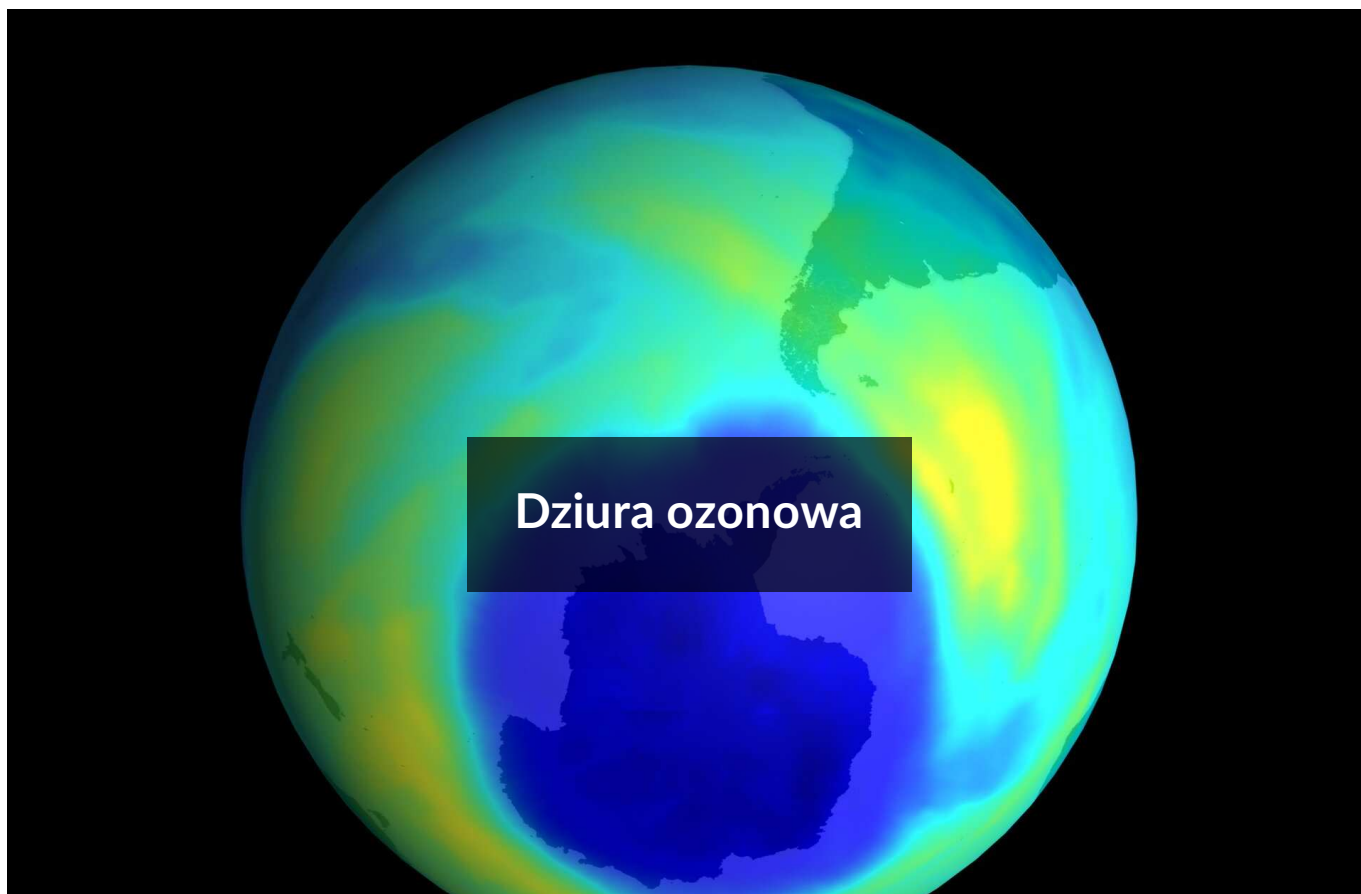


Dziura ozonowa

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Symulacja interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Dziura ozonowa

Sep 17 2001
Wielka dziura ozonowa na półkuli południowej (kolor granatowy) widziana z orbity okołozemskiej.
Źródło: Wikimedia Commons, domena publiczna.

Ozon to gaz, którego cząsteczka składa się z trzech atomów tlenu. W zwiększonej koncentracji występuje w ozonosferze, czyli warstwie atmosfery ziemskiej, która znajduje się w stratosferze na wysokości kilkudziesięciu kilometrów nad poziomem morza. Gaz ten odgrywa ważną rolę w pochłanianiu promieniowania ultrafioletowego emitowanego przez Słońce, szkodliwego dla organizmów żyjących na Ziemi. Niestety, od końca lat 70. XX w. obserwuje się systematyczny spadek całkowitej zawartości ozonu w atmosferze, przy czym największe obniżenie stężenia ozonu odnotowuje się w rejonie bieguna południowego (nad Antarktydą). Właśnie to zjawisko znacznego spadku koncentracji ozonu w atmosferze ziemskiej określa się mianem dziury ozonowej.

Twoje cele

- Określisz znaczenie ozonu dla życia na Ziemi.
- Scharakteryzujesz przyczyny spadku koncentracji ozonu w atmosferze ziemskiej.

- Przedstawisz sposoby ochrony ozonosfery.

Przeczytaj

Występowanie ozonu

Ozon znajduje się w troposferze i stratosferze, a jego największa koncentracja występuje na wysokości od 18 do 24 km n.p.m.



Chmury burzowe typu cumulonimbus. Dzięki zjawisku konwekcji burze wynoszą do górnej atmosfery zanieczyszczenia oraz wilgoć. Związki te reagują chemicznie pod wpływem światła słonecznego – w wyniku tych reakcji powstaje ozon.

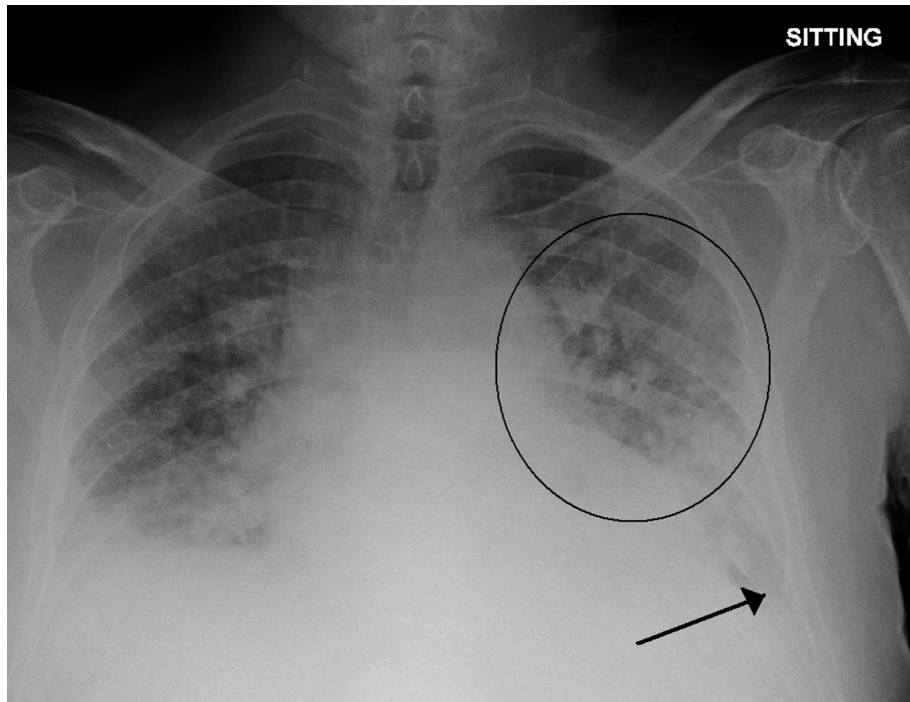
Źródło: NASA/ESA, Flickr, licencja: CC BY-NC 2.0.



W procesie powstawania ozonu ważną rolę odgrywają również błyskawice, ponieważ są prawdopodobnie największym naturalnym źródłem związków azotowych, które przyczyniają się do tworzenia cząsteczek ozonu. Na zdjęciu burza nad plażą w Miami.

Źródło: Jussi Ollila, Flickr, licencja: CC BY 2.0.

Przy powierzchni Ziemi (w troposferze) ozon występuje w małej ilości, ale miejscowo jego stężenie może się zwiększać. Gaz ten powstaje np. podczas wyładowań atmosferycznych (co łatwo można rozpoznać po wyczuwalnym po burzy świeżym zapachu charakterystycznym dla ozonu), wchodzi również w skład [smogu fotochemicznego](#). Będąc silnym utleniaczem, ozon w dużym stężeniu jest szkodliwy dla organizmów: u roślin powoduje zamieranie tkanek liści, u ludzi prowadzi do uszkodzeń układu oddechowego i jest groźny zwłaszcza dla dzieci oraz osób starszych.



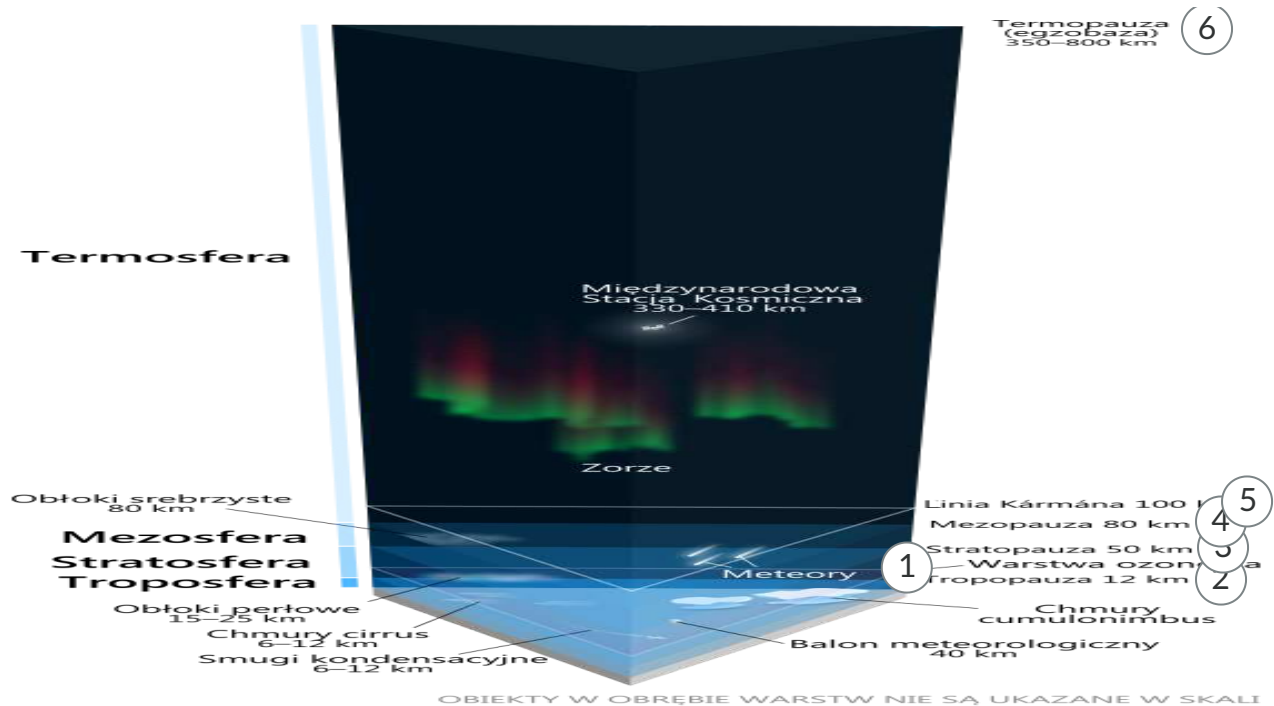
W większych stężeniach ozon może wywoływać wzrost ciśnienia tętniczego, przyspieszenie tętna i obrzęk płuc prowadzący do zgonu. Na zdjęciu RTG widoczny jest śródmiąższowy i pęcherzykowy obrzęk płuc.

Źródło: James Heilman, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Ozonosfera

W stratosferze znajduje się warstwa ozonu ([ozonosfera](#)), która pełni dwie funkcje:

- redukuje dopływ do powierzchni Ziemi [promieniowania ultrafioletowego](#) emitowanego przez Słońce, pochłaniając ok. 97% zakresu promieniowania UVB – [mutagennego](#) dla organizmów;
- bierze udział w przekształcaniu energii promieniowania UV w energię ciepłą (co oznacza, że ozon jest w niewielkim stopniu gazem cieplarnianym).



1

Ozonosfera

Wchodzi w skład stratosfery i znajduje się na wysokości od 15 do 35 km.

2

Tropopauza

To cienka warstwa przejściowa zamykająca troposferę.

3

Stratopauza

To cienka warstwa o stałej temperaturze ok. 0°C zamykająca stratosferę.

4

Mezopauza

To cienka warstwa o stałej temperaturze -90°C zamykająca mezosferę.

Linia Kármána

To umowna granica pomiędzy atmosferą Ziemi i przestrzenią kosmiczną. Przebiega ona na wysokości 100 km n.p.m. (62,1 mili). Przyjęła ją Międzynarodowa Federacja Lotnicza (FAI), a jej nazwa pochodzi od Theodore'a von Kármána, inżyniera i fizyka zajmującego się aeronautyką.

Termopauza

To warstwa zamykająca termosferę.

Warstwy atmosfery ziemskiej.

Źródło: Kelvinsong, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 3.0.

Grubość warstwy ozonu nie jest równomierna – zależy m.in. od szerokości geograficznej, pory roku i dnia, np. na półkuli południowej największe ubytki ozonu występują we wrześniu i październiku, czyli podczas tamtejszej wiosny.

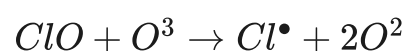
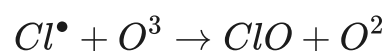
Ozon to gaz nietrwały termicznie, który rozpada się stopniowo do tlenu już w temperaturze pokojowej. Procesy rozpadu i tworzenia cząsteczek ozonu powinny pozostawać we względnej równowadze. Pod koniec lat 70. XX wieku naukowcy zauważyli jednak znaczne zmniejszenie ilości ozonu nad Antarktydą – nawet o 40%. To wtedy narodziło się pojęcie dziury ozonowej, które oznacza spadek stężenia ozonu w stratosferze. Ozon pochłania część promienia ultrafioletowego, które jest szkodliwe dla organizmów (m.in. uszkadza materiał genetyczny). Spadek jego stężenia w stratosferze wiąże się więc ze zwiększoną ilością promieniowania ultrafioletowego przenikającego do powierzchni Ziemi.

Ozon w stratosferze ulega licznym reakcjom, którym towarzyszy przemiana promieniowania ultrafioletowego w energię cieplną. Pierwszy etap polega na pochłonięciu przez cząsteczkę tlenu fotonu promieniowania ultrafioletowego. Podczas tej reakcji dochodzi do rozbicia cząsteczki tlenu (O₂) na dwa reaktywne atomy (2O), które przyłączają się do innych cząsteczek tlenu (O₂). W ten sposób powstaje ozon (O₃). Cząsteczki ozonu (O₃), podobnie jak tlenu (O₂), mogą ulec rozpadowi pod wpływem promieniowania ultrafioletowego (powstanie wówczas tlen cząsteczkowy – O₂ i reaktywny atom tlenu – O).

Reakcje ozonu i towarzyszące im przemiany promieniowania ultrafioletowego skutkują pochłanianiem wysokoenergetycznego promieniowania (UV-C i UV-B), które stanowi zagrożenie dla organizmów. Dzięki przemianom cyklu ozonowo-tlenowego znaczna część promieniowania o dłuższych zakresach fal zostaje zatrzymana przez atmosferę. W konsekwencji zmniejsza się ilość docierającego do powierzchni Ziemi promieniowania UV-B i UV-C.

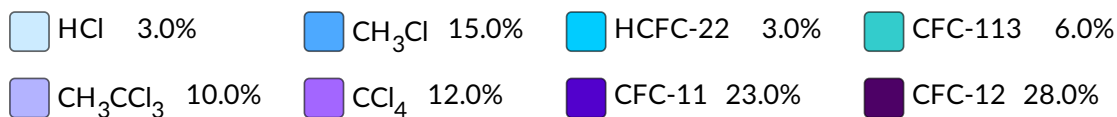
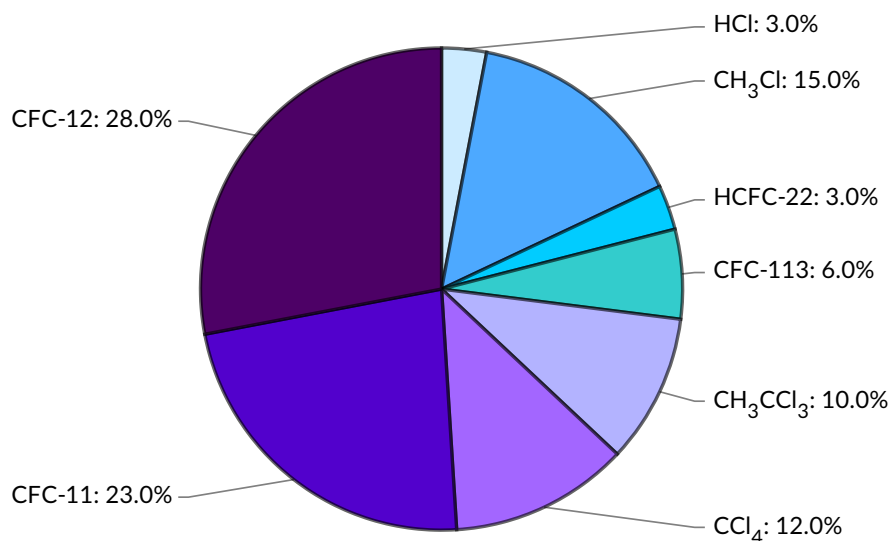
Powstawanie dziury ozonowej

Badania mechanizmu powstawania dziury ozonowej doprowadziły naukowców do wniosku, że najbardziej szkodliwe dla ozonosfery są chlorofluorowęglowodory (CFC), czyli [freony](#). Są to gazy nieszkodliwe w dolnych warstwach atmosfery, ale w stratosferze – w wyniku rozkładu przez promieniowanie słoneczne – uwalniają chlor, który niszczy ozon w następujących reakcjach:



Jeden atom chloru może rozłożyć ok. **100 tys.** cząsteczek ozonu.

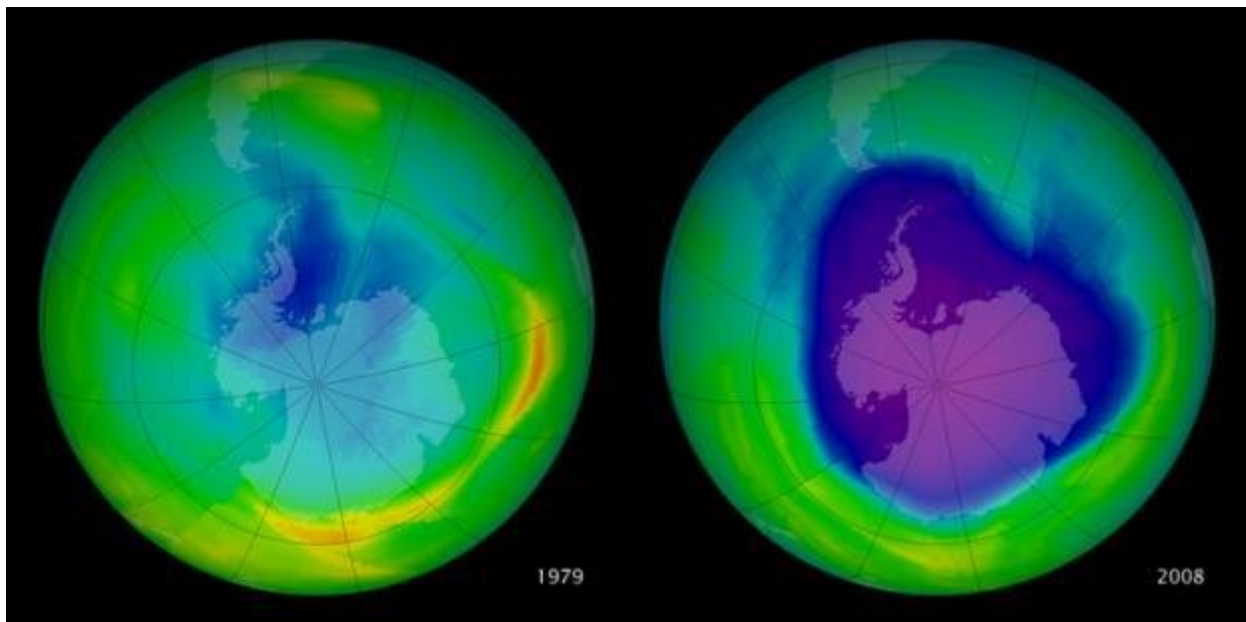
Źródła chloru w stratosferze



Wzory sumaryczne przedstawiają różne substancje rozkładające ozon (w tym freony – CFC): pochodzące ze źródeł naturalnych (HCl i CH₃Cl) oraz będące wynikiem działalności człowieka (produkcja polimerów, gazy nośne w aerozolach, ciecze robocze w maszynach cieplnych).

Źródło: Na podstawie World Meteorological Organization, Scientific Assessment of Ozone Depletion, WMO Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 44, Geneva, 1998.

Jednym z czynników sprzyjających niszczeniu ozonu przez chlor jest niska temperatura panująca w stratosferze. W okolicach biegunów (regularnie nad biegunem południowym, sporadycznie – nad północnym) pod koniec nocy polarnej wynosi ona poniżej -80°C. Tworzą się wtedy chmury stratosferyczne, złożone z kwasu azotowego (rzadziej siarkowego) i zamrożonej wody. Na powierzchni kryształków „kwaśnego lodu” zachodzą reakcje powodujące rozkład związków chloru, co prowadzi do uwolnienia jego reaktywnych atomów. Zimą nad Arktyką temperatury są zwykle wyższe, co sprawia, że chmury stratosferyczne tworzą się tam rzadziej. Koncentrację ozonu poniżej 220 [DU](#), czyli „dziurę ozonową”, na półkuli północnej pierwszy raz (i na razie jedyny) odnotowano dopiero w marcu 2011 r.



Porównanie grubości warstwy ozonowej na półkuli południowej w latach 1979 i 2008. Kolorem fioletowym oznaczono grubość ozonosfery poniżej 100 DU, ciemnoniebieskim – 150 DU; poziom graniczny wynosi 220 DU (średnia grubość to 300 DU).

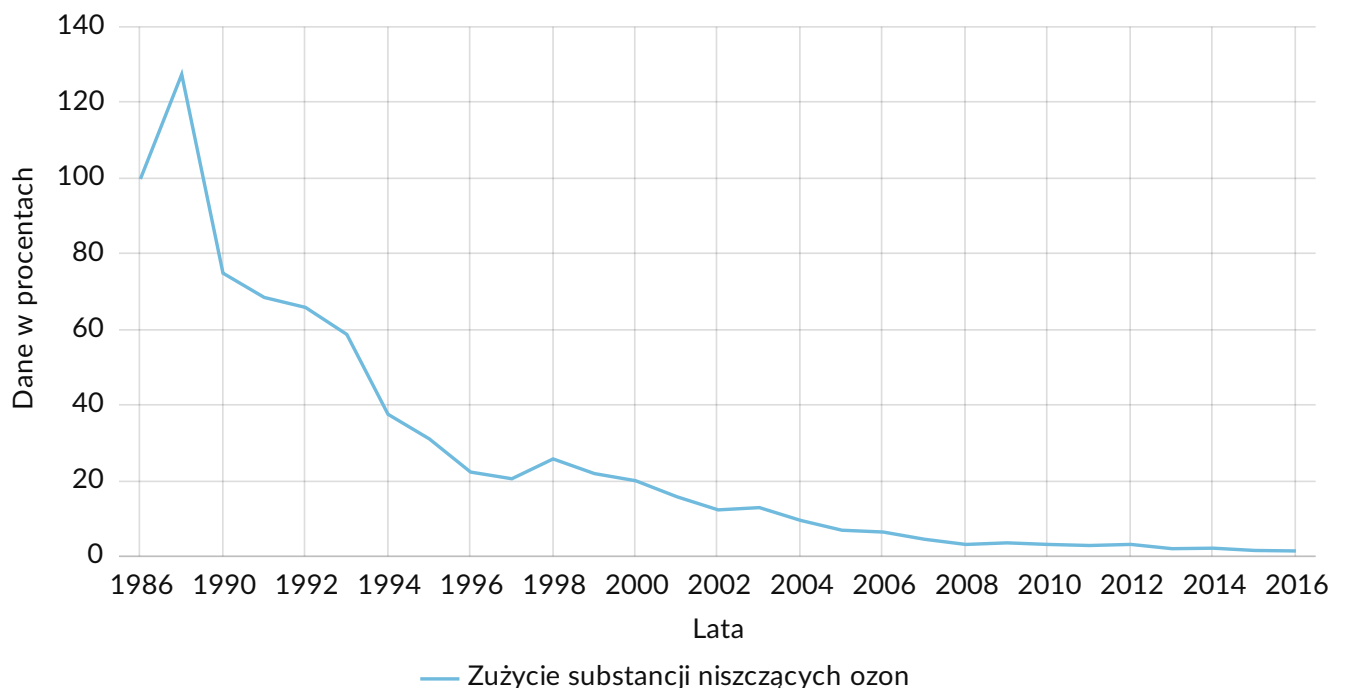
Źródło: Wikimedia Commons, domena publiczna.

Ochrona ozonosfery

W latach 80. XX wieku poziom ozonu w stratosferze gwałtownie się obniżał, co skutkowało zwiększeniem dopływu do powierzchni Ziemi promieniowania UVB, które może uszkadzać DNA komórek. Państwa zrzeszone w Organizacji Narodów Zjednoczonych w 1985 r. uchwaliły Konwencję Wiedeńską w sprawie Ochrony Warstwy Ozonowej, a w 1987 r. Protokół Montrealski, ratyfikowane przez wszystkie kraje świata, które zostały zobligowane do stopniowej rezygnacji z produkcji substancji niszczących ozon (ODS – *ozone depleting substances*), głównie freonów, [halonów](#) i [bromku metylu](#). Ich zużycie znacząco spadło, nadal jednak postępuje zmniejszenie grubości ozonosfery, gdyż substancje te mają długą żywotność: mogą pozostawać w atmosferze do 100 lat.

Polska, zgodnie z wymaganiami Konwencji, prowadzi badania związane ze stężeniem ozonu w stratosferze. W ramach monitoringu wykonywane są pomiary całkowitej zawartości ozonu, pionowego rozkładu ozonu oraz natężenia promieniowania

ultrafioletowego. Co więcej, na podstawie danych satelitarnych wyznaczane są pola całkowitej zawartości ozonu nad Europą. W ramach ochrony ozonu zostały również wycofane ze stosowania tzw. substancje zubożające warstwę ozonową (SZWO). Do tej grupy zaliczane są substancje chemiczne będące pochodnymi węglowodorów alifatycznych, tj. metan, etan czy propan, do których został przyłączony atom chloru, bromu lub fluoru. Związki te zostały zastąpione wodorofluorowęglowodorami, perfluorowęglowodorami (zaliczanymi do substancji z grupy HFC i PFC) oraz węglowodorami (należącymi do grupy HC).



Światowe zużycie substancji niszczących ozon (rok 1986 = 100%). Po wzroście w 1987 r. widoczny jest spadek światowej konsumpcji (czyli także produkcji) freonów o 98%.

Źródło: Na podstawie danych UNEP (Ozone Secretariat).

Słownik

bromek metylu

inaczej bromometan; trujący związek chemiczny wykorzystywany do zwalczania owadów (fumigacji), np. w drewnie; oprócz niszczenia ozonu przyczynia się do ocieplenia klimatu

DU

(ang. *Dobson Unit* – jednostka Dobsona) dobson, jednostka koncentracji ozonu, nazwana na cześć jednego z badaczy ozonu – Gordona Dobsona; odpowiada liczbie cząsteczek ozonu, które utworzyłyby warstwę grubości 0,01 mm w temperaturze 0°C i pod ciśnieniem 1 atmosfery (760 mmHg)

freony (CFC)

związki chloru, fluoru i węgla, nietoksyczne i niepalne; mają wysoki potencjał niszczenia ozonu i długą żywotność w atmosferze

halony

związki bromu, chloru, fluoru i węgla, dawniej stosowane jako środki gaśnicze; wycofane z użycia (w wyniku ustaleń Protokołu Montrealskiego) ze względu na wysoki potencjał niszczenia ozonu

mutagenne czynniki

(łac. *muto* – zmieniam; gr. *genos* – ród, pochodzenie) czynniki powodujące zmiany (mutacje) w organizmach

ozon

(gr. *óζōn* – pachnący) tritlen, O₃, alotropowa odmiana tlenu o cząsteczce trójatomowej

ozonosfera

warstwa ozonowa; warstwa zwiększonej koncentracji ozonu w atmosferze (gazowej powłoce Ziemi) znajdująca się na wysokości od 15 do 35 km n.p.m.

promieniowanie ultrafioletowe

ultrafiolet (ang. *ultraviolet*, UV); promieniowanie elektromagnetyczne o bardzo krótkich falach (od 10 do 400 nm); UVC (promieniowanie o długości fali od 100 do 280 nm) może uszkadzać DNA w komórkach; UVB (od 280 do 315 nm) pobudza

syntezę witaminy D w skórze, ale w zbyt dużej dawce działa mutagennie i wywołuje nowotwory skóry; UVA (od 315 do 380 nm) uszkodza włókna kolagenowe w skórze

smog fotochemiczny

smog jasny, typu Los Angeles; powstaje w słoneczne dni przy dużym natężeniu ruchu samochodowego; pod wpływem promieniowania słonecznego zanieczyszczenia powietrza (m.in. spaliny) wchodzi w reakcje, tworząc mieszaninę gazów, w skład której wchodzi także ozon

stratosfera

warstwa atmosfery ziemskiej znajdująca się na wysokości od 10 do 50 km n.p.m.; na jej granicy z troposferą leży warstwa ozonowa (ozonosfera), absorbująca słoneczne promieniowanie ultrafioletowe; w stratosferze zachodzi inwersja temperatury (wzrost temperatury powietrza z wysokością)

troposfera

najniższa warstwa atmosfery, znajdująca się przy powierzchni Ziemi do wysokości ok. 12 km n.p.m.

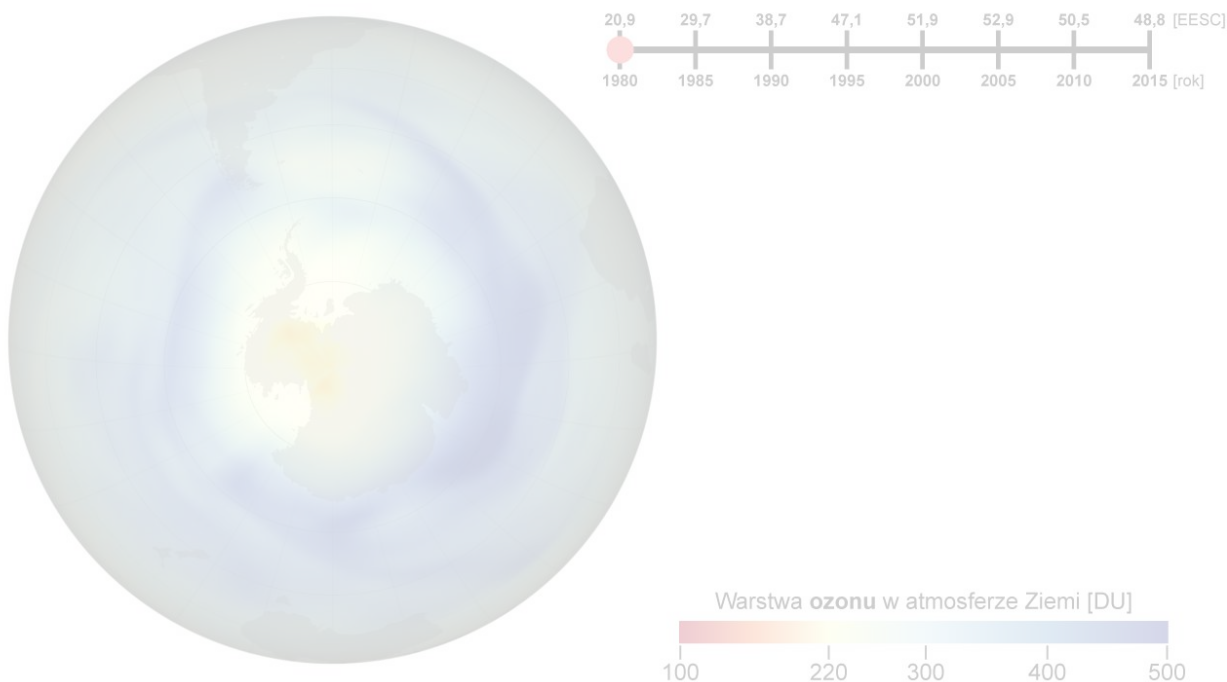
Symulacja interaktywna

Dziura ozonowa nad Antarktydą w latach 1980–2015

Poniższa symulacja przedstawia zmiany rozmiaru i kształtu dziury ozonowej nad Antarktydą w latach 1980–2015. Czerwone i żółte obszary wskazują dziurę ozonową. Słowo „dziura” zostało użyte metaforycznie na określenie obszaru, w którym stężenie ozonu spada poniżej progu 220 DU. Mapy przedstawiają stan dziury ozonowej w dniu, w którym zmierzono najniższe stężenie ozonu w danym roku.

Symulacja 1

Przesuń znacznik symulacji interaktywnej i obserwuj jak zmienia się równoważnik efektywnego chloru stratosferycznego (EESC) na przestrzeni lat.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D3qB0i91i>

Polecenie 1

Polecenie 2

Polecenie 3

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Oceń prawdziwość poniższych zdań.

Słońce uszkadza warstwę ozonową przez rozkład cząsteczki O_3 do O_2 ., Zmniejszenie ilości ozonu w atmosferze może prowadzić do zaburzeń w rozmnażaniu sinic., Występowanie nowotworów układu oddechowego jest związane z wielkością „dziury ozonowej”., Używanie kremów z najwyższym filtrem UV jest jedynym sposobem ochrony skóry przed szkodliwym promieniowaniem., Promieniowanie UV jest bardziej szkodliwe latem, gdyż Słońce znajduje się wtedy bliżej Ziemi.

Prawda	
Fałsz	

Ćwiczenie 3



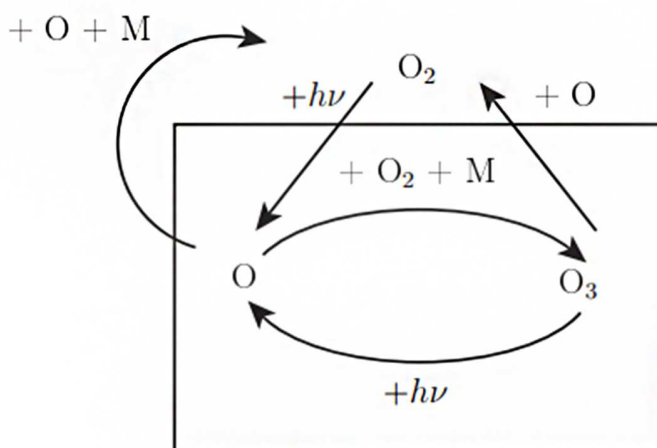
Wskaż dwa działania, które możesz podjąć, aby zapobiec zmniejszeniu się grubości warstwy ozonowej.

- Wymiana przestarzałej lodówki lub klimatyzacji i jej utylizacja w bezpieczny sposób przez przekazanie do placówki utylizacji.
- Używanie produktów uwalniających ozon.
- Rezygnacja ze stosowania gazów blokujących promieniowanie ultrafioletowe.
- Właściwa utylizacja tworzyw sztucznych i chemikaliów.

Ćwiczenie 4



Ilustracja przedstawia reakcje zachodzące w stratosferze zwane cyklem ozonowym.



Źródło: Quentin STV, Wikimedia Commons, licencja: CC BY-SA 4.0.

Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6

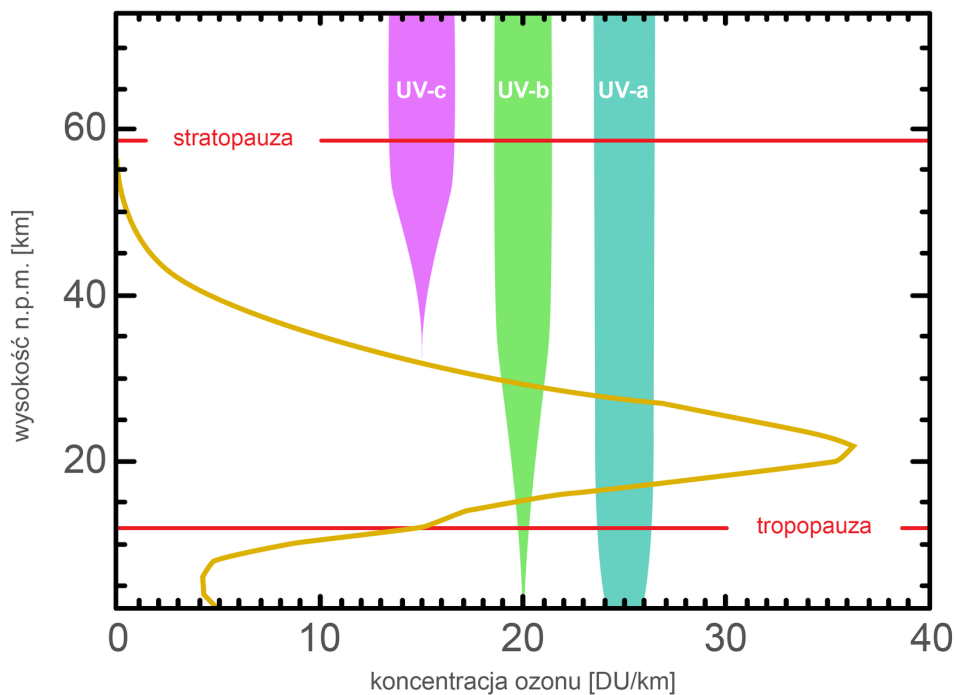


Chmury stratosferyczne blokują promieniowanie UV.

Ćwiczenie 7



Przeanalizuj poniższy wykres i rozwiąż polecenie poniżej.



Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 8



Dla nauczyciela

Scenariusz zajęć

Autor: Jolanta Loritz-Dobrowolska

Przedmiot: biologia

Temat: Dziura ozonowa

Grupa docelowa: uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie podstawowym i rozszerzonym

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XI. Różnorodność biologiczna, jej zagrożenia i ochrona. Uczeń:

4) wykazuje wpływ działalności człowieka na różnorodność biologiczną;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XVIII. Różnorodność biologiczna, jej zagrożenia i ochrona. Uczeń:

4) wykazuje wpływ działalności człowieka (intensyfikacji rolnictwa, urbanizacji, industrializacji, rozwoju komunikacji i turystyki) na różnorodność biologiczną;

Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji;

- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii;
- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:

Uczeń:

- definiuje pojęcia: ozon, warstwa ozonowa, dziura ozonowa;
- analizuje materiały źródłowe;
- objaśnia rolę ozonu w atmosferze oraz przyczyny i skutki jego niedoboru;
- formułuje wnioski.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm;
- eksperymentalno-obszernyjna.

Metody i techniki nauczania:

- odwrócona klasa;
- analiza materiału źródłowego;
- mapa pojęć;
- modelowanie.

Formy pracy:

- praca indywidualna;
- praca grupowa;

- praca całego zespołu klasowego.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami i dostępem do internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda;
- modele obrazujące zawartość ozonu w pracowni szkolnej (z listewek, drutu, papieru itp.);
- arkusze szarego papieru;
- kolorowe pisaki.

Przed lekcją

Uczniowie zapoznają się z treścią e-materiału.

Przebieg zajęć

Faza wstępna:

1. Rozpoznanie wiedzy potocznej uczniów – nauczyciel zadaje pytania, nawiązując do tematu lekcji: „Co to jest ozon?”, „Gdzie się znajduje?”, „Jaka jest jego funkcja?”, „Co wiecie o tzw. dziurze ozonowej?”.
2. Uczniowie konfrontują swoją potoczną wiedzę z informacjami zawartymi we wprowadzeniu.

Faza realizacyjna:

1. Nauczyciel dzieli uczniów na czteroosobowe grupy. Każda z grup dostaje instrukcję do pracy i zapoznaje się z nią.
2. Nauczyciel rozdaje uczniom modele obrazujące zawartość ozonu w pracowni szkolnej. Informuje, że w powietrzu w klasie znajduje się średnio 20 części na

miliard objętości ozonu. Prosi uczniów o zmierzenie wymiarów klasy – długości, szerokości, wysokości – i obliczenie objętości powietrza. Na przykład w klasie o objętości 150 m³ mieści się 3 cm³ ozonu.

3. Uczniowie wykonują polecenia zawarte w części I instrukcji.
4. Liderzy grup omawiają wyniki swojej pracy na forum klasy. Pozostali członkowie grup aktywnie biorą udział w ich prezentacji. Nauczyciel podsumowuje pracę grup oraz dopowiada niezbędne informacje.
5. Uczniowie wykonują polecenia zawarte w części II instrukcji, po czym przedstawiają swoje wnioski na forum klasy.
6. Następnie powstaje klasowa lista działań na podstawie list zaprezentowanych przez poszczególne grupy. Może ona przyjąć formę plakatu, który zostanie umieszczony w pracowni biologicznej lub na korytarzu szkolnym.

Faza podsumowująca:

1. Chętne osoby przy współudziale pozostałych uczniów wykonują na tablicy mapę pojęć związanych z ozonem atmosferycznym, z uwzględnieniem znaczenia biologicznego, lub wykonują ćwiczenia od 5 do 8 z części „Sprawdź się”, odpowiedzi przedstawiając na forum klasy.
2. Nauczyciel zachęca uczniów do swobodnych wypowiedzi, pytając: „Czy ta lekcja była interesująca?”, „Co wam dała?”, „Co was zaskoczyło?”.

Praca domowa:

Sporządź notatkę z zaleceniami, jak należy się chronić przed promieniowaniem UVB, z uwzględnieniem pory roku, pory dnia i miejsca (np. ulica, plaża, trasa narciarska w górach).

Materiały pomocnicze:

- Portal internetowy Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska – monitoring jakości powietrza w Polsce (raporty); portal internetowy NASA: Ozone Watch w skali globu.

Załącznik 1. Instrukcja dla uczniów (pdf).

Plik o rozmiarze 101.77 KB w języku polskim

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania grafiki interaktywnej:

Grafikę interaktywną można wykorzystać na lekcjach geografii, fizyki i wiedzy o społeczeństwie.