

# „Budowa Ziemi i jej własności fizyczne”

Opracowała:  
Inż. Aurelia Grabarek



# *O czym będzie mowa?*

- Czym jest Ziemia?
  - Budowa Ziemi na przekroju poprzecznym
  - Omówienie poszczególnych warstw Ziemi
  - Atmosfera Ziemi
  - Własności fizyczne wnętrza Ziemi
  - Omówienie poszczególnych własności fizycznych wnętrza Ziemi
  - Krótkie omówienie zjawisk powstających w płaszczu i skorupie ziemskiej
  - Podsumowanie
- 
-

# *Czym jest Ziemia?*

Ziemia jest to trzecia w kolejności od Słońca planeta Układu Słonecznego.

Średnica Ziemi wynosi 12756 km, a promień równikowy 6378 km.

Średni ciężar właściwy Ziemi wynosi około  $5500 \text{ kg/m}^3$ .

Ziemia krąży po orbicie eliptycznej.

Posiada żelazne jądro, stały płaszcz oraz skorupę ziemską.

Atmosfera ziemską sprzyja rozwojowi życia.

---

---

# *Widok Ziemi z Kosmosu*



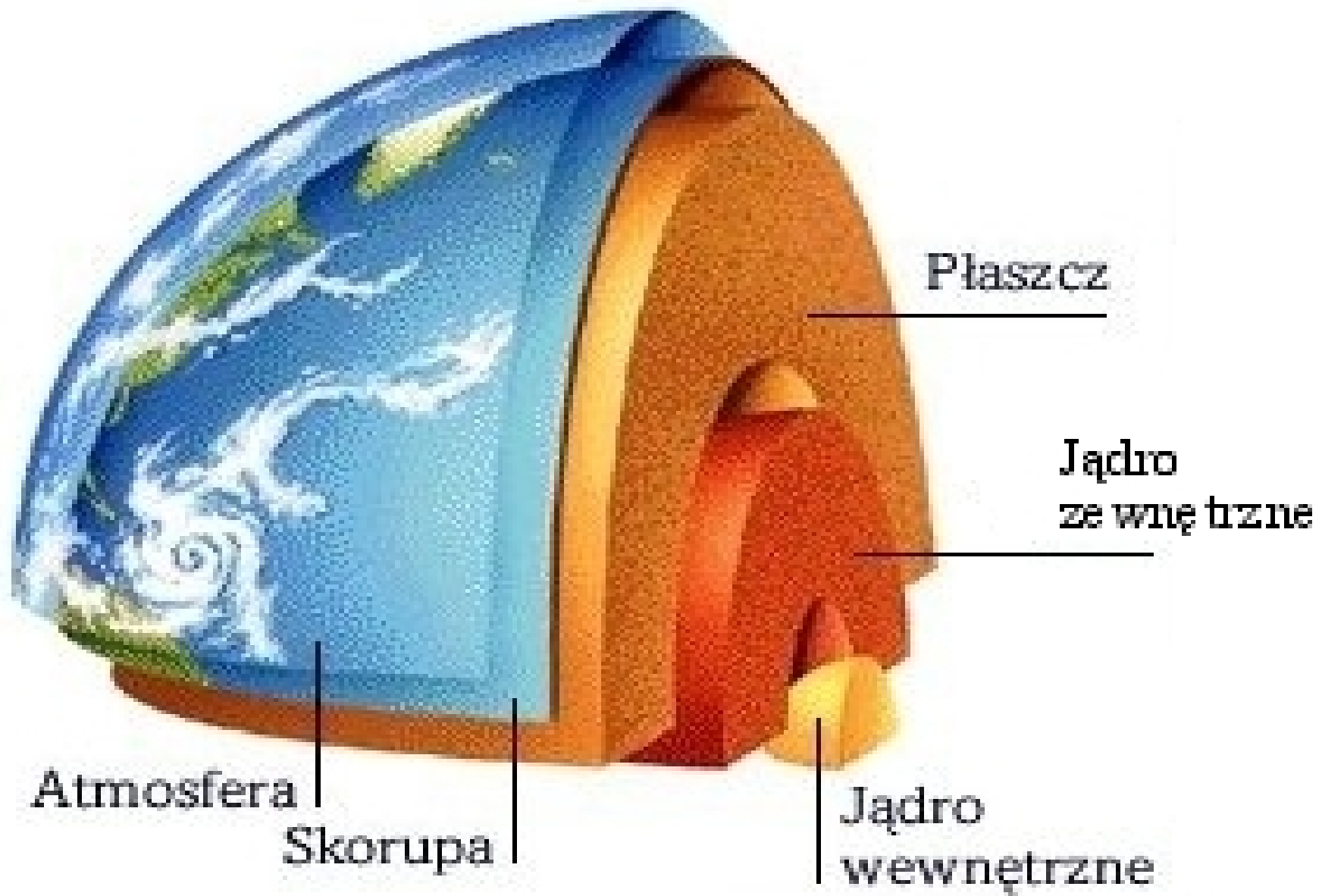
# *Budowa Ziemi*

Powierzchnię Ziemi zajmują w 29% lądy i w 71% oceany. Ląd składa się z siedmiu kontynentów o różnym ukształtowaniu powierzchni. Można wyróżnić takie tereny jak depresje, niziny, wyżyny i góry. Najwyższy punkt na Ziemi to szczyt Mount Everest (8850 m n.p.m.) znajdujący się w Himalajach.

---

---

# *Schemat budowy wnętrza Ziemi*



# *Skorupa ziemska*

Zewnętrzną powłoką Ziemi jest tzw. skorupa ziemska. Możemy ją podzielić na skorupę kontynentalną i oceaniczną. Jej dolną granicą jest nieciągłość Moho, znajdująca się na głębokości około 50-60 km. Pomiędzy powierzchnią Ziemi a powierzchnią Moho znajduje się jeszcze jedna powierzchnia nieciągłości. Od nazwiska odkrywcy nosi ona nazwę powierzchni Conrada. Jest ona mało wyraźna, a w niektórych rejonach Świata w ogóle nie występuje.

---

---



# ***Płaszcz ziemski***

Kolejną powłoką jest płaszcz ziemski. Sięga on do głębokości około 2900 km. Ciśnienie dolnej warstwy płaszcza wynosi ok. 140 GPa. Płaszcz zbudowany jest głównie z substancji bogatych w żelazo i magnez. Podział płaszcza Ziemi obejmuje dwie warstwy, płaszcz dolny (wewnętrzny) i płaszcz górny (zewnętrzny).

---

---



# *Płaszcz wewnętrzny*

Płaszcz dolny zbudowany jest głównie z niklu (Ni), żelaza (Fe), krzemu (Si) i magnezu (Mg). Średnia gęstość płaszcza wewnętrznego waha się w granicach 5,0 - 6,6 g/cm<sup>3</sup>. W płaszczu Ziemi zachodzą prawdopodobnie ruchy konwekcyjne, polegające na powolnym przemieszczaniu się w górę plastycznych mas materii. Zjawisko to zachodzi pod wpływem ciepła.

---

---

# *Płaszcz zewnętrzny*

Płaszcz górny zbudowany jest z takich związków jak chrom (Cr), żelazo (Fe), krzem (Si) i magnez (Mg) (tzw. mafesima). Średnia gęstość tej sfery wynosi  $4,0 \text{ g/cm}^3$ . Górna część zewnętrznego płaszcza ma od 80 do 150 km głębokości. Jest to już warstwa o cechach plastycznych. To na niej porusza się skorupa ziemiska i to w tej warstwie zachodzą wszystkie procesy tektoniczne.

---

---

# *Jądro Ziemi*

Podział jądra ziemskiego obejmuje stałe jądro wewnętrzne o promieniu ok. 1250 km i płynne jądro zewnętrzne sięgające promienia ok. 3500 km. Jądro wewnętrzne składa się głównie z żelaza z domieszką niklu. Jądro zewnętrzne otacza jądro wewnętrzne i składa się z ciekłego żelaza domieszkowanego ciekłym niklem i śladowymi ilościami pierwiastków lekkich.

---

---

# *Jądro a pole magnetyczne Ziemi*

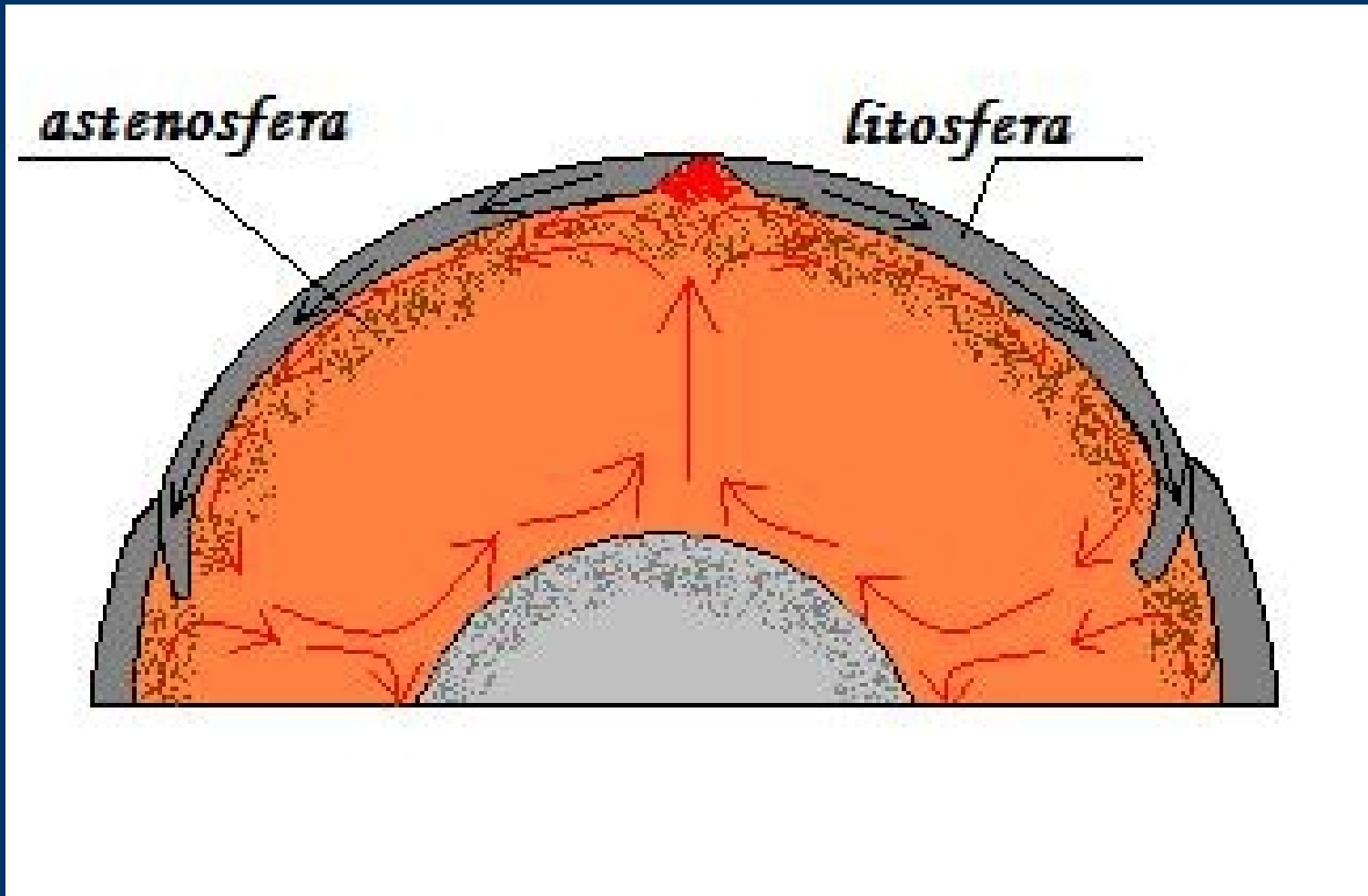
Uważa się, że to jądro zewnętrzne jest głównym źródłem pola magnetycznego Ziemi. Na powstanie pola nakładają się takie zjawiska jak konwekcja jądra zewnętrznego oraz ruch obrotowy Ziemi (siła Coriolisa). Stałe jądro wewnętrzne ma niewielki wpływ na powstawanie pola magnetycznego Ziemi, gdyż jest zbyt gorące aby utrzymać stałe pole magnetyczne, ale działa stabilizująco na pole magnetyczne wytwarzane przez ciekłe jądro zewnętrzne.

---

---

# *Budowa Ziemi*

Budowa Ziemi obejmuje jeszcze dwie wyróżnione strefy: litosferę i astenosferę.



# *Litosfera*

Litosfera składa się ze skorupy ziemskiej i najwyższej stałej części płaszcza. Podzielona jest na wiele płyt, które wskutek sił tektonicznych poruszają się względem siebie.

Litosfera dzieli się na siedem głównych oraz kilka mniejszych płyt. Płytami nazywane są cienkie, wystygłe, sztywne obiekty skalne unoszące się na powierzchni częściowo stopionej astenosfery.

Wszystkie te płyty poruszają się względem siebie dzięki wewnętrznej konwekcji zachodzącej we wnętrzu Ziemi.

---

---

# *Astenosfera*

Astenosfera jest to półpłynna warstwa płaszczu. Astenosfera jest znacznie mniejsza od litosfery. Pozwala to na pływanie płyt litosferycznych wskutek unoszenia się na powierzchni astenosfery. To w astenosferze właśnie oraz w dolnej części płaszczu ziemskiego występuje zjawisko konwekcji zachodzące we wnętrzu Ziemi.

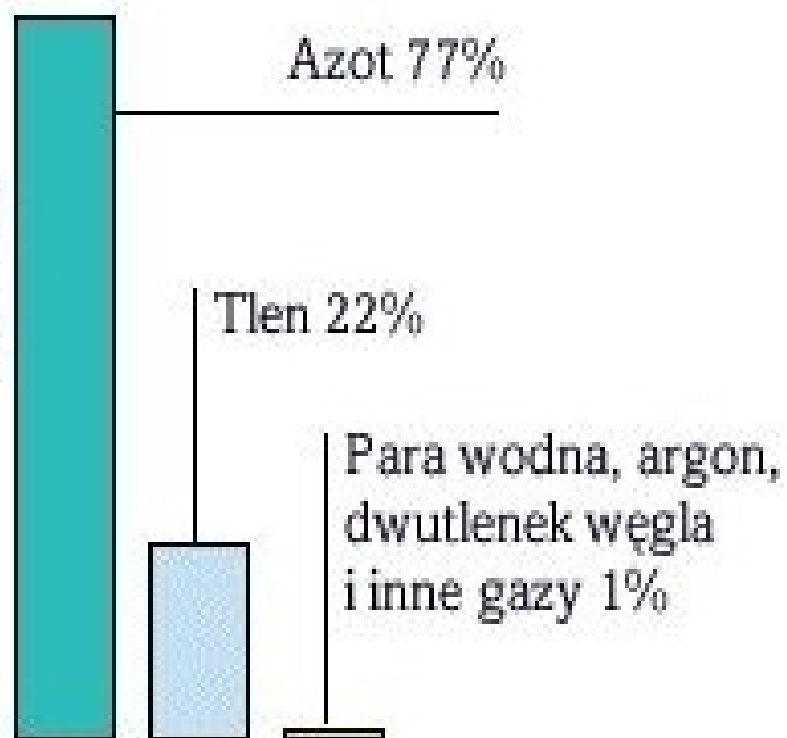
---

---



# Atmosfera ziemiska

SKŁAD ATMOSFERY



Atmosfera ziemiska składa się w 77% z azotu, 22% z tlenu, a pozostały 1% tworzą takie gazy jak argon, dwutlenek węgla, para wodna, ozon. Średnia temperatura na powierzchni Ziemi wynosi około 14°C. Najniższa temperatura panuje w strefach biegunowych, a najwyższa w strefie równikowej.

# *Warstwy atmosfery ziemskiej*

Ziemska atmosfera składa się z następujących warstw: najniżej położonej troposfery, która sięga średnio do 12 km nad powierzchnię morza, ze stratosfery znajdującej się pomiędzy 12 a 50 km nad poziomem morza, z mezosfery sięgającej od 50 do 80 km nad poziomem morza, termosfery znajdującej się nad mezosferą, jonosfery oraz najwyżej położonej egzosfery.

---

---

# *Warstwy atmosfery ziemskiej*

W troposferze zawarte jest 80% całej masy powietrza i to w tej warstwie zachodzą wszystkie zjawiska pogodowe. W górnej strefie troposfery temperatura spada do  $-55^{\circ}\text{C}$ . Między 20 a 30 kilometrem stratosfery występuje warstwa ozonu, która pochłania ultrafioletowe promieniowanie słoneczne. W termosferze, ze względu na duże rozrzedzenie atmosfery, temperatura rośnie nawet do  $1000^{\circ}\text{C}$ . W wyżej położonej jonosferze powstają piękne zorze polarne, natomiast w egzosferze temperatura spada do zera absolutnego, czyli  $-273^{\circ}\text{C}$ .

---

---

# ***Własności fizyczne wnętrza Ziemi***

Wyróżnia się następujące własności fizyczne wnętrza Ziemi:

- Własności mechaniczne wnętrza Ziemi
- Rozkład temperatury
- Własności elektryczne wnętrza Ziemi
- Zależność przewodności od temperatury



# *Własności mechaniczne wnętrza Ziemi*

W badaniu struktury wnętrza Ziemi główną rolę odgrywają takie rozkłady jak: rozkład modułu ściśliwości  $K$ , modułu ścinania  $\mu$  i gęstości  $\rho$  w funkcji promienia ziemskiego  $r$ . Otrzymuje się je poprzez analizę objętościowych i powierzchniowych fal sejsmicznych, a także dzięki obserwacji swobodnych drgań Ziemi, generowanych podczas silnych trzęsień Ziemi.

---

---

# *Własności mechaniczne wnętrza Ziemi*

Równanie Adamsa – Williamsona wiążące prędkość fal sejsmicznych  $v_p$  i  $v_s$  z gęstością  $\rho$ :

$$\frac{d\rho}{dr} = \frac{g\rho}{v_p^2 - \frac{4}{3}v_s^2}$$

równanie to nie może być stosowane w ośrodku, w którym rozkład temperatury nie jest adiabatyczny oraz w rejonach przejść fazowych.

---

---

# *Rozkład temperatury*

Szacunkowo określany jest rozkład temperatur panujących we wnętrzu Ziemi, gdyż możliwość zdobycia dokładniejszych informacji jest silnie ograniczona.

W określaniu temperatur panujących wewnątrz naszej planety pomagają nam dane dotyczące powierzchniowego strumienia cieplnego oraz założone rozkłady pierwiastków promieniotwórczych i przewodnictwa cieplnego. Rozkłady temperatur dla oceanów i kontynentów różnią się od siebie do głębokości kilkuset kilometrów. Głębiej, przypuszcza się, temperatury wyrównują się.

---

---

# *Rozkład temperatury*

Temperatura topnienia materiału płaszcza stanowi górną granicę rozkładu temperatur w nim, gdyż zazwyczaj płaszcz znajduje się w stanie stałym. Z teorii ciała stałego otrzymujemy wzór wiążący temperaturę topnienia ośrodka jednorodnego  $T_m$  z prędkościami fal w tym ośrodku  $v_p$  i  $v_s$  :

$$T_m = C \left( 1/v_p^3 + 1/v_s^3 \right)^{-1/3}$$

Na podstawie tego wzoru otrzymuje się dość realistyczne krzywe szacujące temperatury topnienia aż do granicy płaszcz – jądro.

---

---



# ***Własności elektryczne wnętrza Ziemi***

Rozkład przewodności elektrycznej we wnętrzu Ziemi można uzyskać za pomocą analizy zmian magnetycznego pola ziemskiego oraz przez zastosowanie metody magnetotellurycznej. Metoda ta polega na równoczesnym pomiarze pola magnetycznego i indukowanego w Ziemi pola elektrycznego. Pozwala ona określić przewodność elektryczną skał na głębokości od 10 do 100 km.

---

---

# ***Własności elektryczne wnętrza Ziemi***

Oprócz silnie przewodzącej warstwy stworzonej przez skały osadowe i oceany, zewnętrzne warstwy Ziemi są słabo przewodzące. Tak na przykład przewodność elektryczna wody morskiej wynosi około  $4 (\Omega \text{ m})^{-1}$ , a nasyconych wodą skał osadowych od  $10^{-3}$  do  $1 (\Omega \text{ m})^{-1}$ . Natomiast przewodność suchych skał osadowych mieści się zaledwie w przedziale do  $10^{-3} (\Omega \text{ m})^{-1}$ .

---

---

# *Zależność przewodności od temperatury*

Dużą wagę przy przewodnictwie spełnia odpowiednia temperatura. Zależność przewodności elektrycznej warstw Ziemi  $\sigma$  od temperatury przedstawia następująca formuła:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-A/kT}$$

gdzie:  $T$  – temperatura,  $k$  – stała Boltzmannna,  $\sigma_0$  – pewna stała,  $A = 2E$  dla przewodnictwa jonowego ( $E$  – energia aktywacji) oraz  $A = E$  dla przewodnictwa elektronowego i domieszkowego.

---

---

# *Zależność przewodności od temperatury*

Przewodnictwo domieszkowe występuje dzięki obecności w sieci domieszek atomów innych kryształów, co powoduje nadmiar elektronów lub dziur. Występuje ono zwłaszcza w suchych skałach skorupy ziemskiej i w najwyższych partiach płaszcza.

---

---

# *Zależność przewodności od temperatury*

- Przewodnictwo domieszkowe dominuje do temperatur kilkuset °C.
  - Przewodnictwo elektronowe, dominujące w strefie przejściowej i w dolnym płaszczu, zaczyna przewyższać przewodnictwo domieszkowe już w około 700 °C.
  - Powyżej 1100 °C silnie zaczyna dominować przewodnictwo jonowe, które nie gra żadnej roli poniżej 500 km, gdyż jest silnie hamowane przez panujące w tym obszarze wysokie ciśnienie oraz zbyt niską temperaturę. Przewodnictwo jonowe występuje przede wszystkim w magmie, a także w obszarach o temperaturach bliskich temperaturze topnienia.
- 
-

# *Zjawiska powstające w płaszczu i skorupie ziemskiej*

Do zjawisk pojawiających się na powierzchni Ziemi i mających swoje źródła w procesach zachodzących we wnętrzu Ziemi zaliczamy:

- trzęsienia ziemi
  - wybuchy wulkanów
  - powstawanie tsunami
- 
-

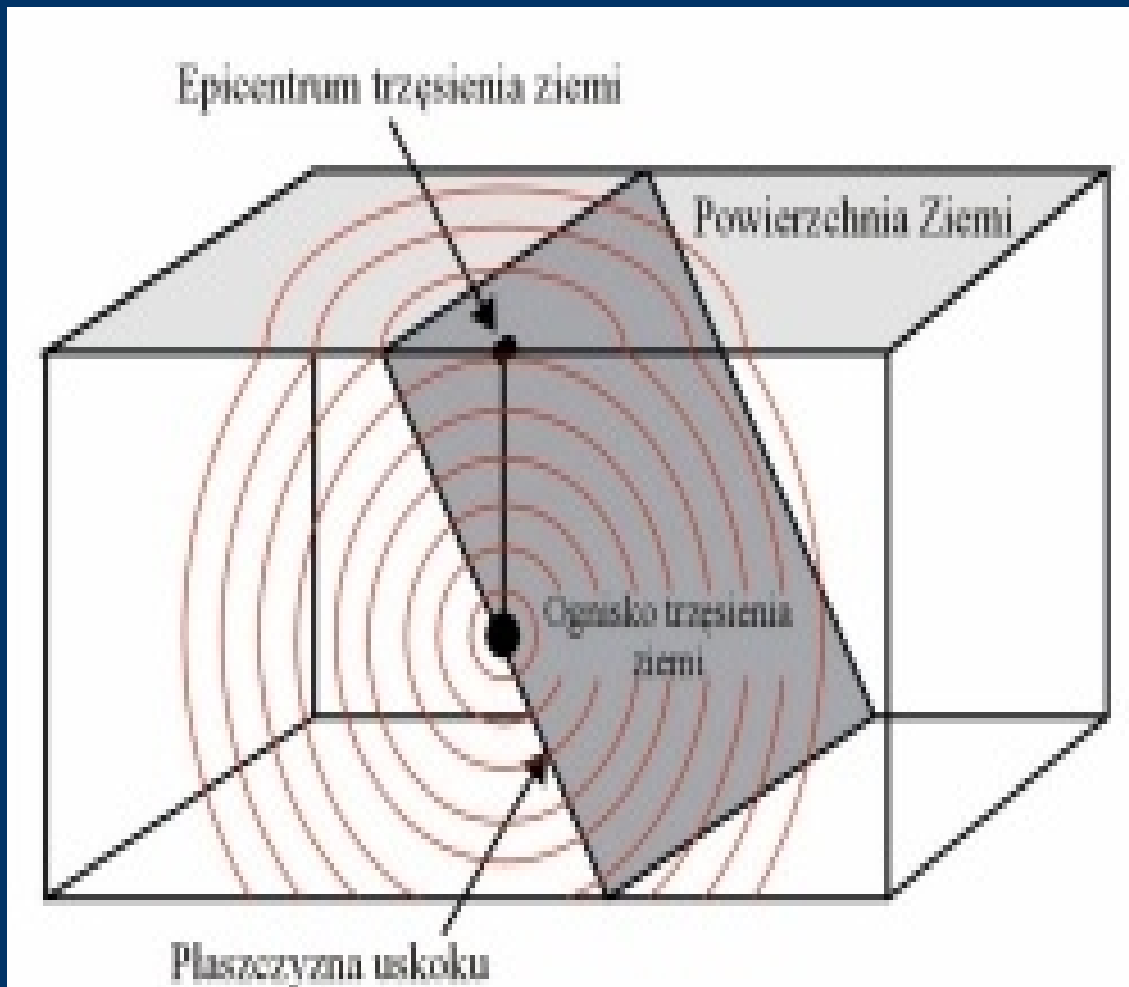
# *Trzęsienia ziemi*

Trzęsieniem ziemi nazywamy drgania skorupy ziemskiej. Skorupa ziemska składa się z oddzielnych płyt litej skały, które poruszają się wolno względem siebie. Kiedy płyty blokują się o siebie i przez pewien czas są unieruchomione, wówczas narastają naprężenia. Gdy w końcu płytą udaje się przesunąć względem siebie, naprężenia te ulegają nagłemu rozkładowi. Powoduje to powstawanie fal sprężystych zwanych sejsmicznymi.

---

---

# Trzęsienia ziemi



Fale sejsmiczne rozchodząc się docierają najpierw do epicentrum, czyli do miejsca, gdzie trzęsienie ziemi wywołuje największe szkody. Wraz z oddalaniem się fal sejsmicznych od epicentrum, tracą one swoją prędkość oraz siłę. Zatem im dalej od epicentrum, tym słabiej odczuwalny wstrząs.



# *Trzęsienia ziemi*

W zależności od głębokości, na której znajduje się ognisko, trzęsienia ziemi klasyfikuje się na:

- trzęsienia płytkie od 0 do 70 km;
- trzęsienia średniogłębokie od 70 do 300 km;
- trzęsienia głębokie od 300 do 720 km.

Poniżej 720 km nie wykryto żadnych trzęsień ziemi.

W trzęsieniach płytkich wyzwala się około 75% energii, a jedynie 3% w trzęsieniach głębokich. Średnia energia wyzwalamana rocznie przez trzęsienia ziemi to około  $10^{18}$  J.

---

---

# *Trzęsienia ziemi*

Trzęsienie ziemi powstaje wskutek przekroczenia granicy krytycznej wytrzymałości materiału skalnego we wnętrzu Ziemi. Czynnikiem zapalnym, wywołującym trzęsienie może być wiele różnych zjawisk, takich jak zmiana ciśnienia atmosferycznego, naprężenia pływowe, pobliskie trzęsienie ziemi, pełzanie materiału w górnym płaszczu lub skorupie ziemskiej czy też wzrost naprężeń tektonicznych.

W procesie powolnej akumulacji naprężeń tektonicznych we wnętrzu Ziemi gromadzi się energia, która później zostaje gwałtownie uwolniona podczas trzęsienia. Jej pierwotnym źródłem jest energia cieplna wnętrza Ziemi.

---

---

# *Fale sejsmiczne*

W ognisku trzęsienia dochodzi do nagłego przesunięcia i zniszczenia materiału skalnego. Procesy te są przyczyną powstania fal sejsmicznych i zachodzą wzdłuż płaszczyzny ogniskowej.

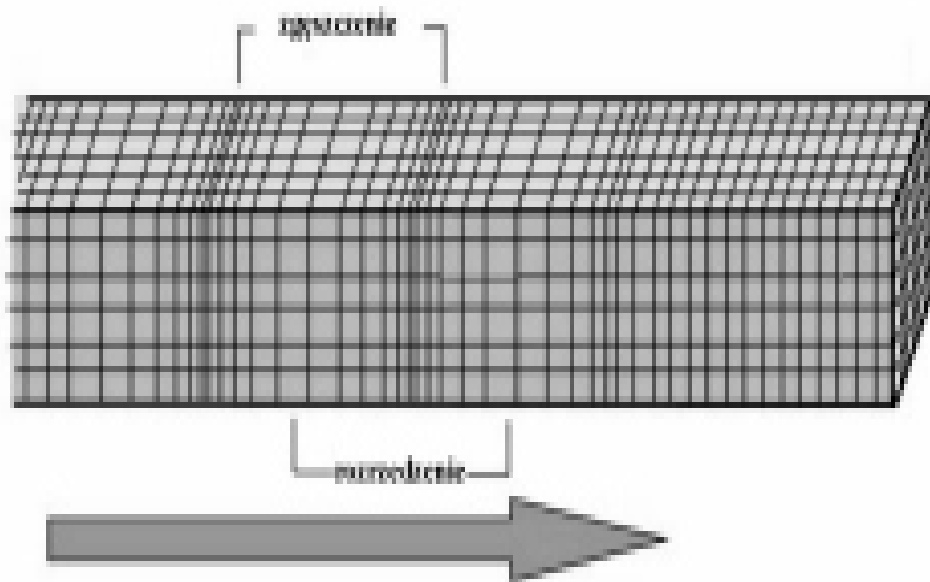
Fale generowane w ognisku to głównie fale objętościowe dzielące się na fale podłużne  $P$  (pierwsze), ich prędkość jest większa od prędkości innych fal i to one jako pierwsze docierają do miejsca obserwacji oraz fale poprzeczne  $S$  (drugie), zwane również falami ścinania.

---

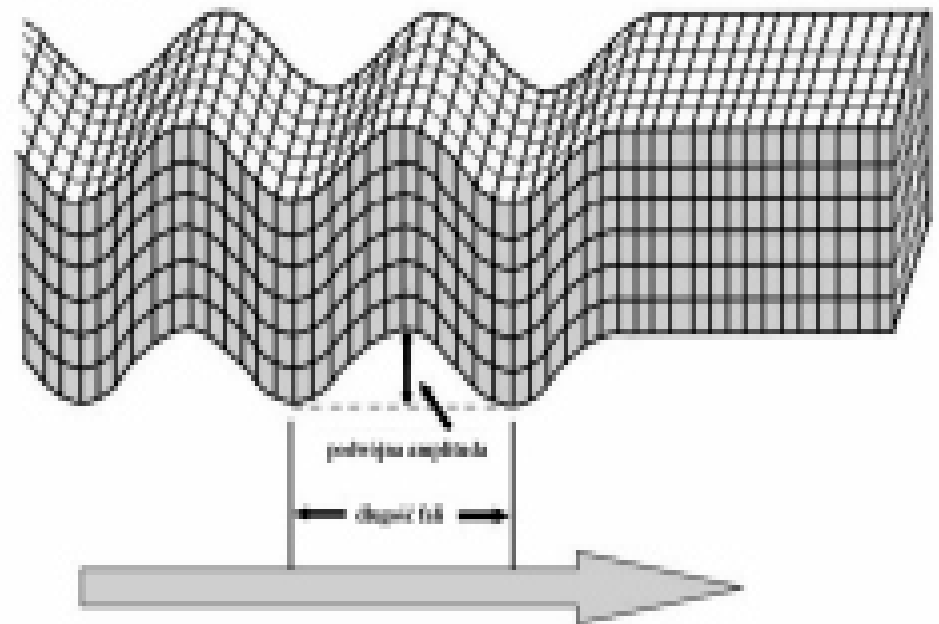
---

# *Fale sejsmiczne*

Fala P



Fala S

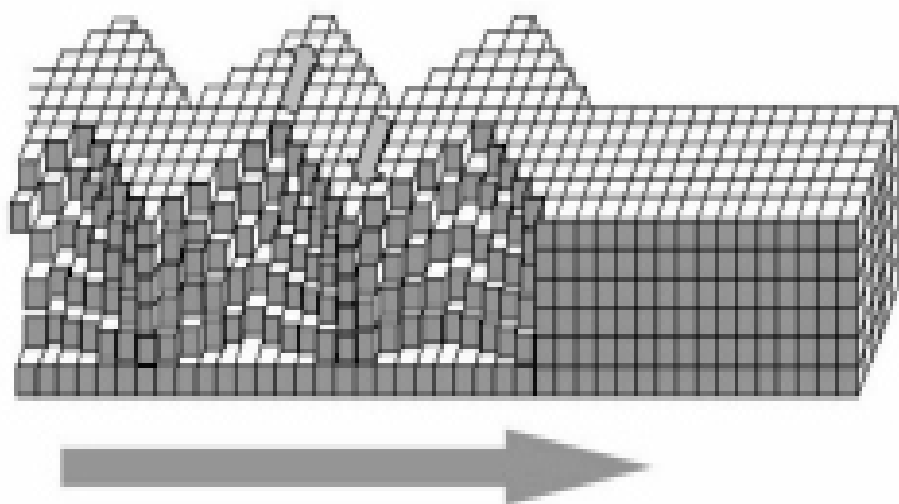


Fale powierzchniowe podłużne P i poprzeczne S.

# *Fale sejsmiczne*

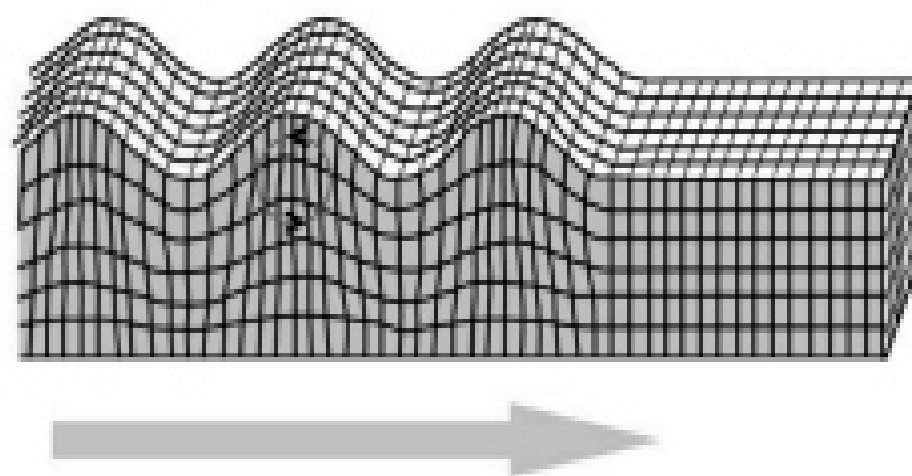
Po dojściu do powierzchni, fale poprzeczne generować mogą fale powierzchniowe Love'a lub fale powierzchniowe Reyleigha:

Fala Love'a



Strzałka pokazuje kierunek przemieszczania się fali

Fala Rayleigha



Strzałka pokazuje kierunek przemieszczania się fali

## *Fale sejsmiczne*

- Fale Love'a - (powierzchniowe fale poprzeczne o polaryzacji poziomej) wywołują drgania poziome, prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fal.
- Fale Rayleigha - fale typu grawitacyjnego, ruch cząstek odbywa się po elipsie ustawionej pionowo prostopadłej do kierunku biegu fali.

Prędkość fal sejsmicznych jest funkcją gęstości, ścisłości i sztywności ośrodka. Wraz ze zmianą głębokości parametry te zmieniają się również co pozwala na sformułowanie hipotez dotyczących wnętrza Ziemi.

---

---

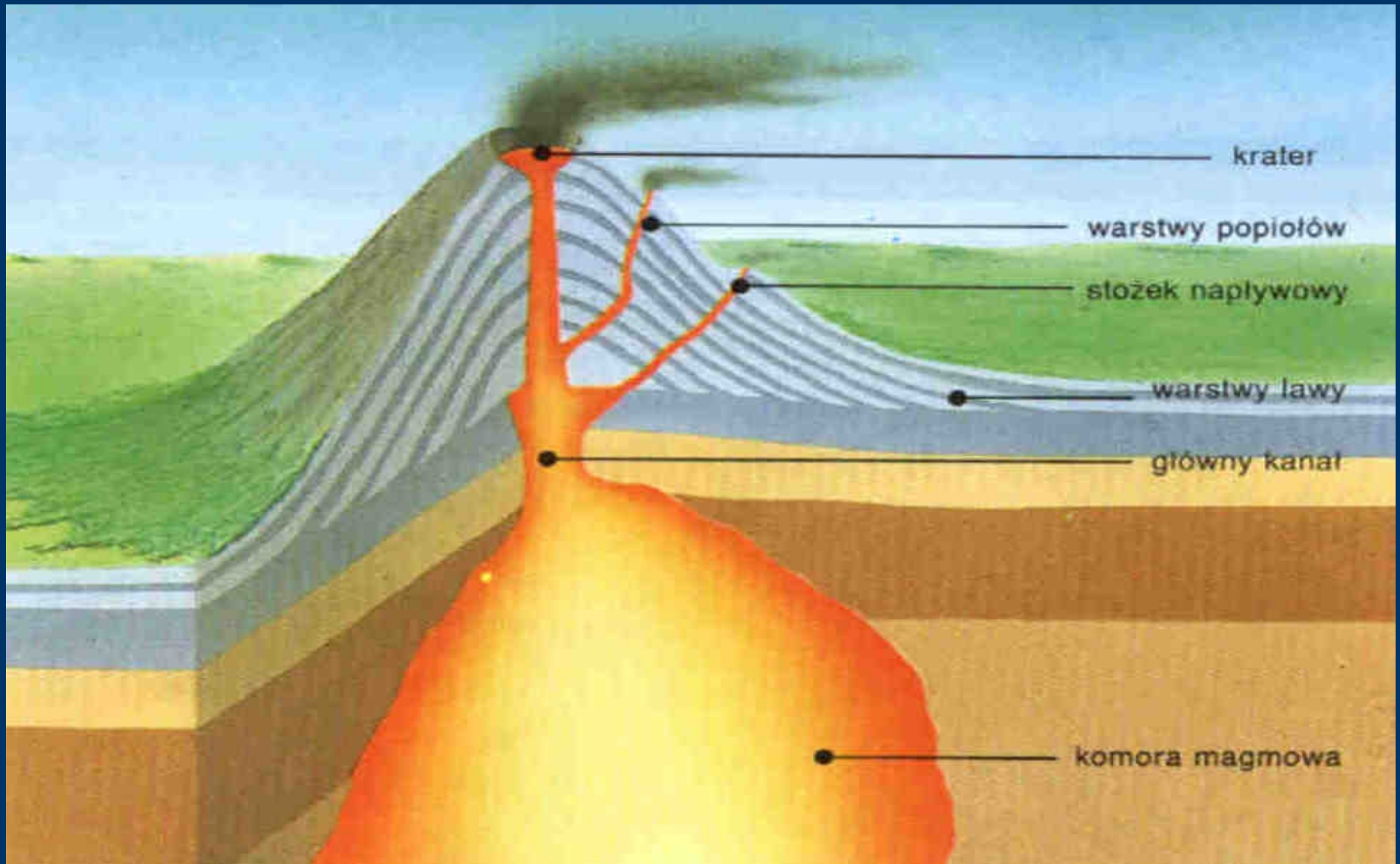
# *Wulkany*

Głęboko pod skorupą ziemską, w płaszczu Ziemi znajduje się magma. Jest to roztopiona skała, magazynująca ogromne ilości energii cieplnej. W zależności od składu chemicznego magmę dzieli się na dwa rodzaje: magmę kwaśną i magmę zasadową. Ze względu na ciągłe odgazowywanie się magmy, we wnętrzu Ziemi wytwarza się ogromne ciśnienie, które wypycha magmę do tzw. komór magmowych. Tymi komorami są wielkie szczeliny w skałach skorupy ziemskiej. Stanowią one swego rodzaju "magazyny".

---

---

# *Budowa wulkanu*





# *Wulkany*

Z komór magmowych magma, ze względu na to, że jest materiałem lżejszym od otaczających ją skał, jest wypychana w górę. Natrafiając na swej drodze skały, magma topi je, drażąc w ten sposób kanał pozwalający jej na wydostanie się spod skorupy ziemskiej na powierzchnię. Wydostającą się z wulkanu na powierzchnię magmę nazywa się lawą. Jej temperatura osiąga nawet 1000 stopni Celsjusza. Prędkość z jaką lawa spływa po zboczach wulkanu dochodzi nawet do ponad 165 m/s, w zależności od płynności lawy oraz stopnia nachylenia zbocza wulkanu. Lawa spływając w dół stopniowo się ochładza oraz spowalnia.

---

---

# *Rodzaje wulkanów*

- Ze względu na kształt rozróżniamy dwa podstawowe typy wulkanów: wulkany stożkowe oraz wulkany tarczowe.
  - Ze względu na strukturę wyrzucanych na zewnątrz materiałów wulkany dzielimy na:
    - wulkany lawowe - wydobywa się tylko lawa;
    - wulkany eksplozywne - wyrzucane są tzw. materiały piroklastyczne;
    - wulkany mieszane (stratowulkany) – wydobywają się na przemian materiały piroklastyczne i lawa.
- 
-

# *Rodzaje erupcji wulkanów*

Wyróżniamy następujące rodzaje erupcji wulkanów:

- Erupcja peleańska;
  - Erupcja hawajska;
  - Erupcja stombolijska;
  - Erupcja wulkaniczna;
  - Erupcja pliniańska.
- 
-

# *Tsunami*

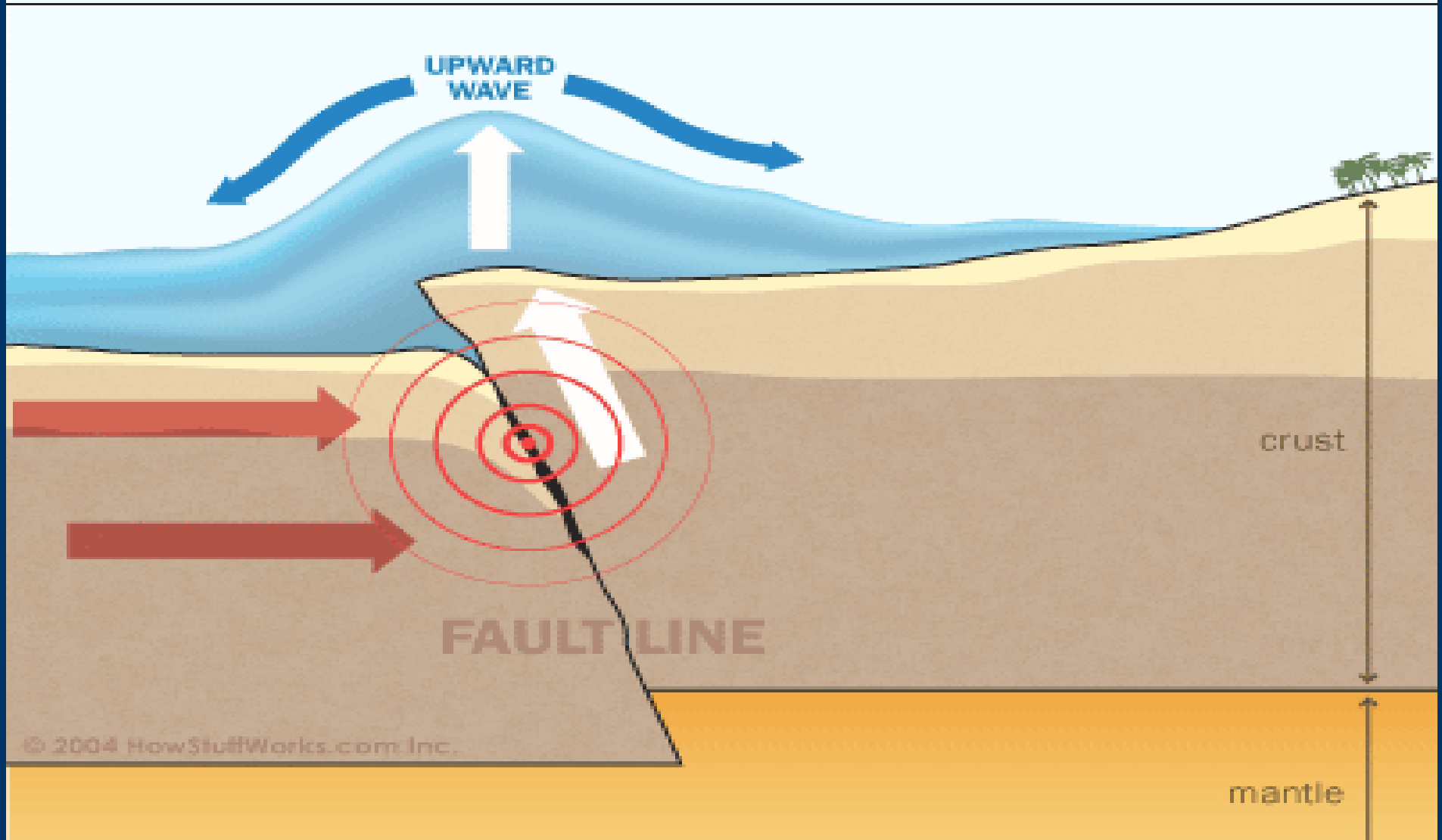
Tsunami - nazwa japońska oznaczająca falę portową. Jest to fala oceaniczna wywołana podwodnym trzęsieniem ziemi, wybuchem wulkanu bądź osuwiskiem ziemi (lub dzieleniem się lodowców). Bywa również wynikiem upadku meteorytu. Tsunami powstaje gdy pod wodą następuje erupcja wulkanu. Następuje wówczas gwałtowne wypychanie wody w górę, co powoduje powstawanie fal. Podobnie dzieje się w przypadku podwodnego trzęsienia ziemi. Przesunięcie się dna morskiego powoduje wybrzuszenie wody.

---

---

# *Powstawanie tsunami*

## How Tsunamis Work: Tsunamigenesis



# *Tsunami*

Fala tsunami porusza się z wielką prędkością (do 900 km/h). Podczas jej powstawania fale rozchodzą się pierścieniowo od miejsca jej wzbudzenia. Tsunami w odróżnieniu od normalnych fal sięga od powierzchni wody aż do dna oceanu. W ruch wprawiany jest praktycznie cały ocean. Ze względu na to, że długość tych fal dochodzi do kilkuset kilometrów, ale ich wysokość nie przekracza kilkudziesięciu centymetrów, ich przejście na pełnym morzu może być nawet niezauważone. Dopiero w strefie brzegowej fala tsunami może osiągnąć wysokość kilkudziesięciu metrów niszcząc nadbrzeżne miejscowości.

---

---

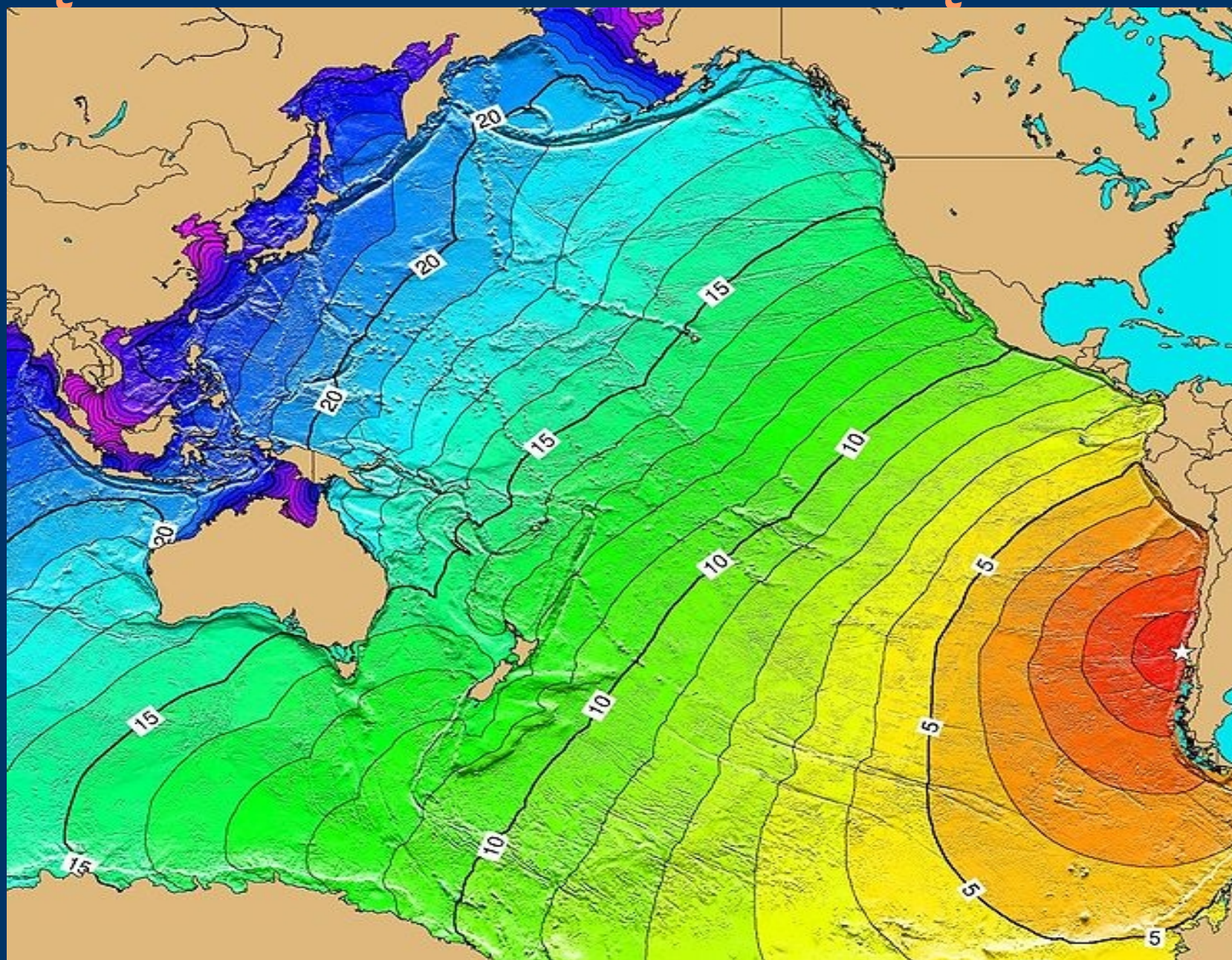
# *Rodzaje tsunami*

Wyróżnia się trzy rodzaje tsunami:

- lokalne – miejsce wzbudzenia fali znajduje się blisko wybrzeża, a czas jej przybycia wynosi do pół godziny;
  - regionalne – fale mogą zagrozić większemu obszarowi przybrzeżnemu (juhu), czas przybycia do 5 godzin od wzbudzenia;
  - ponadregionalne (pacyficzne) – mogą objąć wiele obszarów po obu stronach Pacyfiku, czas przybycia fali od kilku do kilkunastu godzin w zależności od odległości wzbudzenia.
- 
-



# *Prędkość rozchodzenia się tsunami*





## *Podsumowanie*

Teraz już wiemy, że wewnątrz Ziemi składa się z wielu utworów charakteryzujących się różnymi własnościami fizycznymi i chemicznymi. Posiadającymi różną gęstość, różne prędkości rozchodzenia się w nich fal sejsmicznych. Utwory te mogą wytwarzać naturalne pole elektryczne, jak również mogą być promieniotwórcze. Potrafimy również określić typy anomalii występujących na danym terenie, takie jak trzęsienia ziemi, wybuchy wulkanów czy tsunami. Potrafimy również scharakteryzować ich właściwości fizyczne.

---

---

# Źródła

- [1] Radosław Mieszkowski, „Zarys geofizyki poszukiwawczej”, Fizyka w szkole, Styczeń/Luty 2008;
  - [2] Encyklopedia fizyki, PWN, 1974;
  - [3] B. M. Jaworski, A. A. Dietłaf „Fizyka – Poradnik Encyklopedyczny”, PWN 2002;
  - [4] [www.astro-czemierniki.pl](http://www.astro-czemierniki.pl)
  - [5] [www.geografia.serwis.pl](http://www.geografia.serwis.pl)
  - [6] [www.wikipedia.pl](http://www.wikipedia.pl)
  - [7] [www.fizar.pu.kielce.pl](http://www.fizar.pu.kielce.pl)
  - [8] [www.zjawiska.webpark.pl](http://www.zjawiska.webpark.pl)
- 
-

***Dziękuję za uwagę***

