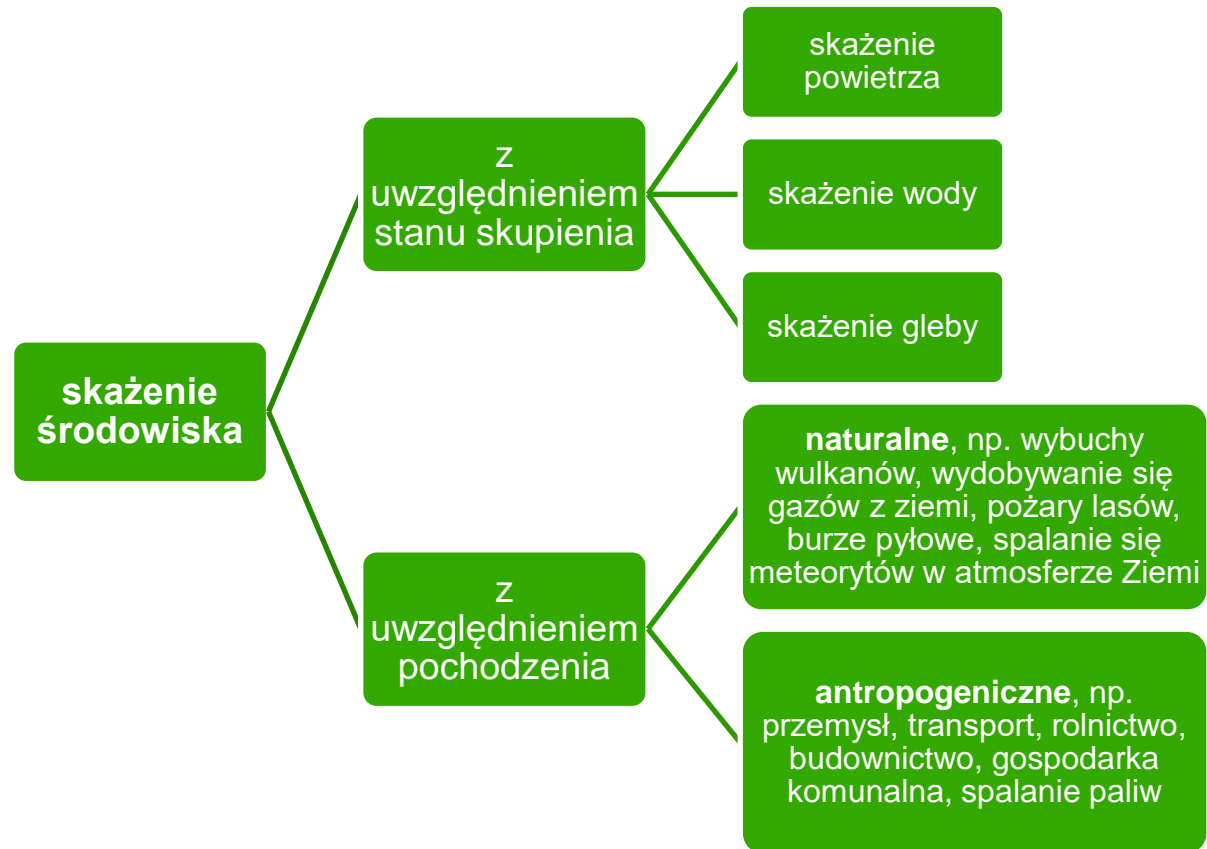


**Ochrona  
środowiska  
w technologii  
chemicznej  
(OŚTCh)**



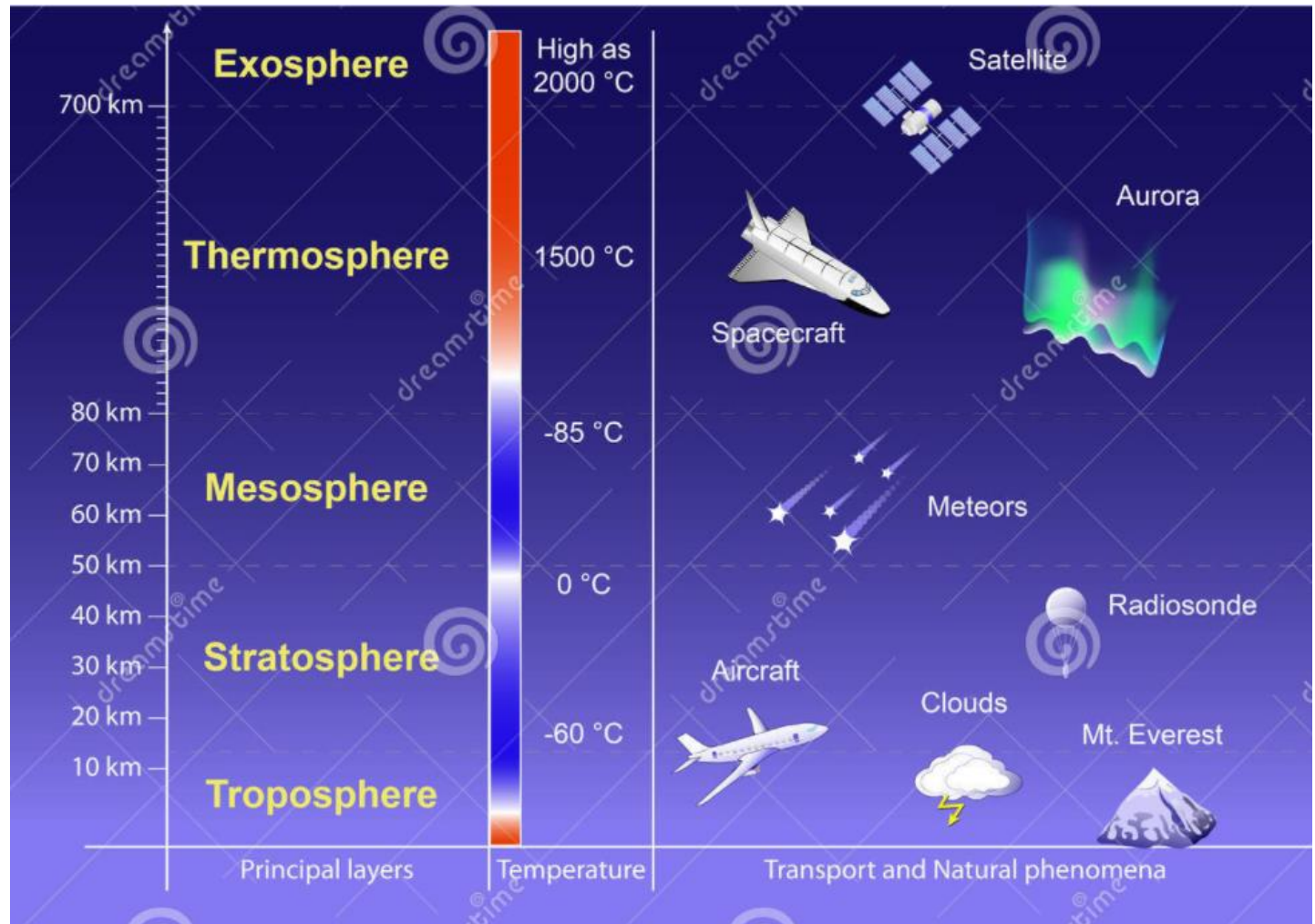


**Zanieczyszczanie powietrza** - wprowadzanie przez człowieka, bezpośrednio lub pośrednio, do powietrza: substancji stałych, ciekłych lub gazowych w takich ilościach, które mogą zagrażać zdrowiu człowieka, ujemnie wpływać na klimat, przyrodę żywą, glebę lub wodę, a także spowodować inne szkody w środowisku.

**Źródło emisji zanieczyszczeń powietrza** - miejsce, w którym następuje wprowadzenie (wyemitowanie) do powietrza substancji zanieczyszczających (zakłady energetyczne, zakłady przemysłowe, kotłownie komunalne, paleniska indywidualne (domowe), transport gospodarka ściekami i odpadami, rolnictwo, przemiany i reakcje chemiczne zachodzące w zanieczyszczonej atmosferze oraz źródła naturalne (np. pożary lasów, burze pyłowe, pyły kosmiczne)).



# Struktura atmosfery



# Struktura atmosfery

## 1. Troposfera (sfera życia)

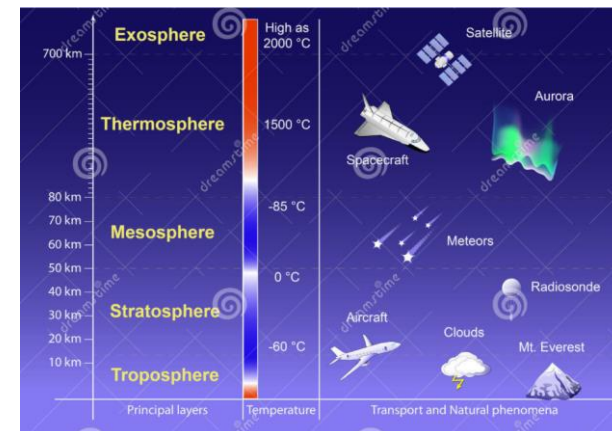
- otacza bezpośrednio powierzchnię Ziemi i sięga średnio do wys. ok. 12 km
- skupia ponad 75% wagowej całości gazów atmosferycznych, zawiera prawie 100% atmosferycznej pary wodnej i pyłów;
- temperatura spada w niej wraz z wysokością; ok. 11 km nad powierzchnią Ziemi temperatura spada do  $-55^{\circ}\text{C}$ ;
- zachodzą w niej procesy kształtujące pogodę i warunkujące cechy klimatu (następuje w niej kondensacja pary wodnej oraz parowanie, tworzenie się chmur i opady);
- zachodzą w niej silne pionowe i poziome ruchy mas powietrza.

## 2. Stratosfera

- rozciąga się do wys. ok. 50 km nad powierzchnię Ziemi
- skupia ok. 19% gazów atmosferycznych
- zachodzą w niej bardzo silne poziome ruchy mas powietrza tzw. **prądy strumieniowe**
- temperatura **wzrasta** wraz z wysokością od ok.  $-55^{\circ}\text{C}$  do ok.  $0^{\circ}\text{C}$ ; wzrost temperatury związany jest z pochłanianiem promieniowania nadfioletowego przez ozon
- w górnej części znajduje się warstwa ozonowa - ozonosfera

## 3. Mezosfera

- sięga do 80 km nad powierzchnią Ziemi
- następuje w niej **spadek** temperatury wraz z wysokością do ok.  $-90^{\circ}\text{C}$



## 4. Termosfera

- sięga do 300 km nad powierzchnią Ziemi
- temperatura **wzrasta** do  $+1500^{\circ}\text{C}$ ,
- **jonosfera** - warstwa w której występuje znaczna ilość atomów i cząstek gazów naładowanych elektrycznie;
- występują tu zjawiska **zorzy polarnej** (świecenie zjonizowanych atomów tlenu i azotu; od naładowanych cząstek i atomów gazów odbijają się fale radiowe umożliwiające łączność na całym świecie)

## 5. Egzosfera

- zewnętrzna, najwyższa warstwa atmosfery ziemskiej
- charakteryzuje się silnym rozrzedzeniem powietrza
- prawdopodobnie granica na wysokości 2000 km
- powyżej egzosfera przechodzi niepostrzeżenie w przestrzeń kosmiczną (próżnię międzyplanetarną)
- temperatura w niej powoli **obniża się**, by w przestrzeni kosmicznej osiągnąć  $-273^{\circ}\text{C}$



# Skład powietrza atmosferycznego

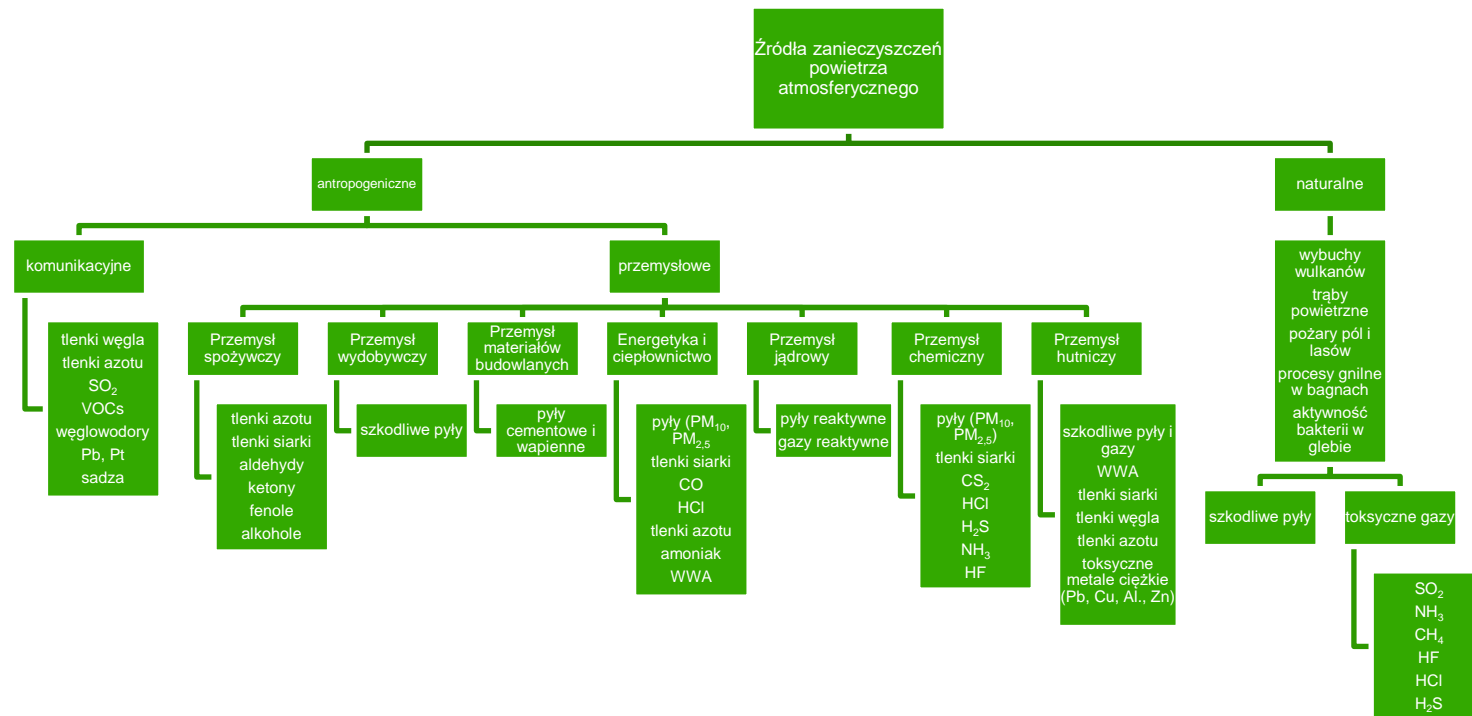
Składnik	Wzór	Udziały w częściach na milion (ppm), wagowe
Azot	N <sub>2</sub>	780 900
Tlen	O <sub>2</sub>	209 500
Argon	Ar	9 340
Woda	H <sub>2</sub> O	5000 – 40 000
dwutlenek węgla <sup>a,b</sup>	CO <sub>2</sub>	360
Neon	Ne	18
Hel	He	5,2
Metan <sup>a,b</sup>	CH <sub>4</sub>	1,7
Krypton <sup>b</sup>	Kr	1,14
Wodór	H <sub>2</sub>	0,58
Podtlenek azotu <sup>a</sup>	N <sub>2</sub> O	0,5
Ksenon	Xe	0,09
Tlenek węgla <sup>a</sup>	CO	0,03 – 0,12
Ozon <sup>b</sup>	O <sub>3</sub>	0,01 - 0,15
Amoniak <sup>a</sup>	NH <sub>3</sub>	0,01
Dwutlenek azotu <sup>a,b</sup>	NO <sub>2</sub>	0,001

<sup>a)</sup>substancje uważane za zanieczyszczenia powietrza

<sup>b)</sup>substancje mogące występować w wyższym stężeniu niż podane w tabeli



# Źródła zanieczyszczeń powietrza - podział



## Kryteria klasyfikacji i podziału zanieczyszczeń powietrza

**a) ze względu na rodzaj substancji**

- gazy
- aerozole

**b) ze względu na genezę**

- pierwotne
- wtórne





## Główne rodzaje zanieczyszczeń powietrza

- CO i CO<sub>2</sub>
- NO<sub>x</sub> (NO i NO<sub>2</sub>) oraz N<sub>2</sub>O
- SO<sub>x</sub> (SO<sub>2</sub> i SO<sub>3</sub>) i inne
- utleniacze fotochemiczne
- pyły i aerozole
- związki i opary metali i metaloidy
- WWA
- LZO i NMLZO
- chlorowcowane węglowodory i polichlorowane związki organiczne
- radionuklidy



## Całkowita emisja głównych zanieczyszczeń powietrza

Total emission of main air pollutants

Wyszczególnienie Specification	2000	2005	2010	2015	2017	2018
	w tysiącach ton in thousand tonnes					
Dwutlenek siarki Sulphur dioxide	1 341	1 132	817	639	526	502
Tlenki azotu <sup>a</sup> Nitrogen oxides <sup>a</sup>	858	868	881	723	780	762
Dwutlenek węgla Carbon dioxide	317 338	323 161	334 607	313 099	337 340	337 706
Tlenek węgla Carbon oxide	3 360	2 968	2 999	2 247	2 390	2 339
Niemetanowe lotne związki organiczne Volatile non-methane organic compounds	1 056	1 052	1 057	988	1 014	989
źródła antropogeniczne anthropogenic sources	825	811	806	729	757	733
przyroda nature	231	241	251	259	257	256
Amoniak Ammonia	331	325	303	285	307	317
Pyły Particulates	402	431	429	364	377	378

<sup>a</sup> Wyrażone w NO<sub>2</sub>.

Źródło: dane Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami IOŚ-PIB.

<sup>a</sup> Expressed in NO<sub>2</sub>.

Source: data of the National Centre for Emissions Management IEP-NRI.

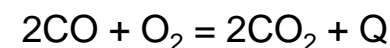
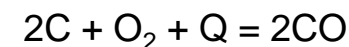


# Charakterystyka zanieczyszczeń powietrza - tlenki węgla

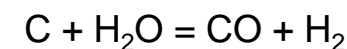
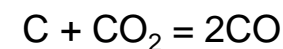
## CO i CO<sub>2</sub>

Źródła emisji tlenków węgla:

- **procesy spalania węgla zawartego w paliwach:** w przemyśle energetycznym, transporcie, przemyśle wytwórczym i budownictwie
- procesy przemysłowe i użytkowanie produktów



reakcje wtórne:



CO	CO <sub>2</sub>
bezbarwny bezwonny gaz palny trujący	bezbarwny bezwonny niepalny nietoksyczny



# Charakterystyka zanieczyszczeń powietrza - tlenki azotu

## $\text{NO}_x$ ( $\text{NO}$ i $\text{NO}_2$ ) oraz $\text{N}_2\text{O}$

$\text{NO}$	$\text{NO}_2$	$\text{N}_2\text{O}$
bezbarwny bezwonny	brunatny trujący żrący	tzw. gaz rozweselający stosowany m.in. do znieczulania anestezjologicznego i w zabiegach dentystycznych bezbarwnym niepalnym o słabej woni

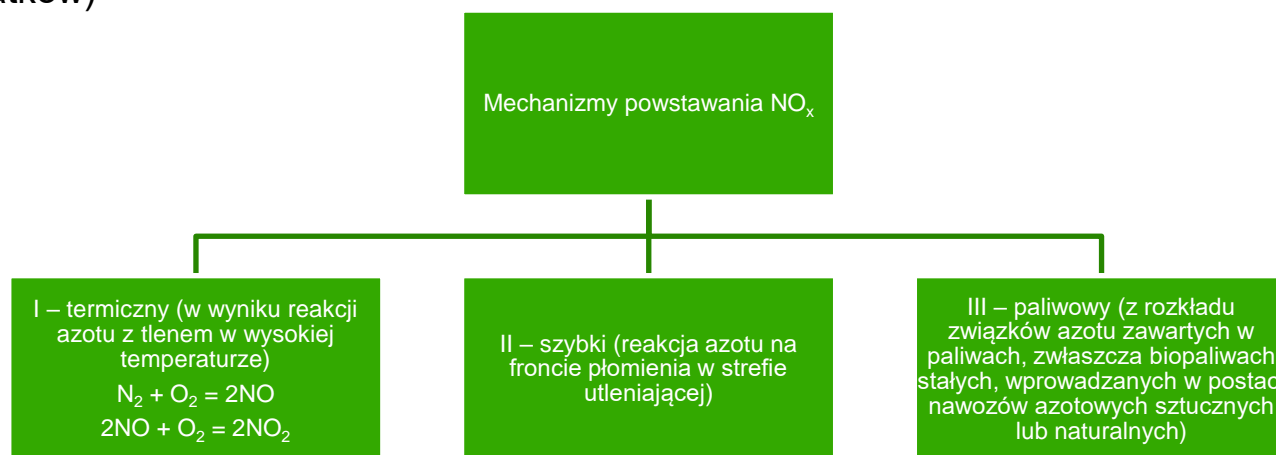


# Charakterystyka zanieczyszczeń powietrza - tlenki azotu

## $\text{NO}_x$ ( $\text{NO}$ i $\text{NO}_2$ ) oraz $\text{N}_2\text{O}$

$\text{NO}_x$  powstają głównie w procesach spalania z azotu i tlenu (zawartych w powietrzu) podczas:

- energetycznego spalania paliw
- koksowania węgla (w trakcie spalania gazu w komorach grzewczych baterii koksowniczych)
- spalania paliw w silnikach mechanicznych (samochodów, lokomotyw, samolotów, statków)



Źródła emisji  $\text{N}_2\text{O}$ :

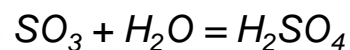
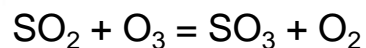
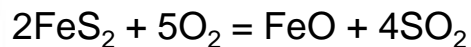
- rolnictwo (emisja z gleb rolnych oraz gospodarka odchodami zwierzęcymi)
- procesy spalania paliw
- gospodarka ściekami
- przemysł chemiczny



# Charakterystyka zanieczyszczeń powietrza - związki siarki

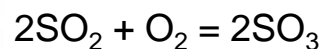
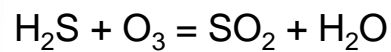
## SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> i inne

Powstają głównie w procesach spalania węgla, w którym siarka występuje w postaci pirytu.



Związki siarki, oprócz tlenków, są wprowadzane do środowiska głównie w postaci siarkowodoru (H<sub>2</sub>S) i dwusiarczku węgla (CS<sub>2</sub>) przez:

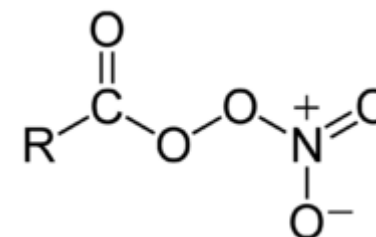
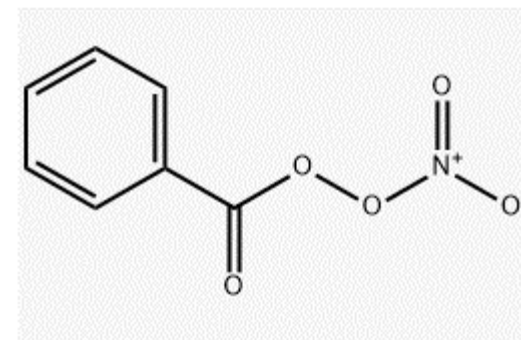
- przemysł wiskozowy
- koksownie
- garbarnie
- gazownie



# Charakterystyka zanieczyszczeń powietrza – utleniacze fotochemiczne

- wtórne zanieczyszczenia atmosfery, ponieważ tworzą się w wyniku reakcji fotochemicznych z udziałem zanieczyszczeń pierwotnych
- *należą do nich głównie:*

- ❖  $O_3$
- ❖ azotan peroksybenzoilu (PBN)
- ❖ azotan peroksyloacetylu (PAN)
- ❖ rodniki  $HO^\bullet$
- ❖ pochodne NO





# Charakterystyka zanieczyszczeń powietrza – pyły i aerozole

**Pyły i popioły pochodzenia naturalnego (aerozol atmosferyczny)** – drobnoziarnista mieszanina: piasku, bakterii, saprofitów, wirusów, cząsteczek pleśni, glonów, zarodków, grzybów, pyłków traw i kwiatów, nasion, cząstek biomasy.

**Pyły antropogeniczne** – stałe składniki mineralne, które powstają po spaleniu paliw

**Pył zawieszony** składa się z wielu pierwiastków i związków chemicznych, a jego skład jest ściśle związany z pochodzeniem, miejscem występowania, porą roku i pogodą.

W Polsce pył zawieszony składa się przede wszystkim z węgla w postaci związków organicznych, węgla elementarnego, siarczanów, azotanów, chlorków, związków amonowych, związków krzemu, aluminium i żelaza oraz śladowych ilości metali ciężkich (np. Cd, Pb, Hg, Zn, Cu, Ni, As).

Ze względu na wielkość cząstek wyróżnia się:

- TSP – Total Suspended Particulates – całkowity pył zawieszony w powietrzu
- pył PM<sub>10</sub> – Particulate matter PM10 – frakcja pyłu zawieszonego o średnicy cząstek 10 µm i mniejszej,
- pył PM<sub>2,5</sub> – Particulate matter PM2,5 – frakcja pyłu zawieszonego o średnicy cząstek poniżej 2,5 µm.

**Aerozole** – występujące w atmosferze cząstki o wymiarach koloidalnych (zarówno stałe jak i ciekłe)

**Główne źródła emisji materii zawieszonych do powietrza atmosferycznego:**

- emisje z silników pojazdów mechanicznych, głównie napędzanych silnikiem Diesla
- niskosprawne systemy grzewcze
- wybuchy wulkanów
- elektrownie węglowe
- spalanie biomasy



## Charakterystyka zanieczyszczeń powietrza – **związki i opary metali i metaloidy**

**Metale ciężkie** - grupy metali i półmetali szczególnie niebezpiecznych i toksycznych dla środowiska przyrodniczego, zdrowia i życia człowieka i innych organizmów żywych.

Do metali ciężkich najczęściej zalicza się: kadm, rtęć, ołów, arsen, chrom, miedź, nikiel, cynk. Toksyczne działanie ww. pierwiastków związane jest z ich zdolnością do akumulacji w organizmach i w środowisku.

### **Źródła emisji metali ciężkich:**

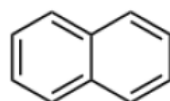
- przemysł metalurgiczny
- procesy spalania paliw w przemyśle i w gospodarstwach domowych



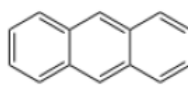
# Charakterystyka zanieczyszczeń powietrza – WWA

**WWA** – wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (polycyclic aromatic hydrocarbons PAH, polynuclear aromatics PNAs lub polycyclic organic matter POM)

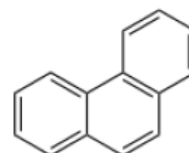
- policykliczne węglowodory zawierające skondensowane pierścienie aromatyczne bez podstawników
- składają się z dwóch do ośmiu pierścieni aromatycznych



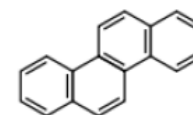
naftalen



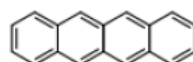
antracen



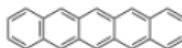
fenantren\*



chryzen\*



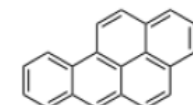
naftacen



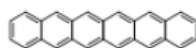
pentacen



piren



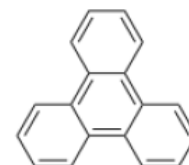
benzo(a)piren\*



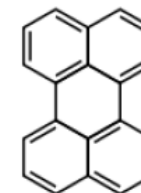
heksacen



koronen



trifenylen



perylen

## Źródła WWA:

- procesy spalania paliw kopalnianych
- produkcja energii w elektrowniach i elektrociepłowniach
- praca pojazdów silnikowych
- działalność przemysłu ciężkiego koksowni, rafinerii i hut
- palenie wyrobów tytoniowych,
- obróbka termiczna żywności poprzez wędzenie, grillowanie albo smażenie
- spalanie drewna (zwłaszcza iglastego)
- spalanie śmieci

## Charakterystyka zanieczyszczeń powietrza – LZO i NMLZO

**LZO** – lotne związki organiczne (Volatile Organic Compounds – VOCs)

**NMLZO** - niemetanowe lotne związki organiczne (non-methane Volatile Organic Compounds NMVOCs)

- należą tu w głównej mierze węglowodory aromatyczne i alifatyczne, alkohole, estry, terpeny, aldehydy i ketony
- związki, które w bardzo łatwy sposób przechodzą w postać pary lub gazu, czyli z łatwością zmieniają swój stan skupienia i ulatniają się, przedostając do otoczenia,
- charakteryzują się wysoką prężnością par (prężność par w temperaturze 25°C jest większa niż  $10^{-1}$  Tr) i niską rozpuszczalnością w wodzie
- temperatura wrzenia tych substancji mieści się w zakresie: 50-250°C (pomiar w warunkach ciśnienia normalnego 101,3 kPa)

Przykładowe lotne związki organiczne:

- aceton (farby, pokrycia ochronne, zmywacze, materiały wykończeniowe i uszczelnienia)
- węglowodory alifatyczne - dekan, oktan, heksan (farby, kleje, procesy spalania, składniki uszczelniaczy, fotokopiarki, benzyna, dywany, linoleum)
- węglowodory aromatyczne - toluen, ksylen, benzen (procesy spalania, kleje, farby, benzyna, linoleum, tynki, masy gipsowe)
- związki zawierające chlor - dichlorometan, chlorek metylu, trichloroetan (tapicerowanie, środki do czyszczenia dywanów, lakiery, zmywacze, rozpuszczalniki)
- octan n-butyłu (pokrycia dźwiękochłonne, linoleum, uszczelnienia)
- dichlorobenzen (środki przeciw molom, odświeżacze powietrza, dywany)
- 4-fenylocykloheksen (farby, dywany)
- terpeny (nabłyszczacze, środki czystości, dezodoranty, zmiękczacze, papierosy)



## Charakterystyka zanieczyszczeń powietrza – LZO i NMLZO

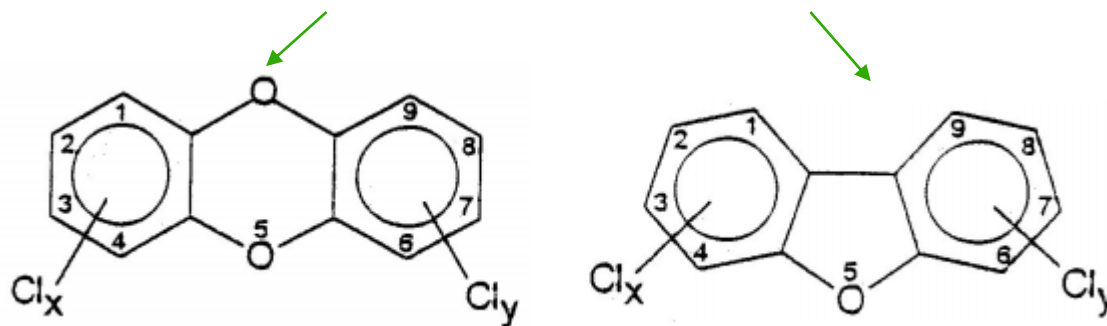
### Główne źródła emisji związków chemicznych z grupy lotnych związków organicznych do powietrza atmosferycznego

- przemysł petrochemiczny
- składowiska odpadów komunalnych
- spalanie paliw kopalnianych
- emisja z pojazdów mechanicznych napędzanych silnikami diesla
- parowanie rozpuszczalników organicznych i wycieki gazów
- biologiczny rozkład odpadów
- produkcja tworzyw sztucznych takich jak żywice, farby i pestycydy



# Charakterystyka zanieczyszczeń powietrza - chlorowcowane węglowodory i polichlorowane związki organiczne

- lotne chlorowcowane węglowodory używane jako rozpuszczalniki – chloroform, tetrachlorek węgla, chlorek metylenu, tetrachloroetylen
- polichlorowane dibenzodiodksyny PCDDs i polichlorowane dibenzofurany PCDFs



PCDD i PCDF nie są produkowane komercyjnie, ale powstają w śladowych ilościach jako niepożądane zanieczyszczenia przy produkcji innych chemikaliów, takich jak chlorofenole i ich pochodne, chlorowane etery difenyłowe i polichlorowane bifenyle (PCB). Trwające lub wcześniejsze stosowanie pentachlorofenolu (PCP) jest uważane za główne źródło PCDD i PCDF w wielu krajach przemysłowych. PCDD i PCDF powstają również w procesach spalania, takich jak spalanie odpadów oraz w produkcji żelaza i stali.

# Charakterystyka zanieczyszczeń powietrza - chlorowcowane węglowodory i polichlorowane związki organiczne

- CFC - chlorofluorowęglowodory - grupa chloro- i fluoropochodnych węglowodorów alifatycznych

**Freony** – chlorowcopochodne metanu i etanu, w których cząsteczkach wszystkie atomy wodoru zostały podstawione atomami chloru i fluoru

**Halony** – chlorowcopochodne metanu i etanu zawierające dodatkowo atomy bromu

**CFC's** - chlorofluorowęglowodory nie zawierające atomów wodoru w cząsteczce

**HCFC's** – chlorofluorowęglowodory zawierające atomy wodoru w cząsteczce

**HFC's** – fluorowęglowodory nie zawierające atomów chloru i bromu w cząsteczce

**HBFC's** – chlorowce pochodne metanu i etanu zawierające brom w swojej cząsteczce

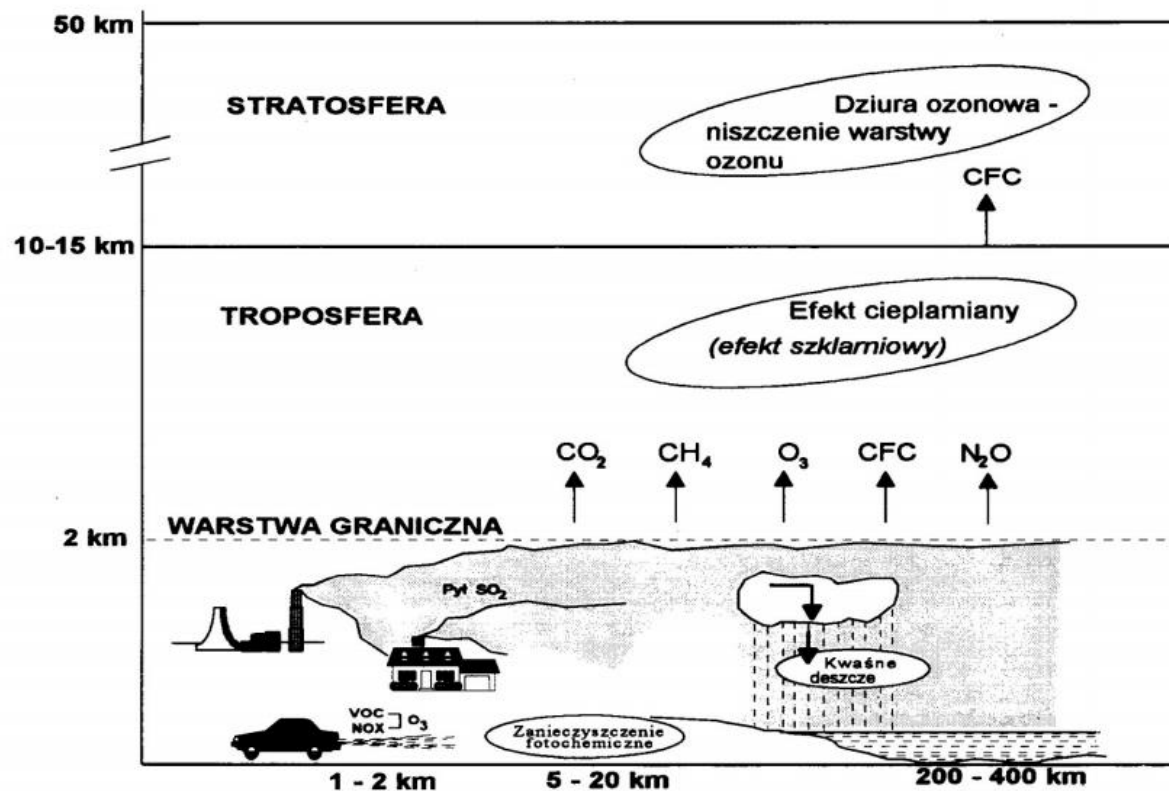
Związek	Oznaczenie	Zastosowanie
$\text{CFCl}_3$	CFC-11	Środek chłodniczy, gaz nośny
$\text{CF}_2\text{Cl}_2$	CFC-12	Środek chłodniczy
$\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$	CFC-113	Środek czyszczący
$\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$	CFC-114	Środek chłodniczy, gaz nośny
$\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$	CFC-115	Środek chłodniczy
$\text{CF}_2\text{BrCl}$	Halon-1211	Środek gaśniczy
$\text{CF}_3\text{Br}$	Halon-1301	Środek gaśniczy
$\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$	Halon-2402	Środek gaśniczy
$\text{CF}_3\text{CHCl}_2$	HCFC-123	za CFC-11, Halon 1211
$\text{CHClF}_2$	HCFC-22	za CFC-11
$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$	HCFC-134a	za CFC-12
$\text{CF}_3\text{CF}_2\text{CHCl}_2$	HCFC-225a	za CFC-113





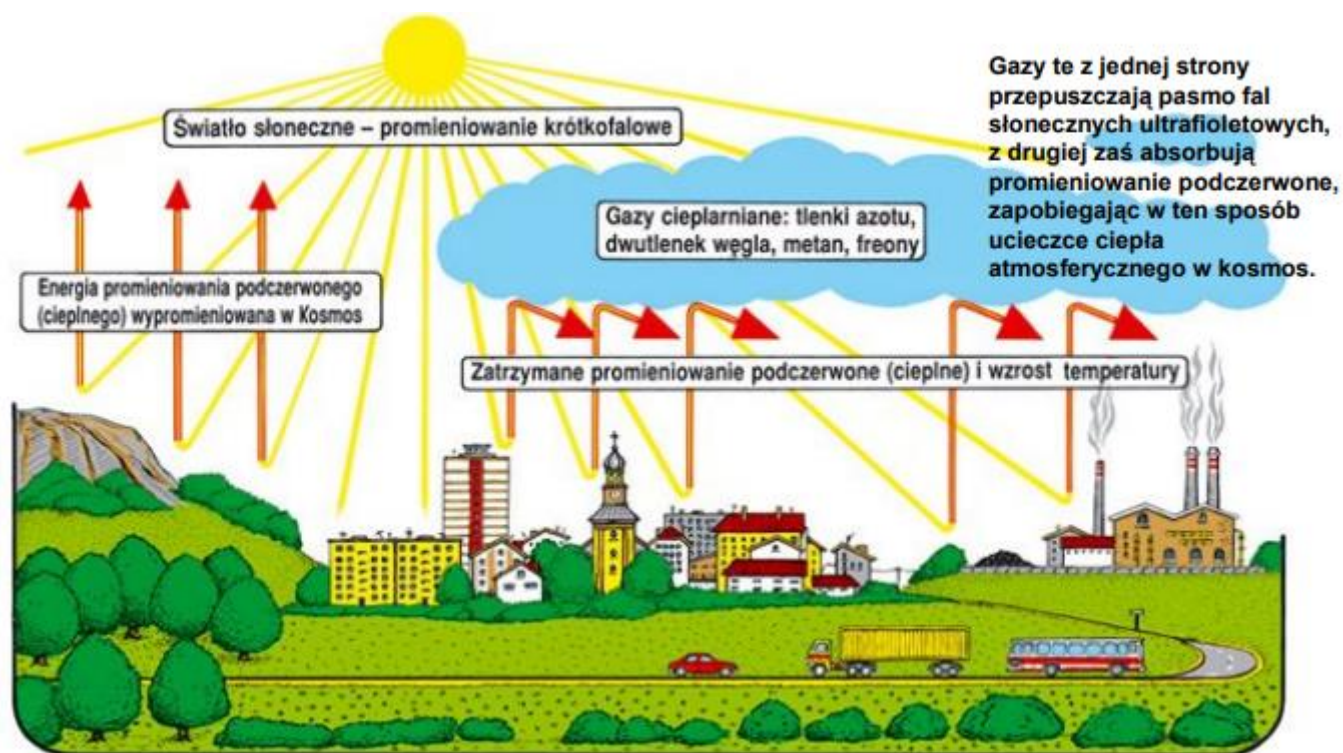
# Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę

- efekt cieplarniany
- smog
- dziura ozonowa
- kwaśne deszcze
- zanieczyszczenie w pomieszczeniach



## Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę - efekt cieplarniany

**Efekt cieplarniany** - zjawisko ocieplenia się klimatu Ziemi, polegające na zatrzymywaniu pewnej ilości ciepła emitowanego do atmosfery. Spowodowany jest wzrostem zawartości w atmosferze gazów cieplarnianych.



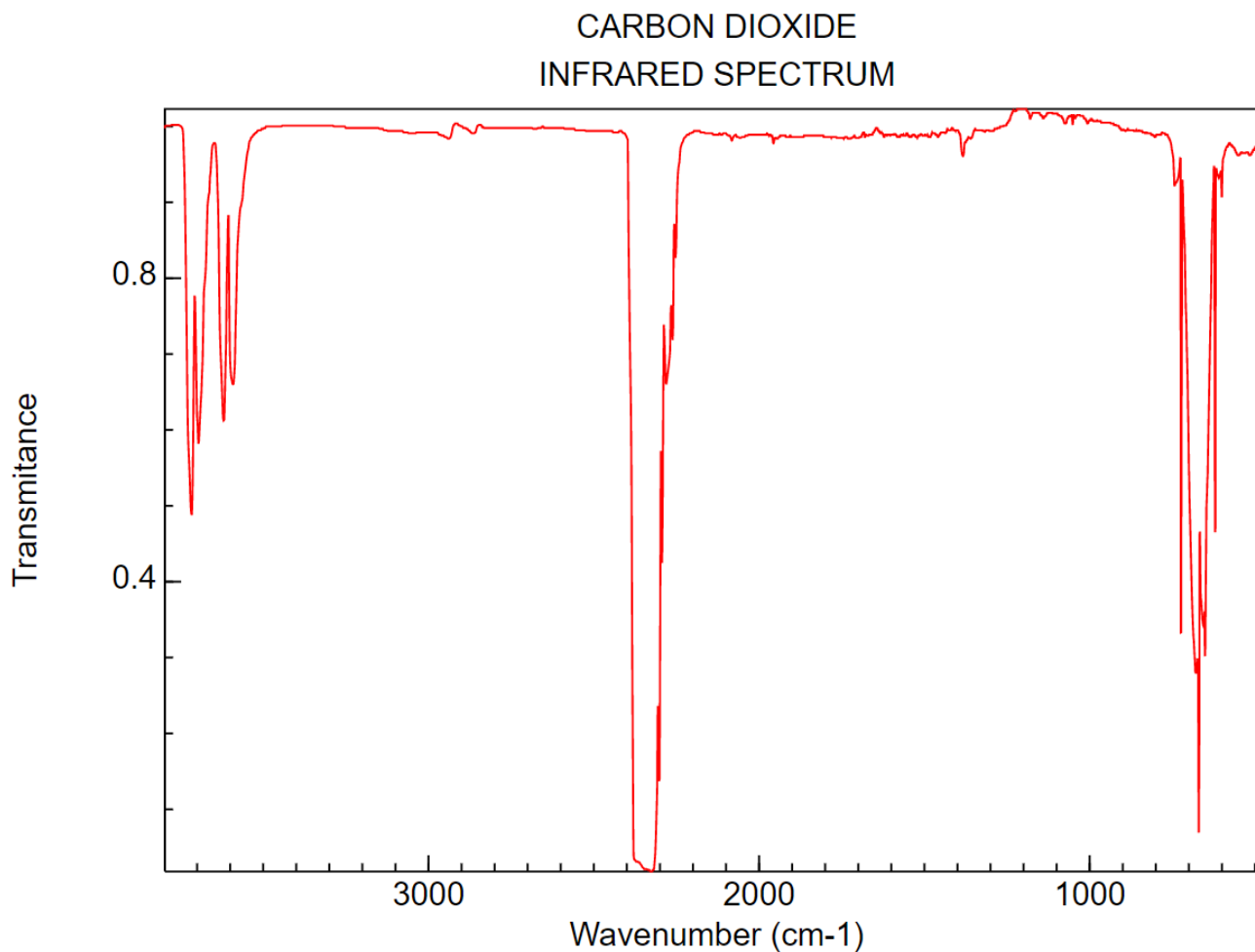
## Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę - efekt cieplarniany

### Gazy cieplarniane (Greenhouse gases, GHG)

- składniki atmosfery ziemskiej, które dzięki swoim właściwościom fizykochemicznym mają zdolność zatrzymywania energii słonecznej w obrębie atmosfery ziemskiej (oddziałują z promieniowaniem termicznym emitowanym przez powierzchnię Ziemi), przyczyniając się do globalnego ocieplenia klimatu
- zalicza się do nich m.in.:
  - dwutlenek węgla ( $\text{CO}_2$ ),
  - metan ( $\text{CH}_4$ ), p
  - podtlenek azotu ( $\text{N}_2\text{O}$ ),
  - chlorofluorowęglowodory (CFCs) i ich substytuty:
    - halony (np.  $\text{CBrClF}_2$ ),
    - wodorofluorowęglowodory (HFCs)
    - wodorochlorofluorowęglowodory (HCFCs)
  - sześćfluorek siarki ( $\text{SF}_6$ )
  - trójfluorek azotu ( $\text{NF}_3$ )
- pozostają w atmosferze przez okres od kilku do tysięcy lat
- wywierają wpływ na klimat na całym świecie, niezależnie od tego, gdzie zostały wyemitowane



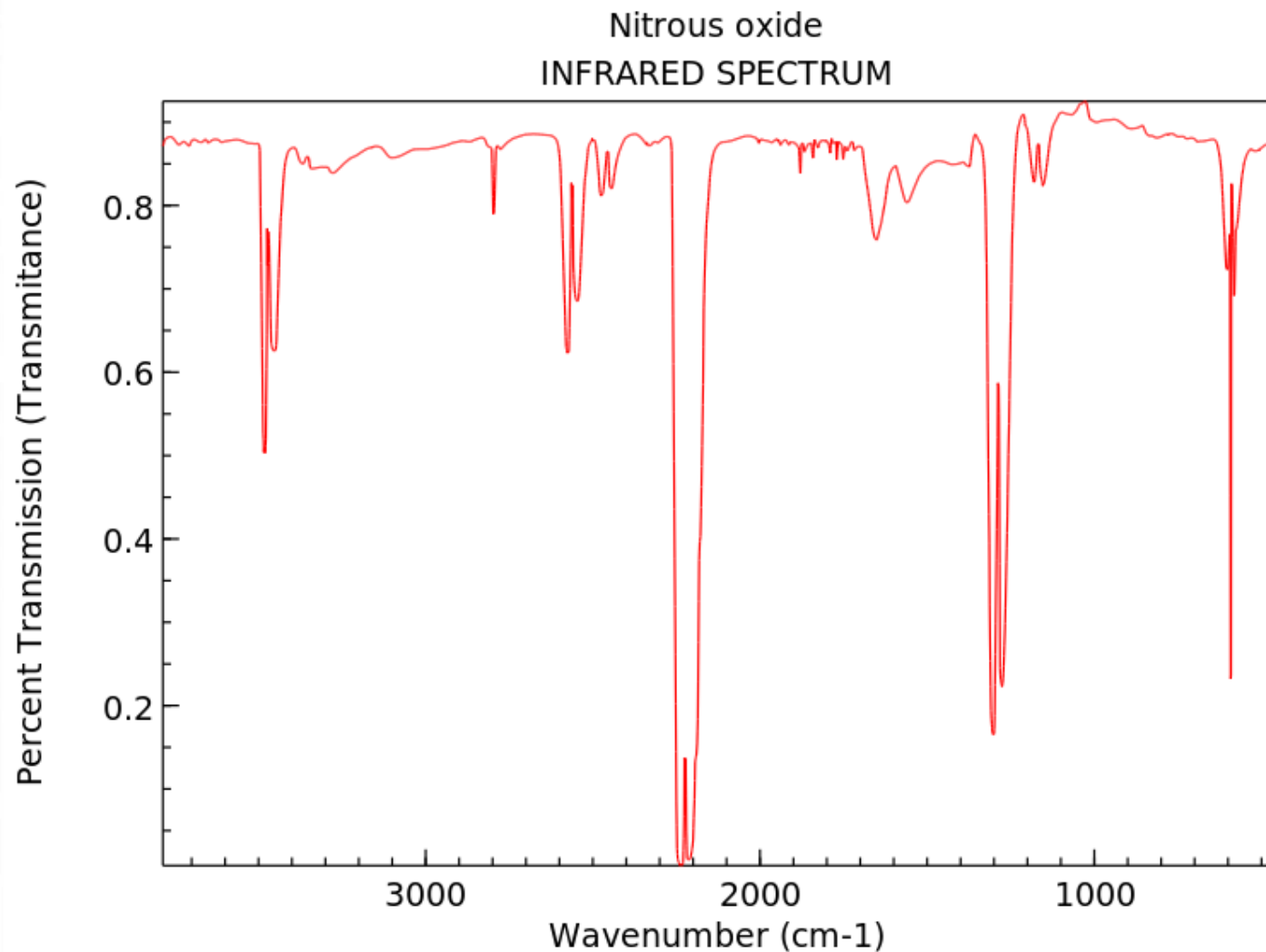
# Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę - efekt cieplarniany



NIST Chemistry WebBook (<https://webbook.nist.gov/chemistry>)



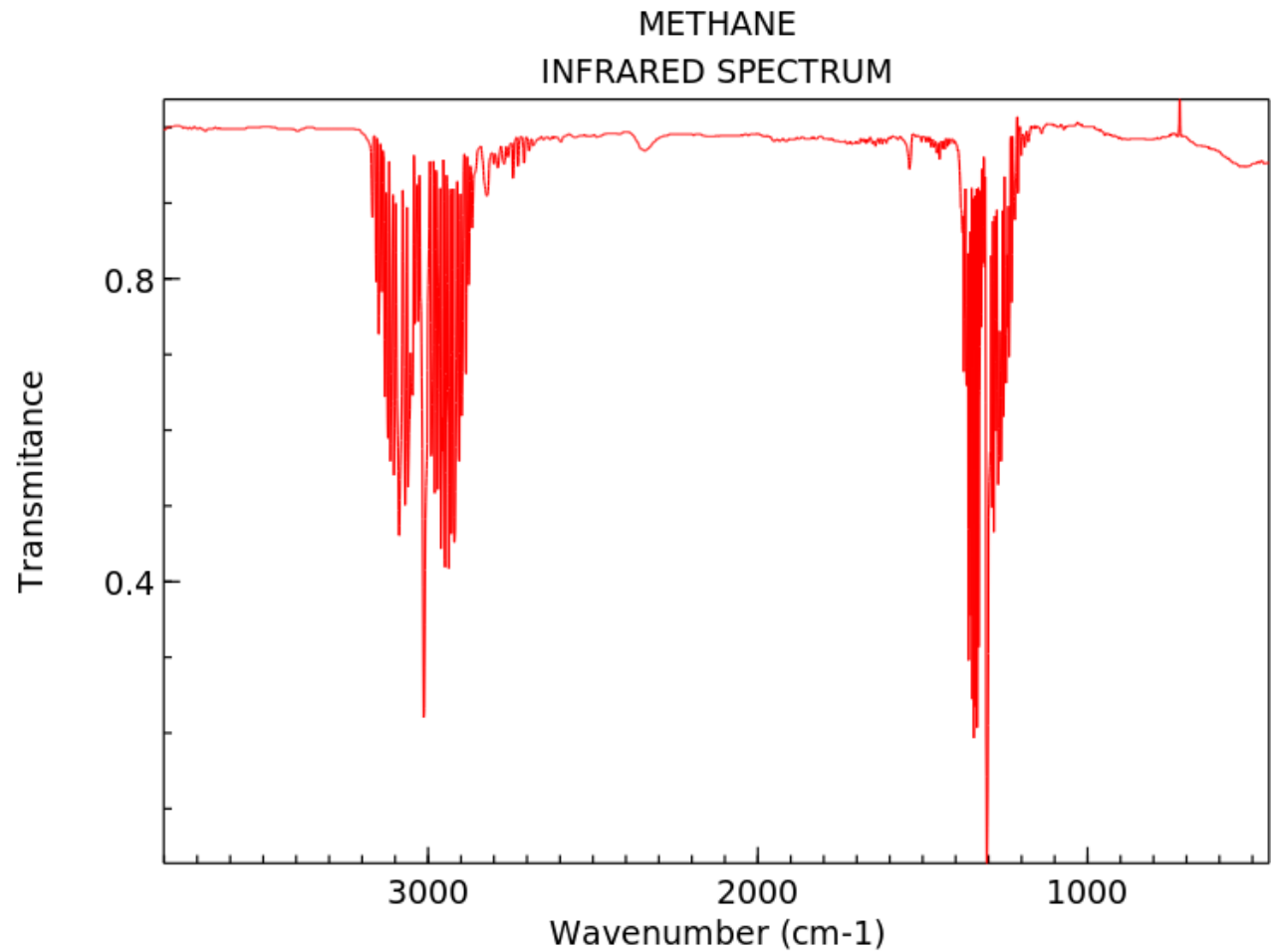
# Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę - efekt cieplarniany



NIST Chemistry WebBook (<https://webbook.nist.gov/chemistry>)



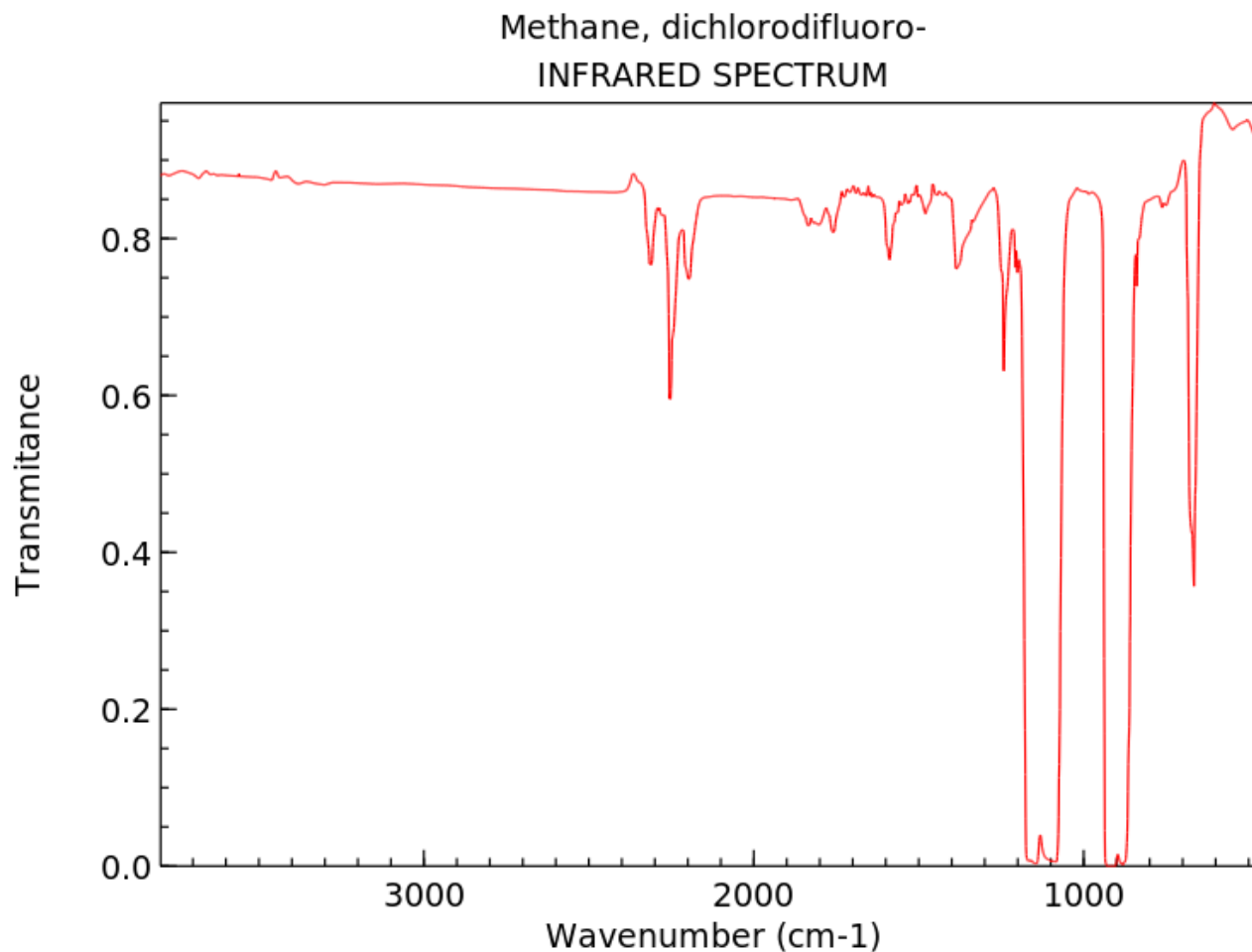
# Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę - efekt cieplarniany



NIST Chemistry WebBook (<https://webbook.nist.gov/chemistry>)



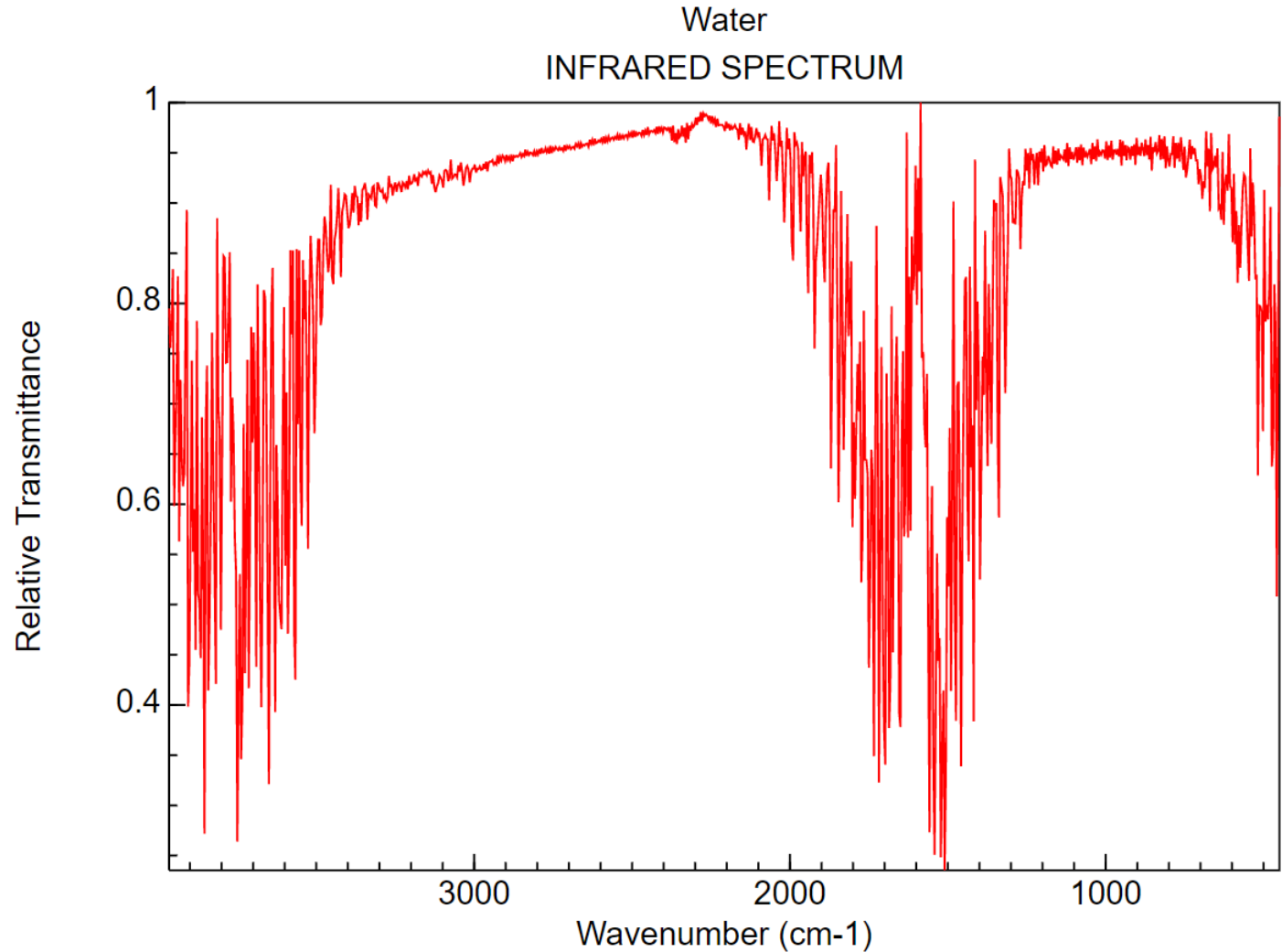
# Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę - efekt cieplarniany



NIST Chemistry WebBook (<https://webbook.nist.gov/chemistry>)



# Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę - efekt cieplarniany



NIST Chemistry WebBook (<https://webbook.nist.gov/chemistry>)



# Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę - efekt cieplarniany

## Skutki efektu cieplarnianego:

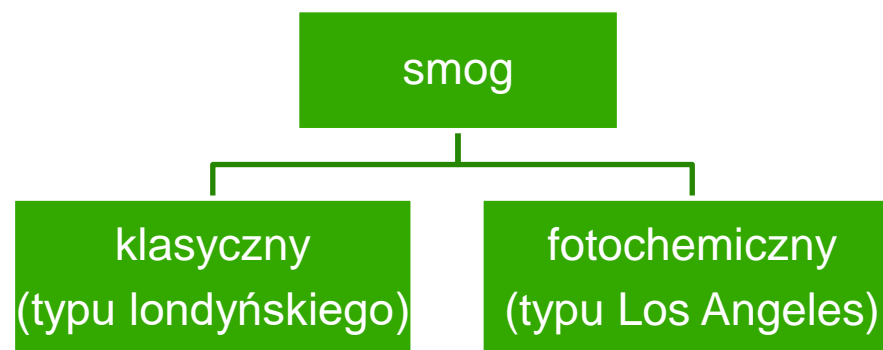
- topnienie lodowców, podniesienie poziomu mórz o około 0,5 m i zalanie terenów nadmorskich, np. Holandii, Missisipi czy Bangladeszu
- przesunięcie stref klimatycznych o 150-500 km ku biegunom do końca XXI wieku
- zaburzenie równowagi w ekosystemach i ginięcie wielu gatunków o małych zdolnościach adaptacyjnych
- zwiększenie częstotliwości występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych i katastrof klimatycznych jak fale upałów, powodzie, huragany, które w bezpośredni sposób zagrażają zdrowiu i życiu.
- wyższe temperatury:
  - poprawa warunków dla rolnictwa w środkowej i północnej części Europy oraz Kanadzie
  - wysuszenie obecnie żyznych terenów, np. w Azji Południowo-Wschodniej czy w USA
  - choroby tropikalne, takie jak malaria, mogą rozprzestrzeniać się na północ i południe



## Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę - smog

### Smog:

- nagłe i silne zanieczyszczenie przyziemnej warstwy powietrza (troposfery) spowodowane dużymi, lokalnymi emisjami gazów i pyłów przy jednoczesnym występowaniu specyficznych warunków meteorologicznych i topograficznych
- postać zanieczyszczenia powietrza, w której widoczność jest częściowo ograniczona przez mgłę składającą się ze stałych cząstek aerozoli i/lub ciekłych aerozoli



# Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę - smog

## Smog klasyczny (inaczej smog typu londyńskiego)

- jest związany ze stosowaniem tradycyjnego paliwa, tj. węgla
- mgła przemysłowa, powstająca podczas niskich temperatur, w wyniku braku ruchu mas powietrza i dużej wilgotności oraz przy dużym stężeniu pyłów w powietrzu
- zawiera głównie tlenek siarki(IV) i tlenek węgla(IV), pyły i sadzę
- ze względu na obecność  $\text{SO}_2$  (łagodnego czynnika redukującego i prekursora słabego kwasu) ogólne właściwości smogu są redukujące i kwasowe
- nazwa pochodzi od opisanego w Londynie w 1952 r. zjawiska znacznie podwyższonego stężenia  $\text{SO}_2$  i pyłu (po ok.  $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) trwającego dwa tygodnie podczas którego odnotowano ok. 4000 zgonów
- w przypadku wystąpienia tego typu smogu na zdefiniowanym obszarze miejskim (aglomeracji) stężenia  $\text{SO}_2$  i pyłów w powietrzu atmosferycznym mogą przekraczać nawet 10 razy dopuszczalne normy
- w Polsce wartością alarmową dla  $\text{SO}_2$  jest  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Wartość dopuszczalna 1h –  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a średnioroczna –  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- w Polsce epizody smogu notowane są przede wszystkim w Krakowie i na Górnym Śląsku

## Źródła i przyczyny smogu londyńskiego

- intensywny proces emisji  $\text{SO}_2$  i pyłu do powietrza atmosferycznego (okres zimowy, paliwa kopalne, niskiej sprawności paleniska domowe)
- słaby lub całkowity brak cyrkulacji powietrza (wiatru) – utrudnia to horyzontalne wymieszanie zanieczyszczeń oraz ich ewentualne usuwanie i transport w inne miejsce
- warstwy inwersyjne – utrudniają wymieszanie zanieczyszczeń w pionie
- lokalna topografia terenu (doliny) i zabudowania
- procesy samooczyszczania powietrza w okresie zimowym są znacznie spowolnione (niższa depozycja mokra, procesy chemiczne wolniejsze)



# Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę - smog

## Smog fotochemiczny (inaczej smog typu Los Angeles)

- wynika z emisji gazów pochodzących ze spalania paliw ciekłych (benzyny, oleju napędowego), głównie w pojazdach mechanicznych
- jest konsekwencją fotochemicznych reakcji pomiędzy pierwotnymi zanieczyszczeniami powietrza pochodzącymi zwłaszcza ze spalin samochodowych, tj. węglowodorami, tlenkami azotu, ozonem prowadzącymi do tworzenia trujących związków
- charakteryzuje się podwyższonym poziomem utleniaczy i produktów reakcji zawierających węgiel
- brunatna mgła, która zwykle pojawia się nad miastami podczas słonecznej gorącej, pogody, przy dużym ruchu ulicznym
- do jego powstania wymagane jest kilka warunków:
  - źródło prekursorów, węglowodorów i tlenków azotów – pochodzących głównie z silników spalinowych
  - nieruchoma atmosfera sprawiająca, że reagenty pozostają na miejscu
  - wysoka temperatura zwiększająca szybkość reakcji termicznych
  - intensywne promieniowanie słoneczne inicjujące reakcje fotochemiczne

### Źródła i przyczyny smogu fotochemicznego:

- duża emisja prekursorów utleniaczy fotochemicznych z sektora transportu drogowego oraz ze źródeł komunalnobytowych
- warunki meteorologiczne:
  - ▫ silne nasłonecznienie,
  - ▫ wysoka temperatura (powyżej 25°C)
  - ▫ „słaby” wiatr (tzw. cisza)
  - ▫ inwersja temperatury
- topografia terenu (zagłębienia terenu)
- lokalizacja nadmorska (bryzy morskie)



# Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę - smog

## Skutki smogu

- zdrowotne (najważniejszy aspekt)
- ❖ zawarte w smogu czynniki alergizujące mogą wywołać astmę oraz jej napady, a także powodować zaostrzenie przewlekłego zapalenia oskrzeli, niewydolność oddechową lub paraliż układu krwionośnego
- ❖ smog powoduje także zmniejszenie masy urodzeniowej płodu, zwiększa zachorowalność na nowotwory jak i zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia astmy u dzieci



- wpływ na roślinność
- zmniejszona widzialność



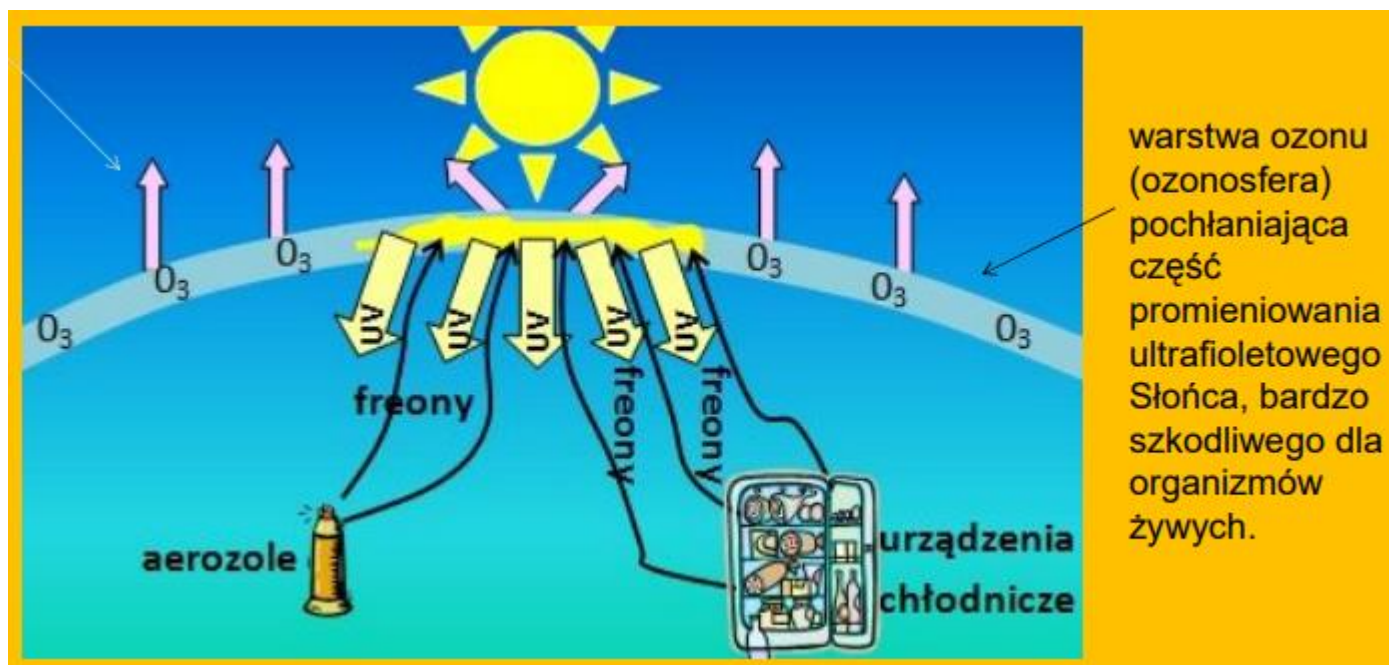
## Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę – dziura ozonowa

### Ozon – właściwości istotne dla środowiska

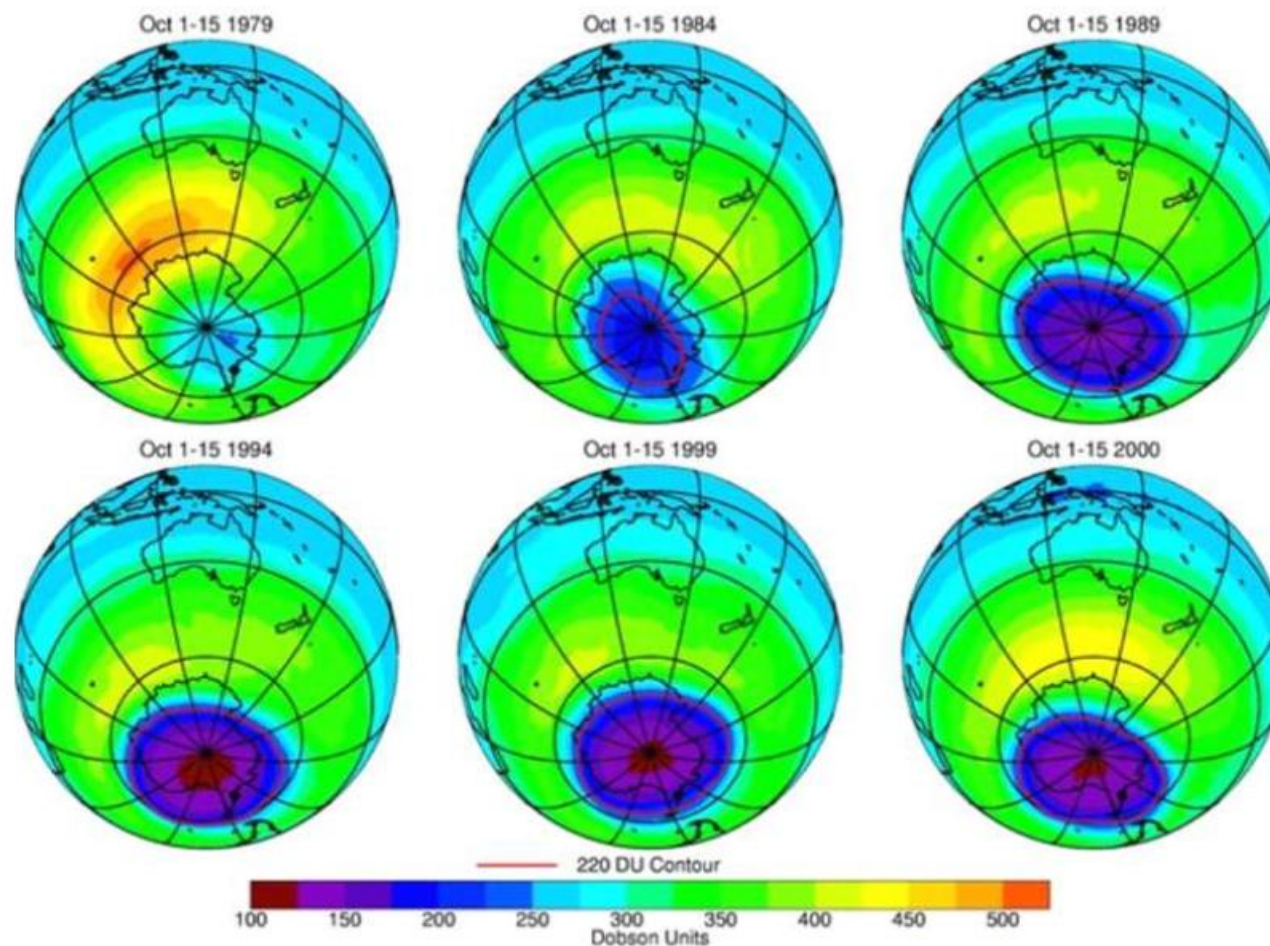
„Dobry ozon” – ozon w stratosferze chroni życie roślin i zwierząt, absorbując wysokoenergetyczne promieniowanie słoneczne docierające do Ziemi - spełnia też funkcję atmosferycznego termoregulatora

„Zły ozon” – ozon w troposferze powoduje podrażnienia oraz uszkodzenia u roślin i zwierząt w powodu silnych właściwości utleniających, współuczestniczy w tworzeniu smogu fotochemicznego i kwaśnego deszczu.

**Dziura ozonowa** - zjawisko ubytku ozonu w ozonosferze, wywołane zanieczyszczeniem atmosfery związkami reagującymi z ozonem, a zatem powodującymi spadek stężenia ozonu. Związki te to: freony, tlenki azotu, chlorek metylu i bromek metylu.



Zmiany w warstwie ozonowej ziemi w trakcie minionych lat



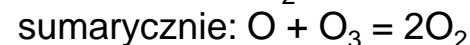
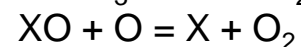
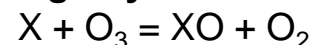


# Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę – dziura ozonowa

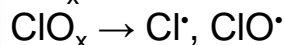
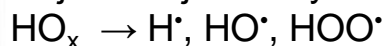
## Czynniki wpływające na warstwę ozonową – procesy katalitycznego rozpadu ozonu

W atmosferze przebiegają naturalne procesy fotochemiczne i chemiczne, które w stratosferze prowadzą do nieustannego powstawania i rozkładu ozonu. Zrównoważenie tych dwóch procesów prowadzi do stanu stacjonarnego z dobrze zdefiniowaną i trwałą warstwą ozonu. Niektóre indywidualne chemiczne mogą przyspieszać rozpad ozonu i mogą występować naturalnie w atmosferze, a inne są uwalniane przez przemysł i rolnictwo.

### Ogólny mechanizm rozkładu ozonu:



Najważniejsze indywidualne chemiczne, które pełnią funkcję katalizatora rozkładu ozonu:



W zależności od wysokości i stężenia każde z tych indywidualnych wykazuje różną zdolność niszczenia ozonu.

Chlor i rodniki zawierające chlor oraz ich analogi bromowe są najbardziej reaktywnymi indywidualnymi w stratosferze, które katalizują rozpad ozonu. Źródła naturalne dostarczają małych ilości chloru w stratosferze, większe znaczenie dla rozpadu ozonu ma chlor pochodzący z uwalnianych do atmosfery chlorofluorowęglowodórów. Ważną właściwością CFC jest ich biologiczna i chemiczna bierność w środowisku ziemskim, włączając w to troposferę. Krążą w troposferze, aż „uciekną” do stratosfery, gdzie ulegają fotokatalitycznemu rozpadowi z utworzeniem indywidualnych zdolnych do udziału w katalitycznym rozpadzie ozonu. Jeden atom halogenu może rozłożyć aż  $10^5$  cząstek ozonu, a trwałość freonów w stratosferze wynosi od kilkudziesięciu do kilkuset lat.



## Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę – **dziura ozonowa**

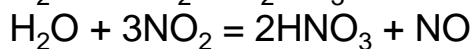
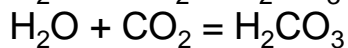
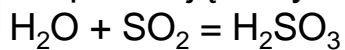
### Dziura ozonowa - skutki

- zwiększenie natężenia promieniowania ultrafioletowego, zabójczego dla organizmów żywych i powodującego:
  - wzrost zachorowań na raka skóry (czerniak) i choroby oczu
  - osłabienia odporności organizmów i zwiększenia ryzyka zarażenia chorobami wirusowymi i pasożytniczymi
  - uszkodzenia wielu gatunków roślin żywieniowych i wpływ na zmniejszenie produkcji i pogorszenie jakości żywności

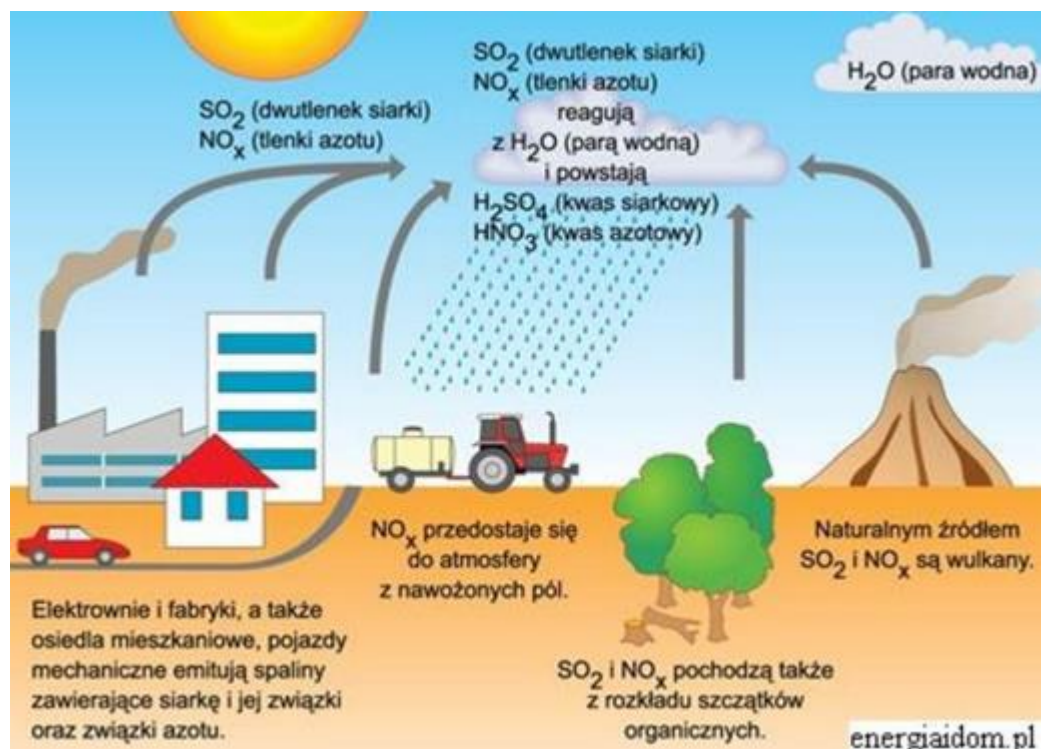
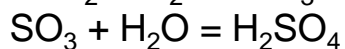
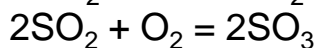
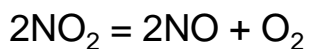


## Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę – **kwaśne deszcze**

- opady atmosferyczne o odczynie kwasowym czyli pH niższym niż 5,6
- powstają w wyższych warstwach atmosfery przez rozpuszczenie tlenków w wodzie:



- obecność  $\text{NO}_2$  w powietrzu zawierającym  $\text{SO}_2$  przyczynia się do zwiększenia ilości kwasu siarkowego(VI)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  w kwaśnym deszczu:



## Wpływ zanieczyszczeń na atmosferę – **kwaśne deszcze**

### Kwaśne deszcze - skutki

- zakwaszanie gleb
- zakwaszanie wód powierzchniowych
- korozja materiałów konstrukcyjnych
- choroba świerków i jodeł
- efekt brudzenia powierzchni
- uruchomienie depozytu metali ciężkich

