ili molekula između biotičkih (biosfera) i abiotičkih (hidrosfera, litosfera i atmosfera) dijelova Zemlje.**

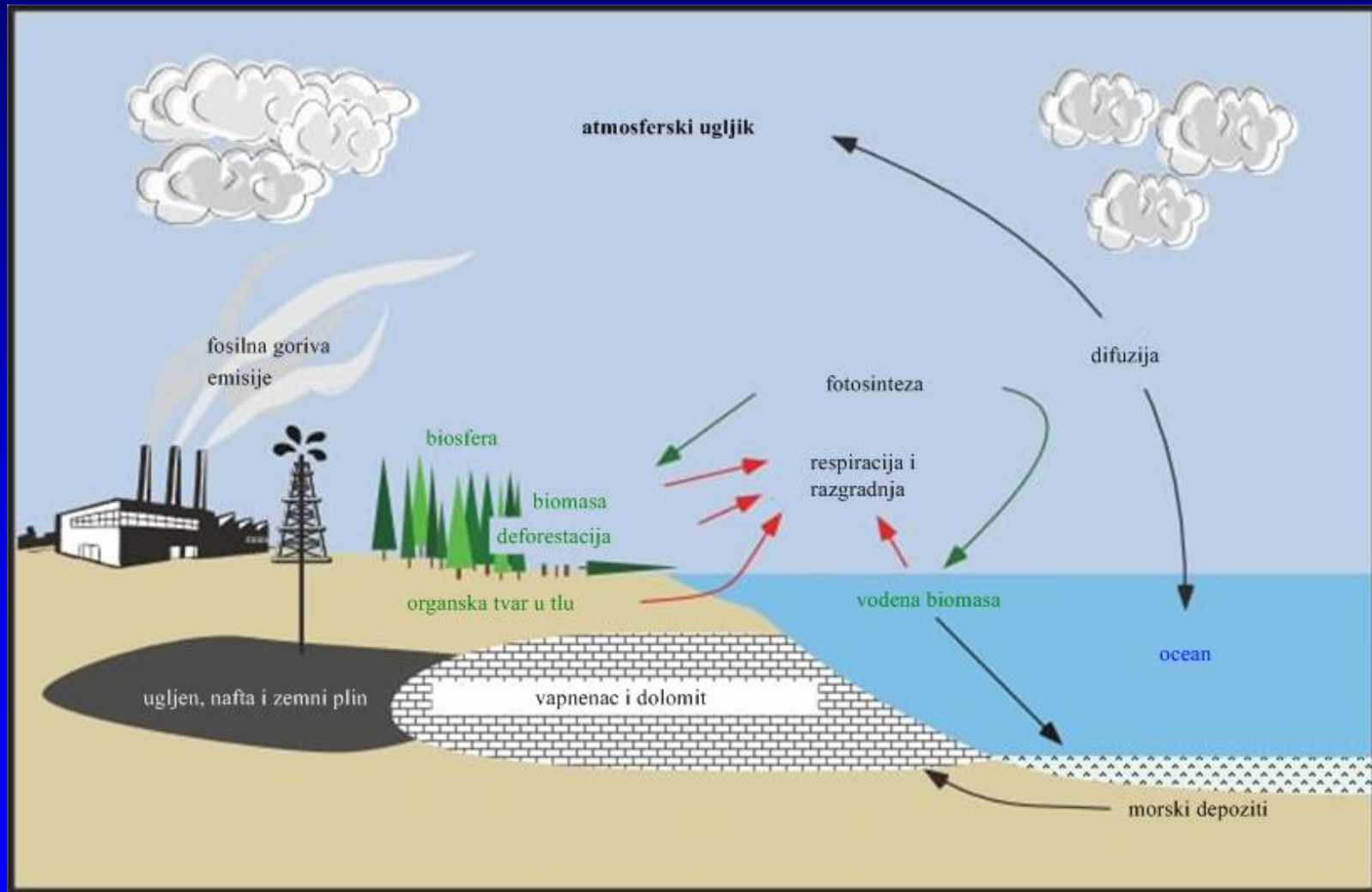
### ***Najznačajniji biogeokemijski ciklusi:***

- ciklus/kruženje dušika, kisika, ugljika, sumpora, fosfora i vode
- u novije vrijeme počinju se izučavati ciklusi žive i atrazina koji također mogu utjecati na učestalost pojave određenih spojeva u okolišu.

# Ciklus/kruženje dušika

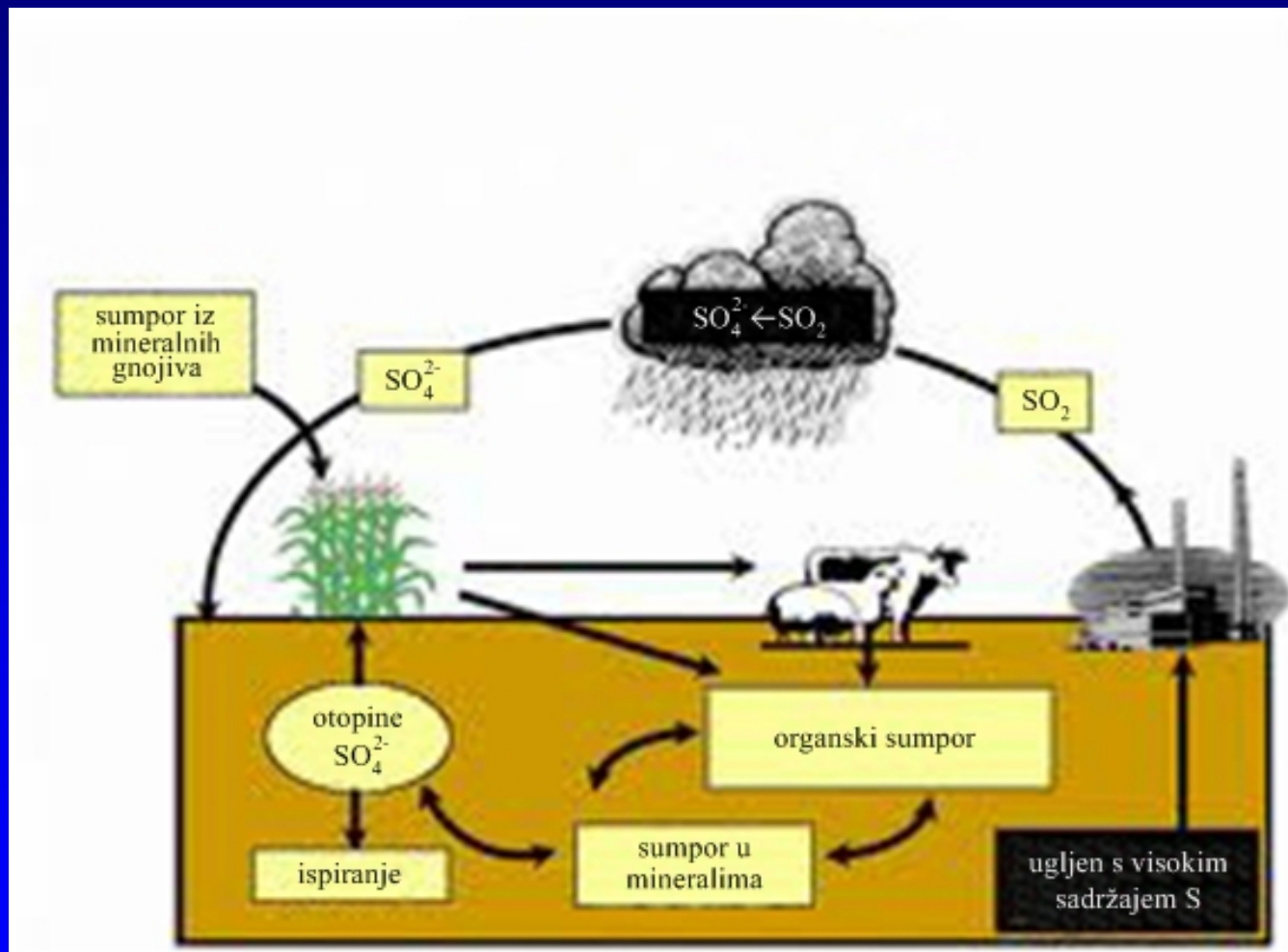


# Ciklus/kruženje ugljika



M. Pidwirny, (2006). "The Carbon Cycle". *Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition, <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/9r.html>

# Ciklus/kruženje sumpora



## POVIJEST ONEČIŠĆENJA ZRAKA

*Ako ne učimo iz prošlosti nećemo uspjeti u budućnosti.*

*Paul Crutzen, 1995.*

400 BC – Hipokrat uočava povezanost onečišćenja zraka i gradova

61 AD – Seneka piše o onečišćenju u Rimu

1285 . – veliko onečišćenje zraka u Londonu zbog izgaranja jeftinog ugljena; tzv. “Londonski smog”; donošenje prvog pravnog akta o onečišćenju zraka

**1952. – “Veliki Londonski smog” četverodnevna magla u Londonu - od posljedica onečišćenja umrlo 4.000 Londončana**

1970. – emisija radionuklida, Three Mile Island, USA

1984. – ispuštanje metilnog izocijanata u Bhopalu, India

1986. – ispuštanje radionuklida, Černobil, Ukrajina

**⇒ ubrzani industrijski razvoj, nagli porast broja stanovnika i «krize goriva»**

# Kad se počelo intenzivnije razmišljati o zaštiti zraka?

- Rimski zakon: *Aerem corrumpere non licet* Nije dozvoljeno onečišćenje zraka
- **1956.** Pravilnik o čistom zraku, London (Air Pollution Control Act): uvođenje zona bez dima (“smokeless zones”); uvodi se obaveza uporabe čišćeg ugljena



*The Fog of London, Dec 5th , 1952*

- intenzivniji naponi javljaju se 70-tih godina prošlog stoljeća (SAD – Clean Air Act, **1970.**)
- naftna kriza 1973. god. i porast svijesti o problemima uzrokovanim onečišćenjem okoliša (aktivnosti usmjerene protiv vijetnamskog rata - uporaba TCDD-a, tzv. narančastog agensa i ostali događaji)



# Što mi možemo učiniti?

*Zakonodavstvo – na državnoj i EU razini:*

- 1992. UN konvencija o klimatskim promjenama
- 1997. Kyoto protokol (smanjenje emisija stakleničkih plinova za 7 % u odnosu na razinu iz 1990. u periodu od 2008.-2012.)
- do 2050. radikalno smanjenje emisija CO<sub>2</sub>: do 80 % ukupno, u proizvodnji el. energije do 95 %!

*Na razini pojedinaca:*

- smanjenje potrošnje energije; smanjenje nastajanja otpada; sadnja drveća; recikliranje i supstitucija produkata...

*Na razini inženjera i znanstvenika:*

- utjecaj na društvenu svijest (odgoj i obrazovanje); **poboljšanje postojećih i razvoj novih tehnologija za smanjenje emisija i/ili pronalaženje alternativnih izvora energije i određenih produkata**; utjecati na smanjenje globalnih promjena (misliti globalno, djelovati lokalno)