

# Atmosfera

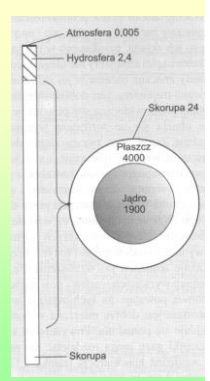
## Bilans cieplny Ziemi



1

**Atmosfera** to powłoka gazowa otaczająca ciało niebieskie, np. planetę Ziemię. **Atmosferę ziemską** wypełnia **powietrze**, które jest mieszaniną gazów: **azotu** (~78%), **tlenu** (~21%), **argonu** (~0,9%) oraz **dwutlenku węgla, neonu, helu, kryptonu, ksenonu, wodoru, ozonu**. Ponadto atmosfera zawiera domieszki gazowe, stałe i ciekłe, np. **parę wodną, amoniak, jod, tlenki metali** powstałe jako produkt spalania (siarki, fosforu) oraz aerozole (bakterie, pyłki, dym, sadze itp.).

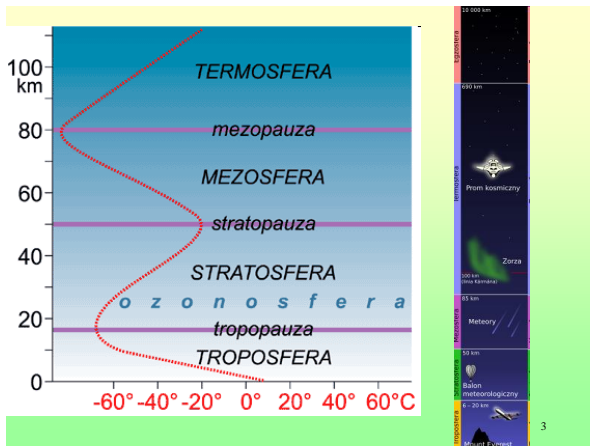
Skład jakościowy i ilościowy powietrza zmienia się w miarę oddalania od powierzchni Ziemi. W wyższych warstwach atmosfery wzrasta udział wodoru, a ciśnienie atmosferyczne spada wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza. **Atmosfera** nie ma wyraźnej granicy zewnętrznej – na wysokości kilkuset kilometrów płynnie przechodzi w przestrzeń kosmiczną. Zostało w niej wyróżnionych kilka **warstw**.



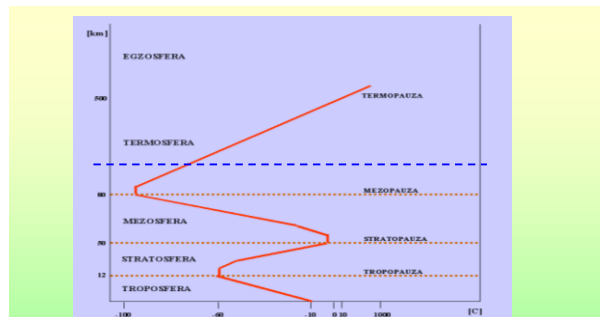
2

1

2



3

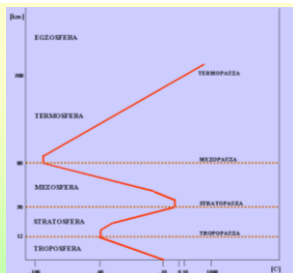


**Linia Kármána** — umowna granica pomiędzy atmosferą Ziemi i przestrzenią kosmiczną przebiegająca na wysokości 100 km n.p.m. Powyższa definicja została przyjęta przez Międzynarodową Federację Lotniczą (FAI), która zajmuje m.in. się ustalaniem norm w aeronautyce i astronautyce. Powyżej tej wysokości atmosfera Ziemi staje się zbyt rozrzedzona do celów aeronautyki (ponieważ każdy pojazd na takiej wysokości musiałby się poruszać z szybkością od prędkości orbitalnej Ziemi, aby uzyskać wystarczającą siłę nośną potrzebną do utrzymania się na tej wysokości).

3

4

Do powierzchni Ziemi przylega **troposfera** o grubości do 17 km. W niej zachodzą najbardziej istotne dla człowieka procesy, które decydują m.in. o pogodzie i klimacie. Nieco wyżej, w dolnej części **stratosfery**, znajduje się **ozonosfera**. Występujący tam tlen ma postać ozonu ( $O_3$ ), który znacznie ogranicza dopływ szkodliwego promieniowania ultrafioletowego do naszej planety.

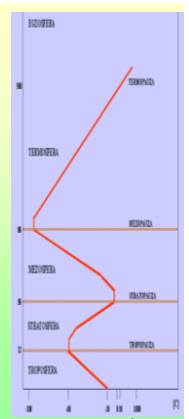


Pozostałe warstwy są już bardzo rozrzedzone (75% całkowitej masy powietrza zawarte jest do wysokości 10 km nad Ziemią) i praktycznie nie mają znaczenia dla życia człowieka. Podany podział wynika ze zmian temperatury wraz ze wzrostem wysokości: w **troposferze** temperatura spada, w **stratosferze** rośnie, w **mezosferze** ponownie spada, a w **termosferze** znów rośnie.

5

**TROPOSFERA** – znajduje się najbliżej powierzchni Ziemi, sięga do ok. 7 km nad biegunami i ok. 17 km nad równikiem. Zachodzą w niej silne pionowe i poziome ruchy mas powietrza. Ruchy pionowe zwane konwekcyjnymi są silne w pasie okołorównikowym, w obszarze wyży zwrotnikowych i okołobiegunowych. Temperatura spada wraz z wysokością  $0,6^{\circ}C/100m$  średnio od  $+15^{\circ}C$  do  $-50^{\circ}C$ . W tej warstwie zawarta jest prawie cała para wodna planety. Zachodzą w niej zjawiska pogodowe. Następuje spadek ciśnienia wraz z wysokością przeciętnie  $11,5hPa/100m$ .

**TROPOPAUZA** – warstwa przejściowa między troposferą a stratosferą.

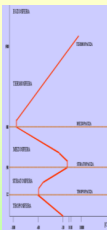


6

5

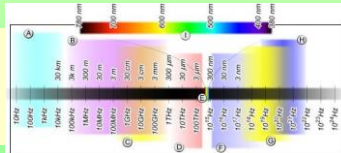
6

**STRATOSFERA** – sięga do ok. 45-50 km. Zachodzą w niej silne poziome ruchy powietrza tzw. prądy strumieniowe, które okrążają całą Ziemię. Wraz z wysokością zmienia się temperatura tej warstwy. W jej dolnej części utrzymuje się temp. ok.  $-50^{\circ}\text{C}$ , natomiast w górnej części szybki wzrost temp. aż do  $0^{\circ}\text{C}$ . Wzrost temperatury związany jest z pochłanianiem promieniowania nadfioletowego przez ozon. Ozonosfera występuje powyżej 25 km. Jest warstwą ochronną bardzo ważną dla życia na Ziemi. Pochłania ona szkodliwe promieniowanie nadfioletowe przechodzące w promieniowanie typu rentgenowskiego.



**STRATOPAUZA** – warstwa przejściowa między stratosferą a mezosferą.

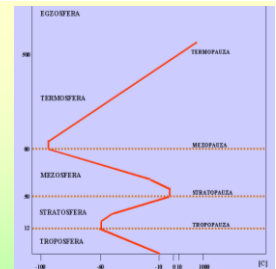
- B - fale radiowe
- C - mikrofałe
- D - podczerwień
- E - światło widzialne
- F - ultrafiolet
- G - promieniowanie rentgenowskie
- H - promieniowanie gamma



7

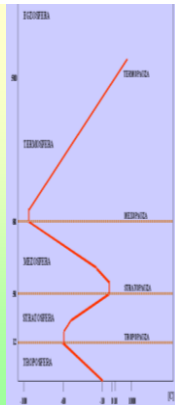
**MEZOSFERA** – sięga do wysokości ok. 80 km. Następuje w niej ponowny spadek temp. wraz z wysokością do ok.  $-90^{\circ}\text{C}$ .

**MEZOPAUZA** – warstwa przejściowa między mezosferą a termosferą.



8

**TERMOSFERA** – górna granica tej warstwy jest trudna do określenia, waha się między 300 a 800 km na powierzchni Ziemi. Następuje w niej gwałtowny wzrost temperatury do  $+1500^{\circ}\text{C}$ . Związane jest to z pochłanianiem promieniowania słonecznego przez cząsteczkowy azot i tlen. Powietrze w tej warstwie jest silnie jonizowane. Warstwę tę nazywa się jonosferą.

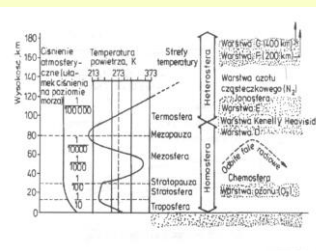


9

**EGZOSFERA** – jej przybliżona granica znajduje się na wysokości ok. 2000 km (wyżej ta warstwa przechodzi w przestrzeń kosmiczną). W tej warstwie następuje spadek temperatury do ok.  $-270^{\circ}\text{C}$ . Wraz ze wzrostem wysokości zmienia się temperatura i ciśnienie. Im wyżej tym powietrze staje się rzadsze i lżejsze, ciśnienie maleje.

9

**Homosfera** – do ok. 90 km. Jednorodny skład (za wyjątkiem pary wodnej).



Gaz	Stężenie
Azot	78,084 %
Tlen	20,946 %
Argon	0,934 %
Para wodna	0,5 – 4 %
Ditlenek węgla	360 ppm
Neon	18,18 ppm
Hel	5,24 ppm
Metan	1,7 ppm
Krypton	1,14 ppm
Wodór	0,5 ppm
Ksenon	0,087 ppm

**Heterosfera** – 88-200 km przeważa azot cząsteczkowy  
 200 – 1 100 km obszar występowania tlenu atomowego  
 1 100 – 3 200 km – warstwa bogata hel  
 3 200 – 9 600 km – warstwa wodoru

10

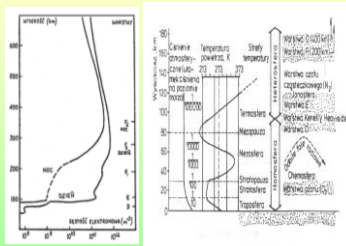
**Jonosfera** zdefiniowana jest jako ta część górnej atmosfery, w której swobodne elektrony są wystarczająco liczne, żeby wpływać na propagację fal radiowych. W praktyce można przyjąć, że zajmuje ona obszar od wysokości ok. 60 do 600 km.

W ciągu dnia wyróżnia się cztery obszary jonosfery:

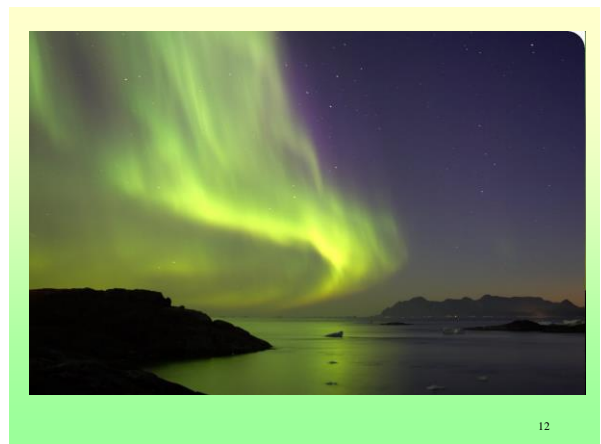
- D – wysokość 60-90 km
- E – 100-120 km
- F<sub>1</sub> – 180-240 km
- F<sub>2</sub> – 250-450 km.

Jonosferę odkrył w 1901 r. Marconi, kiedy po raz pierwszy przesłał sygnały radiowe przez Atlantyk. Niedługo potem zasugerowano (Kennelly, Heaviside), że odbicie fal radiowych mogło nastąpić dzięki obecności swobodnych ładunków elektrycznych w górnej atmosferze.

Jonizacja górnej atmosfery ma znaczenie praktyczne ze względu na rolę, jaką odgrywa w łączności radiowej. Ponieważ eksperymentalne śledzenie cząstek naładowanych jest łatwiejsze niż gazu neutralnego, fakt jonizacji atmosfery ma też istotne znaczenie dla nauki, np. ułatwia badanie ruchów górnej atmosfery.



11



12

12



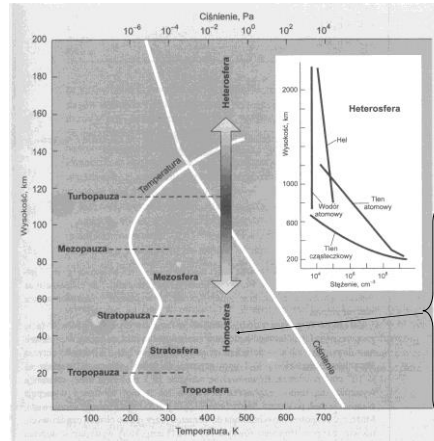
### Zorza polarna

Jej powstawanie związane jest ze zjawiskami elektrycznymi zachodzącymi w jonosferze. Atmosfera na dużych wysokościach jest zjonizowana. Oddziaływanie plazmy jonosfery i plazmy wiatru słonecznego w ziemskim polu magnetycznym indukuje napięcia, które wywołują przepływ prądu w rozrzedzonych obszarach atmosfery.

Wysoka jonizacja powietrza towarzysząca zorzom polarnym powoduje zaburzenia w rozchodzeniu się fal radiowych. Zorza składa się ze smug o jasnoblękitnych, zielonych, fioletowych lub czerwonych barwach. Kolor jest uzależniony od warstwy w atmosferze, w której ona powstaje.

13

13



Gaz	Stężenie
Azot	78,084 %
Tlen	20,946 %
Argon	0,934 %
Para wodna	0,5 – 4 %
Dytlenek węgla	360 ppm
Neon	18,18 ppm
Hel	5,24 ppm
Metan	1,7 ppm
Krypton	1,14 ppm
Wodór	0,5 ppm
Ksenon	0,087 ppm

14

14

Powietrze otaczające Ziemię składa się głównie z mieszaniny gazów, które występują w stałym stosunku objętościowym, niezmiennym z wysokością, nie tworząc związków chemicznych i są to: azot, tlen, argon, oraz minimalne ilości wodoru, helu, neonu, ozonu i innych.

Procentowy rozkład udziału tych gazów przedstawia tabela:

Nazwa gazu	Zawartość [%]
Azot	78,030
Tlen	20,99
Argon	0,937
Wodór	0,01
Neon	0,001
Krypton	0,001
Hel	0,0004
Xeon	0,0001
Inne	0,0305

Dodatkowo w niższych warstwach powietrze zawiera również składniki występujące w różnych zmiennych ilościach. Są to: dwutlenek węgla, tlenki azotu, dwutlenek siarki, amoniak, para wodna oraz inne związki chemiczne w postaci stałej lub ciekłej. Niektóre z nich zwane są tzw. gazami cieplarnianymi (GHG).

15

17

Stosowanie stężeń objętościowych ma tę zaletę, że stężenie gazu, wyrażone w tych jednostkach, nie zależy od ciśnienia i temperatury (przyjmując, że dla wszystkich gazów wchodzących w skład atmosfery zależność zmian objętości od ciśnienia i temperatury jest taka sama). Jednocześnie przyjmując, że objętość jednego mola każdego gazu jest taka sama oraz, że w molu każdego gazu znajduje się taka sama ilość atomów/cząstek, stężenia objętościowe określają jednocześnie proporcje pomiędzy ilością cząstek/atomów gazu.

Stężenie 1 ppm oznacza, że 1 cm<sup>3</sup> gazu znajduje się w 10<sup>6</sup> cm<sup>3</sup> (1 m<sup>3</sup>) powietrza, równoważnie 1 mol gazu przypada na 10<sup>6</sup> moli powietrza, a 1 atom/cząsteczka gazu na 10<sup>6</sup> molekuł powietrza.

Ze względu na różne masy molowe poszczególnych gazów wartości te nie przekładają się jednak bezpośrednio na stężenia masowe.

17

### Szacunkowe przeliczanie stężeń

#### Ile wynosi gęstość powietrza?

1 mol powietrza (29 g) zajmuje objętość 22,4 dm<sup>3</sup>.

Jego gęstość (w warunkach normalnych) wynosi więc:

$$\frac{29 \text{ g}}{22,4 \text{ dm}^3} = 1,29 \frac{\text{g}}{\text{dm}^3} = 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Słup powietrza o podstawie 1 cm<sup>2</sup> (10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>) i wysokości 8 km (8\*10<sup>3</sup> m) zajmuje objętość 0,8 m<sup>3</sup> i waży ok. 1 kg

#### Jaka masa tlenu zawarta jest w 1 m<sup>3</sup> powietrza ?

Powietrze zawiera ok. 21 % tlenu. W 1 m<sup>3</sup> powietrza jest więc 0,21 m<sup>3</sup> tlenu. Jeden mol tlenu (32 g) zajmuje objętość 22,4 dm<sup>3</sup>.

$$\frac{32 \text{ g}}{x} = \frac{22,4 \text{ dm}^3}{210 \text{ dm}^3} \Rightarrow x = 300 \text{ g} = 0,3 \text{ kg}$$

18

18

Jaka masa dwutlenku węgla znajduje się w 1 m<sup>3</sup> (1 kg) powietrza?

Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu wynosi 360 ppm (części objętościowych CO<sub>2</sub> na milion części objętościowych powietrza). Oznacza to że 360 cm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> znajduje się w 10<sup>6</sup> cm<sup>3</sup> (1 m<sup>3</sup>) powietrza. Jeden mol CO<sub>2</sub> (44g) zajmuje objętość 22,4 dm<sup>3</sup> (22 400 cm<sup>3</sup>)

$$\frac{44 \text{ g}}{x} = \frac{22\,400 \text{ cm}^3}{360 \text{ cm}^3} \Rightarrow x = 0,71 \text{ g} = 710 \text{ mg}$$

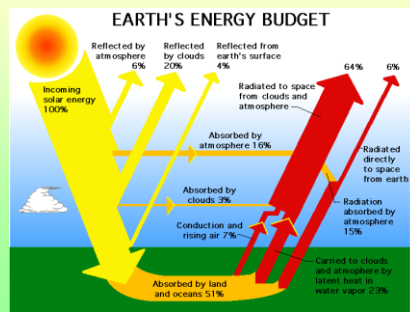
Jeden m<sup>3</sup> powietrza waży ok. 1,29 kg

$$\frac{710 \text{ mg}}{x} = \frac{1,29 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} \Rightarrow x = 550 \text{ mg}$$

Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu można wyrazić więc jako:  
360 ppm ≈ 710 mg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup><sub>pow.</sub> ≈ 550 mg CO<sub>2</sub>/kg<sub>pow.</sub>

19

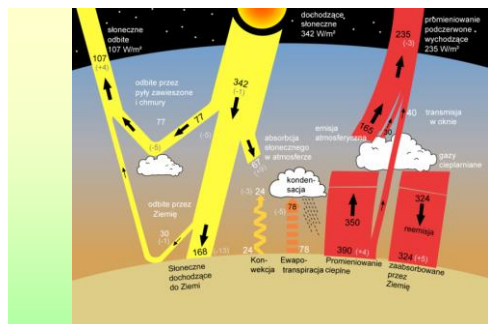
## Bilans energetyczny Ziemi



20

19

20



Z przestrzeni kosmicznej do układu Ziemia-atmosfera, dochodzi olbrzymia ilość energii w postaci promieniowania słonecznego. Strumień promieniowania dochodzącego do górnych warstw atmosfery wynosi około 1 366 W/m<sup>2</sup> powierzchni prostopadłej do promieniowania (jest to tzw. stała słoneczna). Po uwzględnieniu kulistego kształtu Ziemi, odpowiada to około 342 W/m<sup>2</sup> powierzchni Ziemi i mocy 1,74•10<sup>17</sup> wata<sub>21</sub> doprowadzanej średnio do całej planety.

21

Przyjmując, że średnie zużycie energii pierwotnej na jednego mieszkańca wynosi ok. 4,5 dm<sup>3</sup> oleju ekwiwalentnego (wartość opałowa 10 000 kcal/kg) na dobę.

$$45\,000 \frac{\text{kcal}}{\text{M d}} = \frac{45\,000 \cdot 4,19 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kcal}} \right]}{24 \cdot 3\,600 \left[ \frac{\text{s}}{\text{d}} \right]} = 2,2 \frac{\text{kW}}{\text{M}}$$

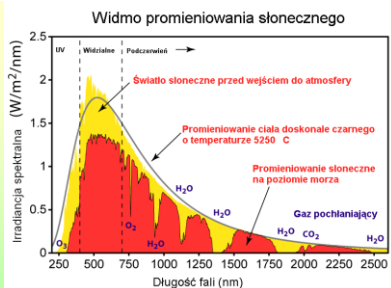
Szacunkowa ludności na ziemi – 8 miliardów

$$2,2 \frac{\text{kW}}{\text{M}} \cdot 8 \cdot 10^9 \text{ M} = 17,6 \cdot 10^9 \text{ kW} = 1,76 \cdot 10^{10} \text{ kW} = 1,76 \cdot 10^{13} \text{ W}$$

Słońce - 1,74•10<sup>17</sup> W mocy doprowadzanej średnio do całej planety

22

22

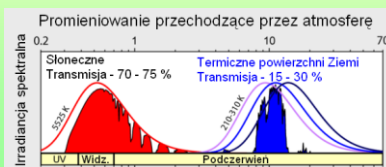


Widmo promieniowania słonecznego jest zbliżone do promieniowania ciała doskonale czarnego o temperaturze 5250°C, a większość energii promieniowania słonecznego przypada na światło widzialne i bliską podczerwień. W tym zakresie czysta atmosfera Ziemi jest niemal przezroczysta

23

23

Ziemia, tak jak każde ciało, emituje promieniowanie ciepłe. Promieniowanie to ma rozkład zbliżony do promieniowania ciała doskonale czarnego dla temperatury 287 K. Ponieważ powierzchnia Ziemi jest znacznie chłodniejsza niż powierzchnia Słońca (287 K w stosunku do 5780 K), dlatego wypromieniowuje energię ciepłą falami o większej długości, niż długości fal docierających do Ziemi (i ogrzewających ją). Natężenie promieniowania słonecznego ma maksimum w promieniowaniu widzialnym (około 0,5 μm), a promieniowanie ciepłe Ziemi w dalekiej podczerwień (około 10 μm).

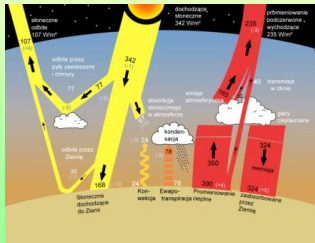


24

24

Dla promieniowania emitowanego przez powierzchnię Ziemi atmosfera ziemna jest nieprzezroczysta i pochłania jego większą część, w wyniku czego ulega ogrzaniu.

Procesy pochłaniania i emisji energii znajdują się w równowadze, która określa średnią temperaturę powierzchni Ziemi i atmosfery.

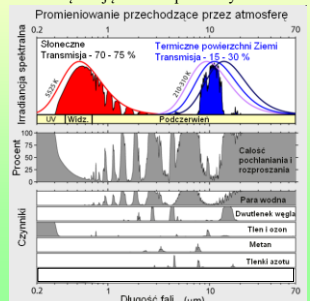


25

25

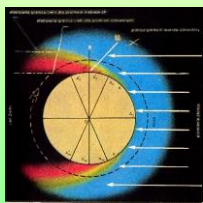
Bezchmurna atmosfera ziemna silnie pochłania promieniowanie podczerwone (termiczne) emitowane przez powierzchnię Ziemi, którego maksimum przypada około 10  $\mu\text{m}$ , z wyjątkiem wąskiego zakresu fal o długości pomiędzy 8-14  $\mu\text{m}$ , które dobrze przechodzą przez atmosferę. Zakres ten, dla którego atmosfera jest prawie całkowicie przezroczysta, został nazwany "oknem atmosferycznym". Chmury, pyły oraz gazy cieplarniane, pochłaniając promieniowanie z tego zakresu "przymykają" podczerwone okno atmosferyczne, a przez to zwiększają efekt cieplarniany.

Dla czystej atmosfery znaczna część promieniowania ziemskiego „ucieka” bezpośrednio do przestrzeni kosmicznej (około 100  $\text{W/m}^2$ ). Para wodna w atmosferze (zwłaszcza w atmosferze tropikalnej, gdzie jest jej najwięcej) pochłania większość promieniowania podczerwonego i emituje je częściowo z powrotem ku powierzchni Ziemi, w wyniku czego średnia ilość energii odchodzącej do przestrzeni kosmicznej bezpośrednio z Ziemi zmniejsza się do 40  $\text{W/m}^2$ .



26

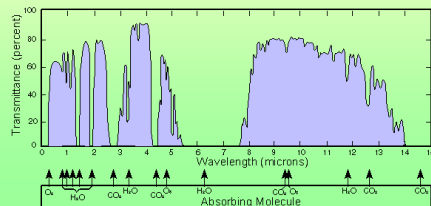
**Rozpraszanie Rayleigha** (od nazwiska Lorda Rayleigha) to rozpraszanie światła na cząsteczkach o rozmiarach mniejszych od długości fali rozpraszanego światła. Występuje przy rozchodzeniu się światła w przezroczystych ciałach stałych i cieczach, ale najbardziej efektywnie objawia się w gazach. Rozpraszanie Rayleigha na cząsteczkach atmosfery jest przyczyną błękitnego koloru nieba.



27

27

**Okno atmosferyczne** – zakres spektralny promieniowania elektromagnetycznego słabo pochłaniany przez atmosferę. Dla atmosfery ziemskiej przypada on dla fal o długości 8 - 14  $\mu\text{m}$  (w zakresie promieniowania podczerwonego). Okno atmosferyczne umożliwia emisję promieniowania cieplnego z powierzchni i atmosfery Ziemi w przestrzeń kosmiczną na poziomie ok. 100  $\text{W/m}^2$ . W zakresach fal słabo pochłanianych przez atmosferę możliwa jest obserwacja powierzchni ziemskiej z Kosmosu (np. za pomocą kamer IR umieszczonych na satelitach).

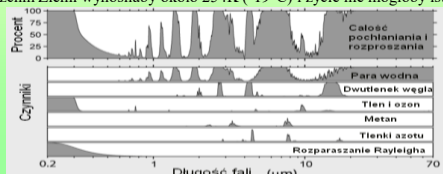


28

28

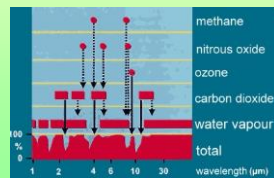
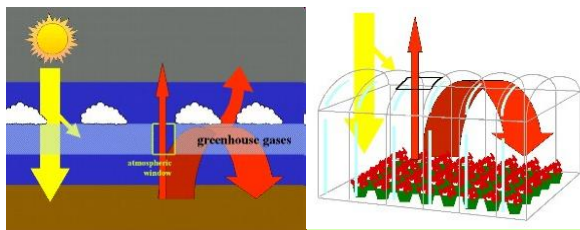
### Efekt cieplarniany

Zjawisko podwyższenia temperatury planety powodowane obecnością atmosfery. Cząsteczki gazów występujących w atmosferze, takich jak  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$  i CFC są zdolne do pochłaniania charakterystycznych części widma promieniowania podczerwonego. Ilość zaabsorbowanego promieniowania podczerwonego zmienia się wraz z rodzajem związku i jest proporcjonalna do liczby cząsteczek danego związku w atmosferze. Ilość promieniowania słonecznego docierającego do atmosfery ziemskiej jest zrównoważona ilością promieniowania opuszczającego atmosferę. Wraz ze wzrostem ilości cząsteczek absorbujących promieniowanie podczerwone w atmosferze zwiększeniu ulega temperatura, aż do momentu ustalenia się nowego stanu równowagi między ilością promieniowania emitowanego i pochłoniętego. W przypadku, gdy para wodna lub tlenek węgla byłyby nieobecne w atmosferze, temperatura przy powierzchni Ziemi wynosiłaby około 254K (-19°C) i życie nie mogłoby istnieć.



29

29



30

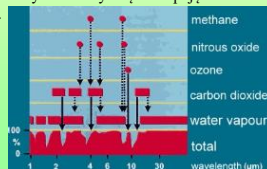
30

Stwierdzono, że ilość występujących w atmosferze substancji gazowych, takich jak CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub> i CFC systematycznie wzrasta. Zawartość pary wodnej zmienia się w tak szerokich granicach (0-5%), że nie jest możliwe określenie występujących w tym przypadku zmian. Należy podkreślić, że para wodna jest bardziej odpowiedzialna za absorpcję promieniowania podczerwonego niż jakikolwiek inny składnik atmosfery. Zwykle jednakże przyjmuje się, że wpływ pary wodnej jest w przybliżeniu stały i zmiany jej zawartości określone są przez inne czynniki. Dytlenek węgla i para wodna absorbują promieniowanie podczerwone przy długości fali mniejszej niż 8 000 nm i większej niż 12 000 nm. Promieniowanie o długościach fal nie mieszczących się w powyższych granicach nie ulega zaabsorbowaniu i powraca do atmosfery ziemskiej. Ostatnio wprowadzone związki chlorofluorowęglowe (CFC) i wodorochlorofluorowęglowe (HCFC) absorbują promieniowanie podczerwone w przedziale 8 000-12 000 nm. Zakres ten odpowiada długościom fal, przy których intensywną absorpcję wykazują również ozon, metan i tlenek diazotu.

CFC – chlorofluorowęglowodory  
HCFC – wodorochlorofluorowęglowodory  
HFC – wodorofluorowęglowodory

CCl<sub>3</sub>F freon-11, CFC-11 lub R-11, F11  
CFC-12 (CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>)

FKKW -  
Fluorchlorkohlenwasserstoffe



31

Ze względów praktycznych freony oznacza się kodem liczbowym. Pierwsza cyfra oznacza liczbę atomów węgla w cząsteczce, pomniejszona o jeden, natomiast druga cyfra oznacza liczbę atomów wodoru powiększoną o jeden. Trzecia cyfra odpowiada liczbie atomów fluoru. Jeżeli freon zawiera jeden atom węgla, to pierwsza cyfra w oznaczeniu jest pomijana (1-1=0).

CCl<sub>4</sub> symbol: F10  
CClF<sub>3</sub> symbol: F13  
CHCl<sub>2</sub>F symbol: F21

Symbol cyfrowy+90= C:H:F

Jeżeli związek jest cykliczny, to na początku znajduje się litera: "C", np. C314:

F Cl  
Cl-C – C-F  
I I  
Cl-C – C-F  
F Cl

32

32

Gaz	Czas (w latach)	ODP	GWP (global warming potential) jest miarą efektu radiacyjnego danej substancji w porównaniu z CO <sub>2</sub> w danym przedziale czasu. GWP określa o ile efekt cieplarniany spowodowany przez tą substancję przewyższa efekt spowodowany przez CO <sub>2</sub> , uznany za punkt odniesienia.	
			20 lat	100 lat
dwutlenek węgla	CO <sub>2</sub>		1	1
metan	CH <sub>4</sub>	12,0*	62	23
podtlenek azotu	N <sub>2</sub> O	114*	275	296
<b>Chlorofluorowęglowodory</b>				
CFC-11	CCl <sub>3</sub> F	45	1,0	6300 4600
CFC-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	100	0,82	10200 10600
CFC-13	CClF <sub>3</sub>	640		10000 14000
<b>Wodorochlorofluorowęglowodory</b>				
HCFC-21	CHCl <sub>2</sub> F	2,0		700 210
HCFC-22	CHClF <sub>2</sub>	11,9	0,04	4800 1700
HCFC-123	CF <sub>3</sub> CHCl <sub>2</sub>	1,4	0,014	390 120
<b>wodorofluorowęglowodory</b>				
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	2,6	<0,0004	9400 12000
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	50		1800 550
HFC-41	CH <sub>3</sub> F	2,6		330 97

Potencjał niszczenia ozonu (ozone depletion potential, ODP) jest wskaźnikiem pozwalającym porównać jak niebezpieczne są różne substancje dla warstwy ozonowej.

Czas w latach – średni czas przebywania w atmosferze

33

**Dwutlenek węgla:** Głównym źródłem wzmocnienia efektu cieplarnianego (spowodowanego przez człowieka) jest dwutlenek węgla. Ogólnie, odpowiada on za ponad 60% tego zjawiska. W krajach uprzemysłowionych CO<sub>2</sub> stanowi ponad 80% wszystkich gazów cieplarnianych. Na ziemi znajduje się ograniczona ilość węgla, który jest częścią cyklu obiegu węgla, w którym węgiel przechodzi przez atmosferę, biosferę i oceany. Rośliny pobierają CO<sub>2</sub> z atmosfery podczas procesu fotosyntezy. Wykorzystują one węgiel do budowania swoich tkanek i uwalniają go z powrotem do atmosfery, gdy umierają i ulegają rozkładowi. Ciała zwierząt (i ludzi) także zawierają węgiel, ponieważ zbudowane są z węgla pobranego z roślin lub zwierząt. Węgiel ten uwolniony zostaje jako CO<sub>2</sub>, gdy oddychają oraz gdy umierają, a ich ciała rozkładają się. Paliwa kopalne to skamieniałe pozostałości martwych roślin i zwierząt, które tworzyły się przez miliony lat w pewnych specyficznych warunkach, w wyniku czego zawierają dużo węgla. Ogólnie mówiąc, węgiel to pozostałość spalonych lasów, podczas gdy ropa naftowa to produkt rozkładu roślin morskich. Oceany pochłaniają CO<sub>2</sub>, który, po rozpuszczeniu w wodzie, wykorzystywany jest przez organizmy morskie w procesie fotosyntezy. Atmosfera, oceany i rośliny lądowe wymieniają między sobą co roku, w wyniku naturalnie zachodzących procesów, wiele miliardów ton węgla. Wydaje się, że w ciągu 10 tys. lat poprzedzających rewolucję przemysłową różnice w stężeniach dwutlenku węgla w atmosferze wyniosły mniej niż 10%. Jednak mniej więcej od 1800 roku ilość dwutlenku węgla wzrosła o ok. 30% w wyniku spalania ogromnych ilości paliw kopalnych w celu wyprodukowania energii – głównie w krajach rozwiniętych. Obecnie co roku emitujemy do atmosfery ponad 25 mld ton CO<sub>2</sub>.

35

**Para wodna:** Głównym gazem cieplarnianym jest para wodna (H<sub>2</sub>O), która odpowiada za około dwie trzecie naturalnego efektu cieplarnianego. W atmosferze ziemskiej molekuly wody absorbują ciepło, które wypromieniowuje ziemia, a następnie emitują je we wszystkich kierunkach, podnosząc temperaturę powierzchni ziemi, zanim zostanie ono w końcu wypromieniowane z powrotem w kosmos.

Para wodna w atmosferze jest częścią cyklu hydrologicznego, zamkniętego systemu obiegu wody z oceanów i lądów do atmosfery i z powrotem, przy wykorzystaniu procesów parowania, transpiracji, kondensacji i opadów atmosferycznych.

Działalność człowieka nie przyczynia się do wzrostu ilości pary wodnej w atmosferze. Jednak cieplejsze powietrze może zawierać więcej wilgoci, a więc wyższe temperatury intensyfikują zmianę klimatu.

**Transpiracja - czynne parowanie wody z nadziemnych części roślin**

34

**Metan:** Drugim gazem powodującym wzmocnienie efektu cieplarnianego jest metan (CH<sub>4</sub>). Od początku rewolucji przemysłowej stężenie metanu w atmosferze podwoiło się, co przekłada się na około 20% wzmocnienia efektu cieplarnianego. W krajach uprzemysłowionych metan stanowi zwykle 15% wszystkich gazów cieplarnianych emitowanych do atmosfery.

Produkowany on jest głównie przez bakterie, które żywią się materią organiczną w warunkach niedoboru tlenu. Emitowany jest więc z różnych naturalnych i wytworzonych przez człowieka źródeł, przy czym te ostatnie stanowią większość. Człowiek przyczynia się do zwiększenia ilości metanu w atmosferze w wyniku wydobywania i spalania paliw kopalnych, hodowli bydła (zwierzęta jedzą rośliny, które fermentują w ich żołądkach, w wyniku czego zwierzęta wydają metan; ich odchody także go zawierają), uprawy ryżu (zalane polećka ryżowe są źródłem metanu, gdyż materia organiczna w glebie rozkłada się bez wystarczającej ilości tlenu) oraz składowanie odpadów (także w tym wypadku dochodzi do rozkładu materii organicznej w warunkach niedoboru tlenu).

W atmosferze metan przechwytywa ciepło, a jest pod tym względem 23 razy skuteczniejszy niż CO<sub>2</sub>. Jednak czas jego trwania w atmosferze wynosi od 10 do 15 lat.

36

36

**Podtlenek azotu:** Podtlenek azotu ( $N_2O$ ) uwalniany jest w wyniku naturalnych procesów z oceanów i lasów deszczowych oraz przez bakterie w glebie.

Jego źródła powstałe w wyniku działalności człowieka to nawozy azotowe, spalanie paliw kopalnych oraz przemysłowa produkcja środków chemicznych wymagająca użycia azotu. W krajach uprzemysłowionych  $N_2O$  stanowi ok. 6% wszystkich uwalnianych do atmosfery gazów cieplarnianych.

Tak jak  $CO_2$  i  $CH_4$ , podtlenek azotu jest gazem cieplarnianym, którego molekule pochłaniają ciepło.  $N_2O$  jest ok. 300 razy skuteczniejszy niż  $CO_2$  pod względem pochłaniania ciepła. Od początku rewolucji przemysłowej stężenie podtlenku azotu w atmosferze wzrosło o ok. 16%, co oznacza wzmocnienie efektu cieplarnianego o 4-6%.

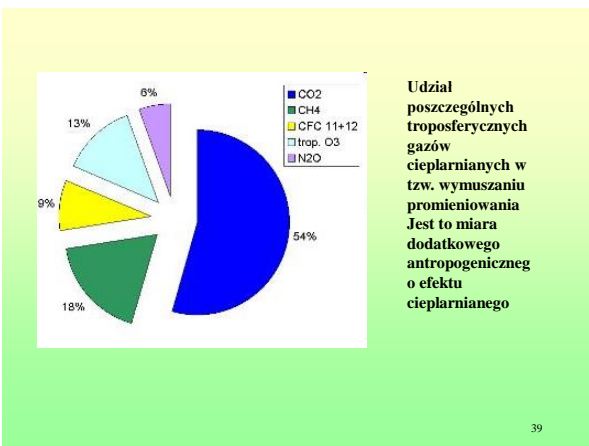
37

37

**Fluorowane gazy cieplarniane:** Jedyne gazy cieplarniane, nie występujące naturalnie, ale które zostały stworzone przez człowieka dla celów przemysłowych. W krajach uprzemysłowionych stanowią one ok. 1,5% wszystkich uwalnianych do atmosfery gazów cieplarnianych. Są one jednak niezwykle skuteczne w wiązaniu ciepła – kilka tys. razy bardziej niż  $CO_2$  – i mogą pozostawać w atmosferze przez setki lat. Fluorowane gazy cieplarniane obejmują wodorofluorowęglowodory (HFC), które stosuje się w urządzeniach chłodniczych, w tym w klimatyzatorach; sześciofluorek siarki ( $SF_6$ ), którego używa się, na przykład, w przemyśle elektronicznym oraz perfluorowęglowodory (PFC), które powstają przy produkcji aluminium, a także używane są w przemyśle elektronicznym. Najbardziej znane z nich to chlorofluorowęglowodory (CFC), które są nie tylko fluorowanymi gazami cieplarnianymi, ale także niszczą warstwę ozonu. Ich użycie stopniowo się ogranicza, zgodnie z postanowieniami Protokołu Montrealskiego w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową z 1987 roku.

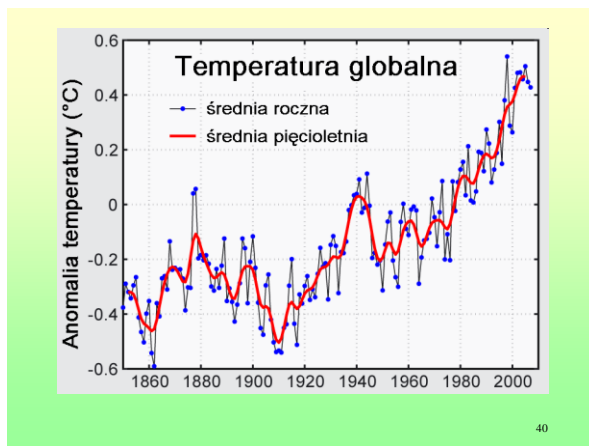
38

38



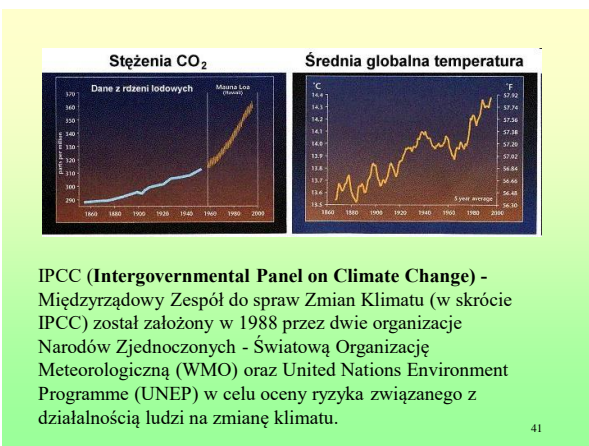
39

39



40

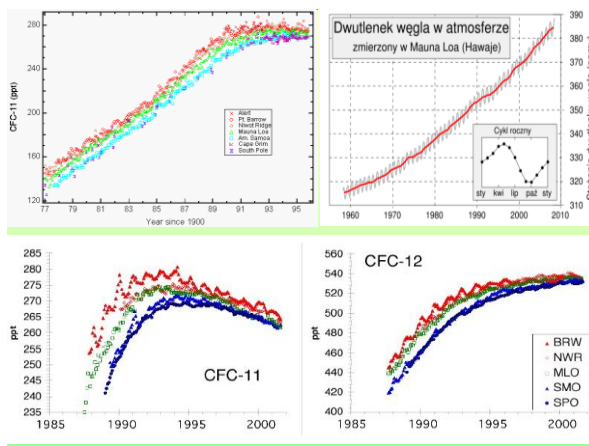
40



41

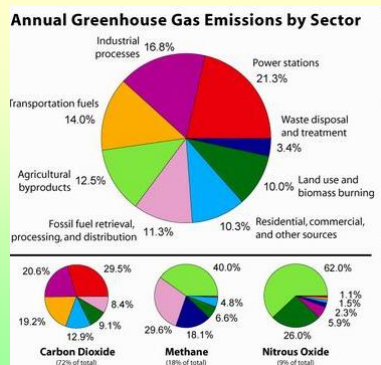
41

**IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)** - Międzyrządowy Zespół do spraw Zmian Klimatu (w skrócie IPCC) został założony w 1988 przez dwie organizacje Narodów Zjednoczonych - Światową Organizację Meteorologiczną (WMO) oraz United Nations Environment Programme (UNEP) w celu oceny ryzyka związanego z działalnością ludzi na zmianę klimatu.



42

42



43

43

Naukowcy opracowali co najmniej dziesięć ogólnych modeli cyrkulacji, które są używane do przewidywania wpływu zwiększonych stężeń gazów cieplarnianych na klimat na świecie. Rezultaty tych symulacji pokazują, że średnie globalne ocieplenie do końca następnego wieku wyniesie między 1,4°C a 5,8°C. Jeśli w modelach uwzględnia się aerozole siarczanowe, wtedy wzrost temperatury do roku 2100 jest szacowany na 1,0°C do 3,5°C. Aerozole siarczanowe zarówno odbijają promieniowanie słoneczne z powrotem w przestrzeń kosmiczną, jak i wspomagają tworzenie się chmur. Oba procesy ograniczają ilość światła słonecznego docierającego do Ziemi i tym samym chłodzą planetę. Globalne modele klimatyczne przewidują również wzrost średnich opadów na świecie o około 5-20%, ponieważ cieplejsza atmosfera może zawierać więcej pary wodnej.

44

44

The Fourth Assessment Report (ang., w skrócie AR4) był kolejnym raportem dotyczącym zmian klimatu opracowywanym przez IPCC. Podsumowanie raportu zostało opublikowane na początku 2007 roku, a pełny raport był opublikowany latem 2007. Został on napisany przez ponad 600 autorów z 40 krajów i był recenzowany przez 620 ekspertów i przedstawicieli rządów. Streszczenie raportu zostało ocenione przez przedstawicieli 113 krajów.

- Następuje globalna zmiana klimatu.
- Prawdopodobieństwo, że te zmiany są wywołane przez czynniki naturalne jest około 5%.
- Prawdopodobieństwo, że zmiany te są spowodowane przez antropogeniczną emisję gazów cieplarnianych jest ponad 90%.
- Przewiduje się, że w XXI wieku temperatura na świecie wzrośnie o 1,8 °C do 4 °C. Z tym, że możliwe są zmiany od 1,1 °C do 6,4 °C.
- Poziom wód oceanu wzrośnie prawdopodobnie o 28 do 42cm.
- Istnieje 90% prawdopodobieństwo, że będą występowały upały i silne opady

45

45

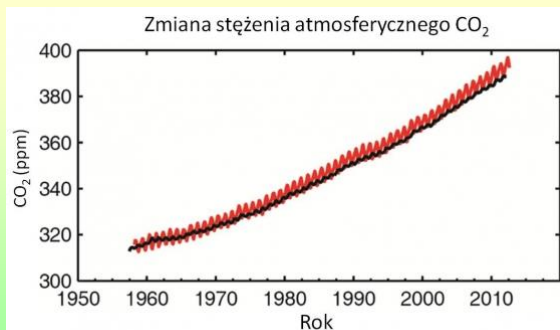
#### Piąty raport IPCC – 2013 rok.

Kluczowe fakty:

- Stężenie dwutlenku węgla w atmosferze wzrosło o 40% w stosunku do czasów sprzed rewolucji przemysłowej.
- Za wzrost średnich temperatur w okresie 1951-2010 odpowiada przede wszystkim aktywność człowieka.
- W okresie od 1901 do 2012 r. średnia temperatura powierzchni Ziemi wzrosła o 0,89°C.
- Od lat 50. XX wieku obserwujemy wzrost częstotliwości występowania fal upałów i ulew.
- W ostatnich dekadach (od 1979 roku) pokrywa lodowa w Arktyce kurczyła się w tempie 3,8% na dziesięciolecie, w ostatnich latach proces ten bardzo przyspieszył.
- Do 2100 roku globalny poziom mórz i oceanów podniesie się o 26-81 cm.
- Zatrzymanie wzrostu temperatury poniżej 2°C wymaga bardzo zdecydowanych działań ze strony ludzkości.

46

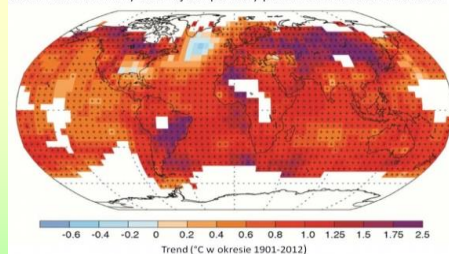
46



47

47

Obserwowane zmiany średniej temperatury powierzchni w latach 1901-2012

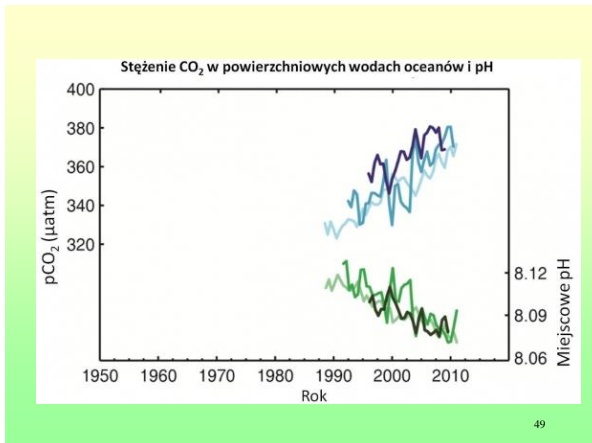


Dzięki wynikom nowych badań naukowcy są coraz bardziej pewni, że przyczyną wzrostu temperatury obserwowanego od 1951 do 2010 roku, jest w ponad połowie człowiek, powodując je głównie poprzez spalanie paliw kopalnych i wylesianie planety. Od wydania czwartej wersji raportu IPCC poziom prawdopodobieństwa tego stwierdzenia wzrósł z „co najmniej 90%” do „co najmniej 95%”.

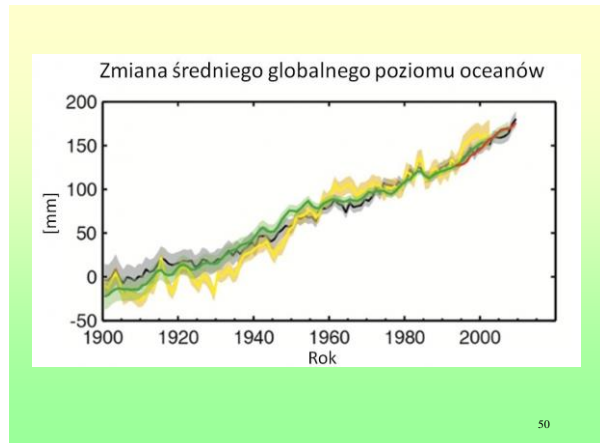
48

48

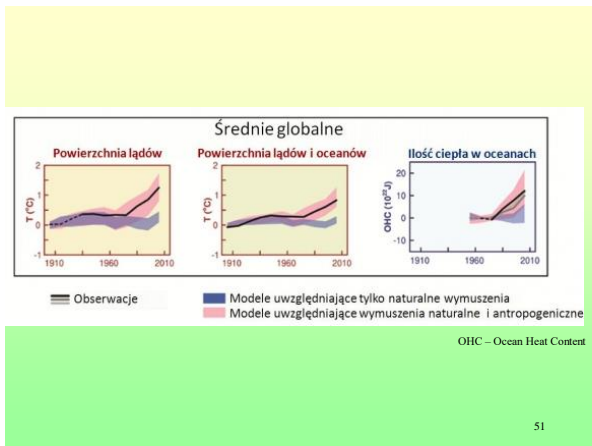




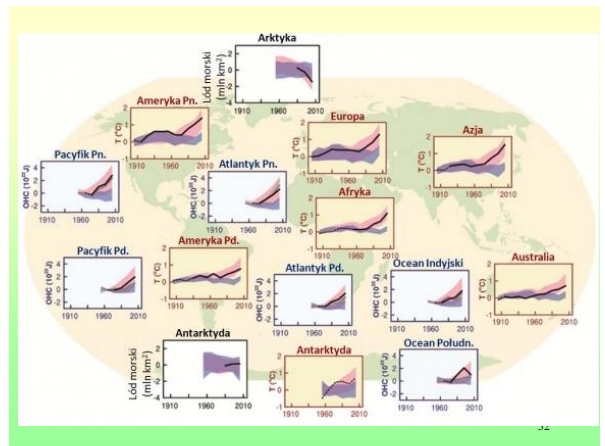
49



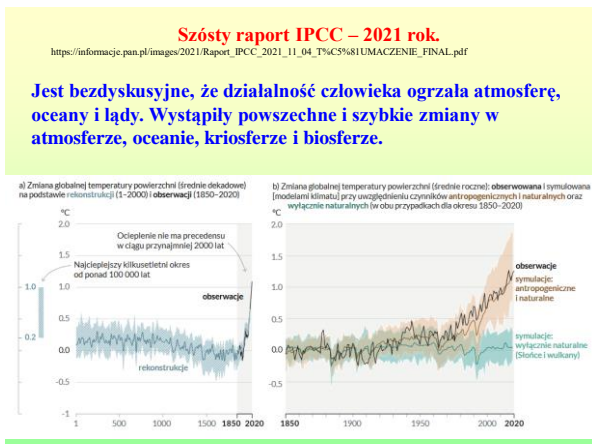
50



51



52



53

**Szósty raport IPCC – 2021 rok.**

Skala ostatnich zmian w całym systemie klimatycznym oraz aktualny stan szeregu elementów systemu klimatycznego są bezprecedensowe w skalach czasowych od stuleci do wielu tysięcy lat

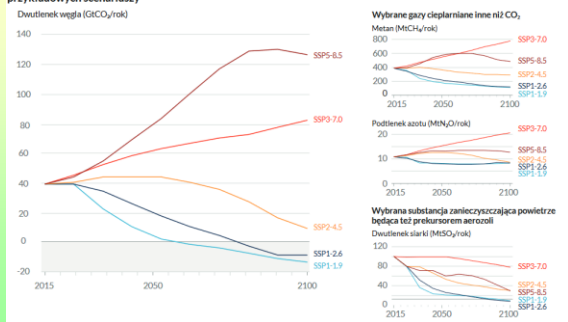
Wymolana przez człowieka zmiana klimatu już obecnie wpływa na wiele ekstremów pogodowych i klimatycznych we wszystkich regionach świata. Dowody na zmiany w ekstremalnych zjawiskach takich jak fale upałów, ulewy, susze oraz cyklony tropikalne, a w szczególności ich związek z wpływem człowieka, są silniejsze niż w AR5.

Lepsza znajomość procesów klimatycznych, odpowiedzi systemu klimatycznego na rosnące wymuszenie radiacyjne i dowodów paleoklimatycznych pozwalają oszacować równowagową czułość klimatu na 3°C z węższym zakresem [niepewności] niż w AR5.

54

## Szósty raport IPCC – 2021 rok.

a) Przyszłe roczne emisje CO<sub>2</sub> (po lewej) oraz wybranych istotnych substancji innych niż CO<sub>2</sub> (po prawej) według pięciu przykładowych scenariuszy



55

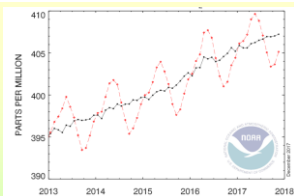
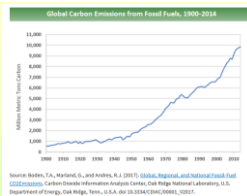
55

## Szósty raport IPCC – 2021 rok.

Scenariusz	Bliska przyszłość, 2021–2040		Średnioterminowa przyszłość, 2041–2060		Daleka przyszłość, 2081–2100	
	Najlepsze oszacowanie (°C)	Zakres <i>bardzo prawdopodobny</i> (°C)	Najlepsze oszacowanie (°C)	Zakres <i>bardzo prawdopodobny</i> (°C)	Najlepsze oszacowanie (°C)	Zakres <i>bardzo prawdopodobny</i> (°C)
SSP1-1.9	1,5	1,2 do 1,7	1,6	1,2 do 2,0	1,4	1,0 do 1,8
SSP1-2.6	1,5	1,2 do 1,8	1,7	1,3 do 2,2	1,8	1,3 do 2,4
SSP2-4.5	1,5	1,2 do 1,8	2,0	1,6 do 2,5	2,7	2,1 do 3,5
SSP3-7.0	1,5	1,2 do 1,8	2,1	1,7 do 2,6	3,6	2,8 do 4,6
SSP5-8.5	1,6	1,3 do 1,9	2,4	1,9 do 3,0	4,4	3,3 do 5,7

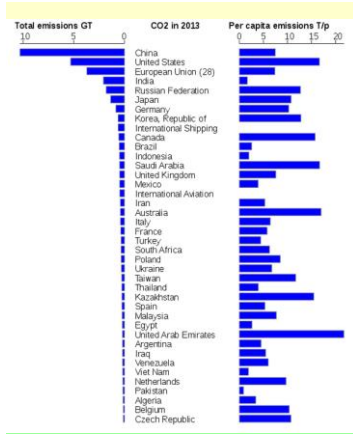
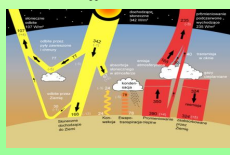
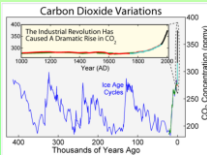
56

56



Gaz	Poziom „przedprzemysłowy”	Obecny poziom
Dwutlenek węgla	280 ppm	384ppm
Metan	700 ppb	1 745 ppb
Tlenki azotu	270 ppb	314 ppb
CFC-12	0	533 ppt

Wzrost od 1750r.	(W/m <sup>2</sup> )
104 ppm	1,46
1 045 ppb	0,48
44 ppb	0,15
533 ppt	0,17



Year	Total	Fossil Fuel & Cement	Land Use Change
2014	9,795 GtC	-	- 0,9 GtC
2013	9,735 GtC		
2012	9,575 GtC		
2011	9,449 GtC		
2010	9,995 GtC	9,140 GtC	0,855 GtC
2009	9,567 GtC	8,700 GtC	0,867 GtC
2008	9,666 GtC	8,740 GtC	0,926 GtC
2007	9,472 GtC	8,532 GtC	0,940 GtC
2006	9,355 GtC	8,363 GtC	0,992 GtC

Source Data: Global Carbon Project [xlsx]

58

57

58