

V. Wnętrze Ziemi. Procesy endogeniczne

6. Trzęsienia ziemi, ruchy epejrogeniczne i izostatyczne

Definicja trzęsień ziemi

- ☉ **Trzęsieniem ziemi** nazywamy gwałtowne (w ciągu ułamka sekundy do kilku sekund) uwolnienie znacznej ilości energii mechanicznej nagromadzonej w skałach skorupy ziemskiej lub górnego płaszczca.
- ☉ Towarzyszy mu wzajemne przemieszczenie mas skalnych.

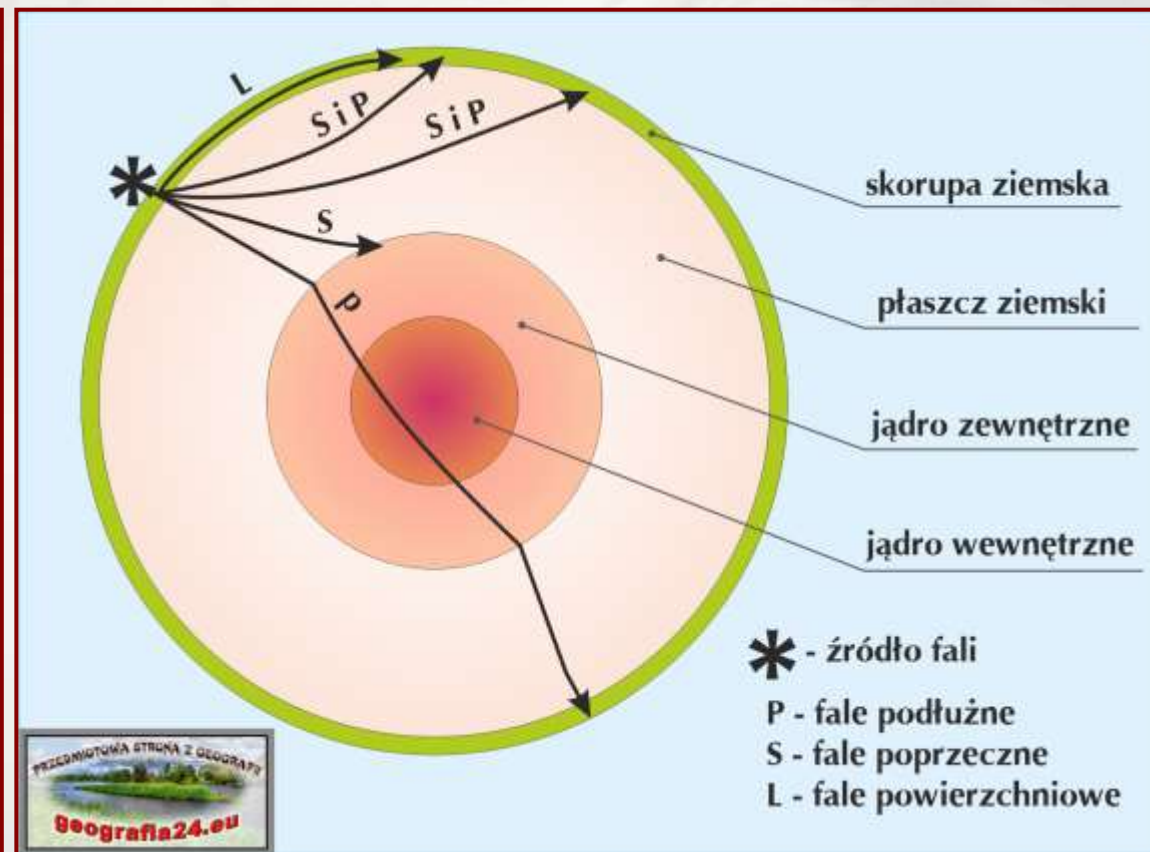
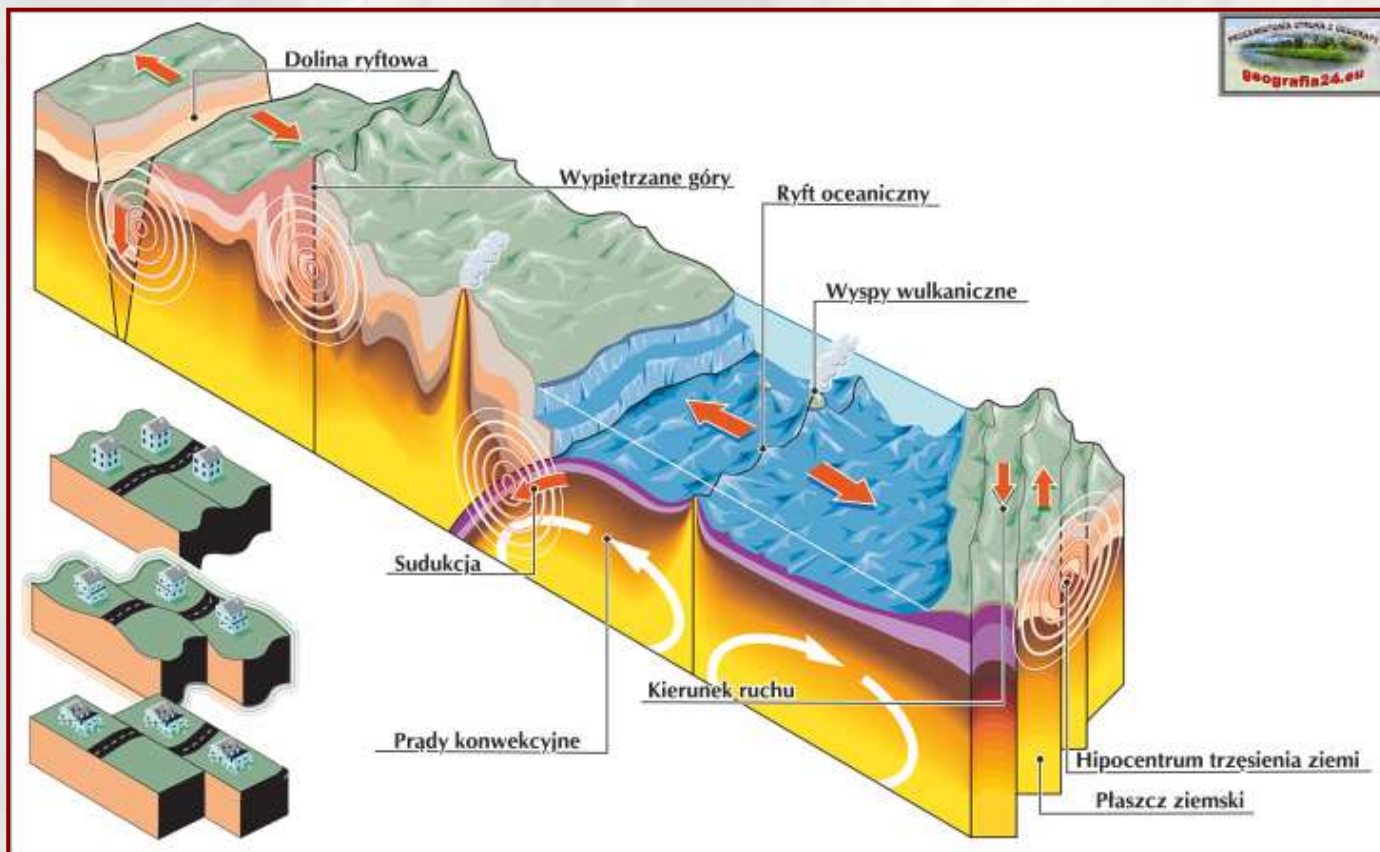


Ślub podczas trzęsienia Ziemi



Rodzaje fal sejsmicznych

- Ruch mas skalnych generuje drgania, rozchodzące się w postaci **fal sejsmicznych (fal sprężystych)**.
 - Fale docierające do powierzchni Ziemi odczuwane są jako nagłe wstrząsy o zróżnicowanej sile i częstotliwości.
 - Występują dwa (w zasadzie więcej) główne **rodzaje fal sejsmicznych**:
 - **fale przestrzenne** – powstające w miejscu uwolnienia się energii w głębi Ziemi, rozchodzące się od ogniska trzęsienia ziemi we wszystkich kierunkach, w postaci **fal podłużnych (P)** lub **fal poprzecznych (S)**;
 - **fale powierzchniowe (L)** – powstają gdy fale sejsmiczne docierają do powierzchni ziemi (fale te rozchodzą się na granicy ośrodków) i rozchodzą się w postaci: **fal Rayleigh'a** lub **fal Love'a**.



Rodzaje fal sejsmicznych: fale przestrzenne

🌐 **Fale przestrzenne (względne, objętościowe)** – powstające w miejscu uwolnienia się energii w głębi Ziemi, rozchodzące się od ogniska trzęsienia ziemi we wszystkich kierunkach:

🌐 **fale podłużne (P)** – przechodzą przez wszystkie ciała (w tym ciecze),

🌐 powodują drgania cząstek w przód i w tył wzdłuż drogi fali,

🌐 skutkują kurczeniem się i rozszerzaniem ośrodka skalnego, przez który przebiega fala;

🌐 **fale poprzeczne (S)** – nie przechodzą przez ciecze (jądro zewnętrzne),

🌐 rozchodzą się tym samym tylko w ciałach stałych,

🌐 w trakcie przechodzenia następują drgania prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali (zmianom ulega kształt cząstek).

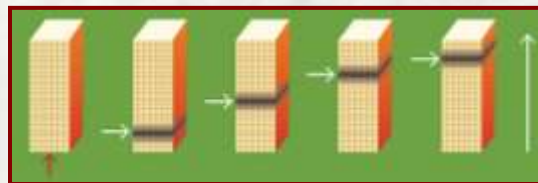
Fale podłużne (P)

materiał bez zmian

materiał – kurczenie

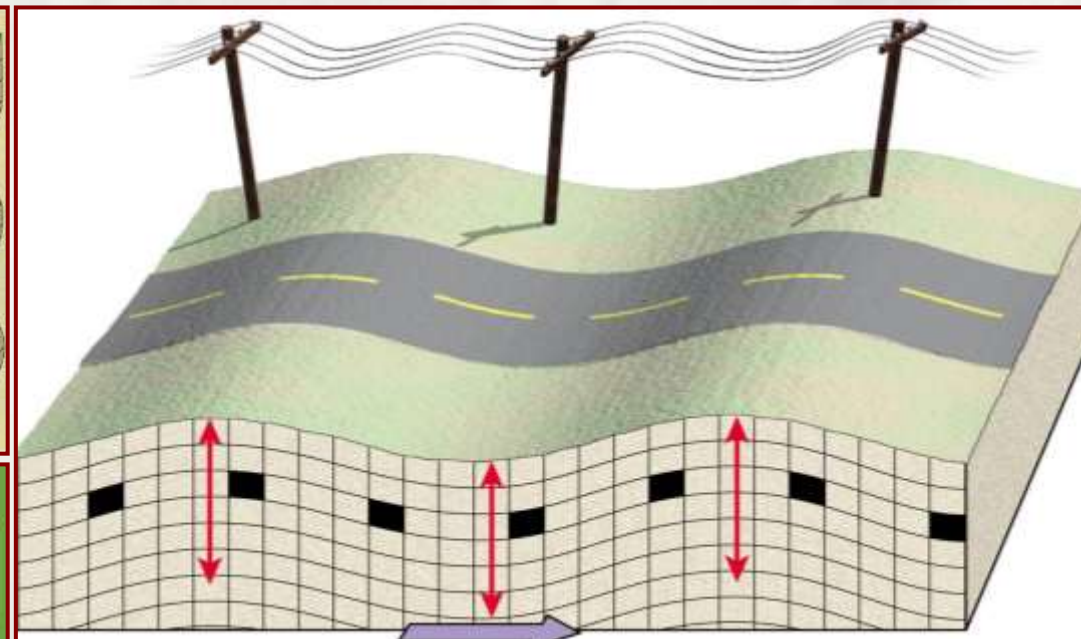
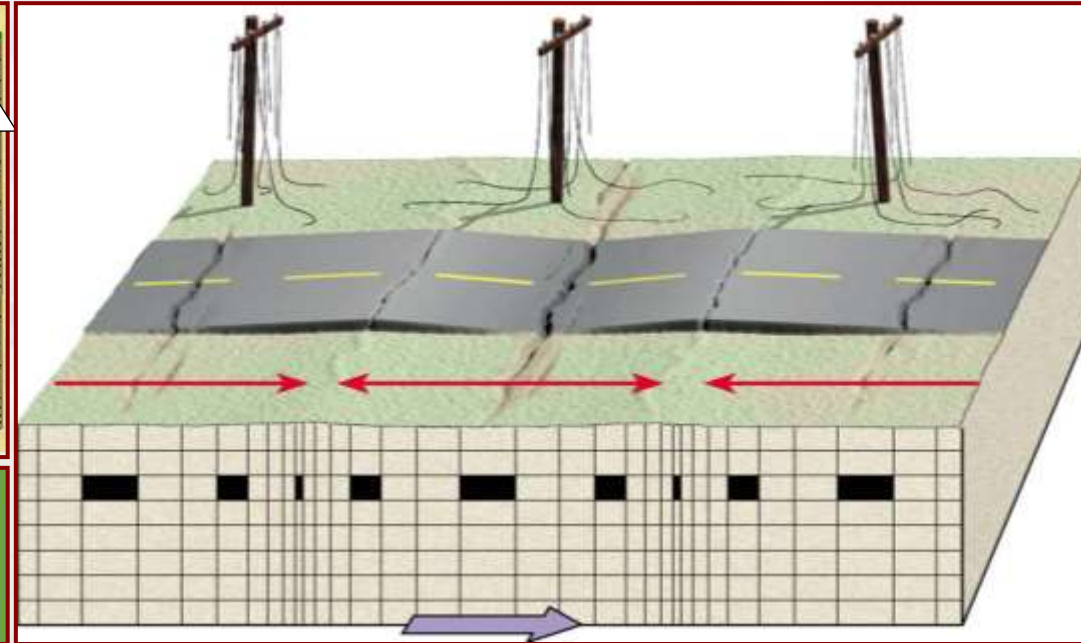
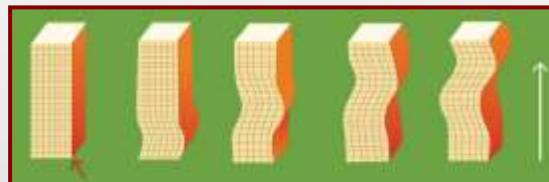
materiał – rozszerzanie

Kierunek przemieszczania się fali



Fale poprzeczne (S)

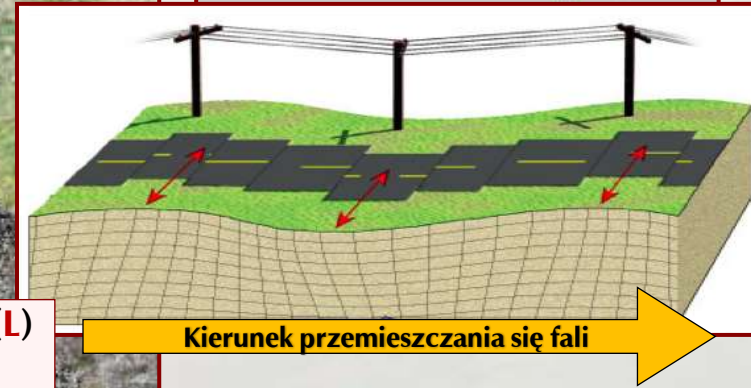
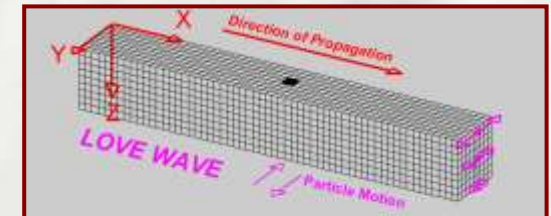
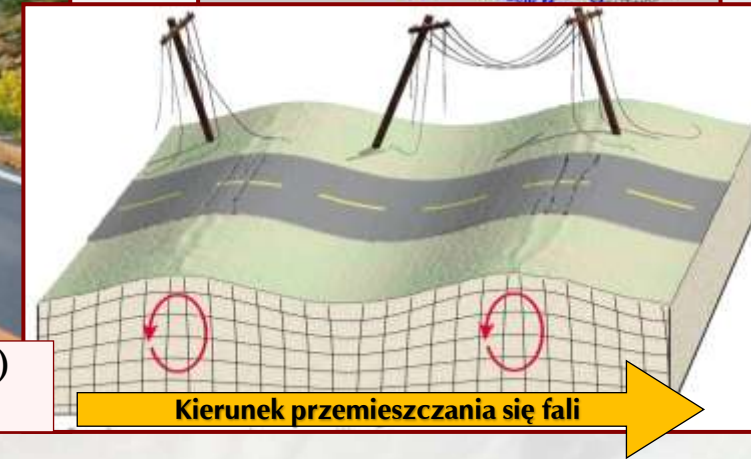
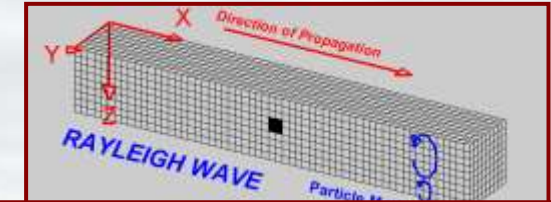
Kierunek przemieszczania się fali



Rodzaje fal sejsmicznych: fale powierzchniowe

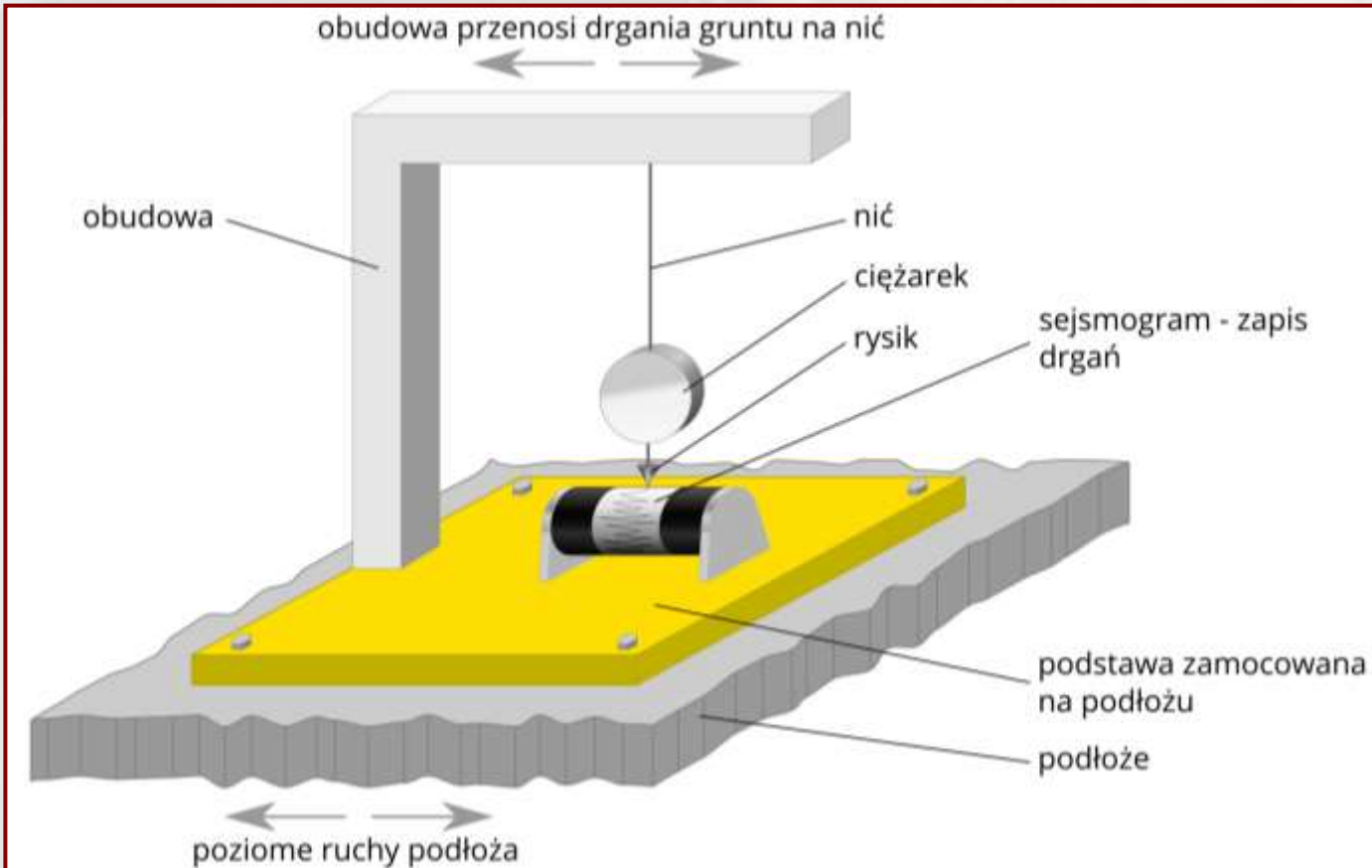
🌐 **Fale powierzchniowe (L)** – powstają gdy fale sejsmiczne docierają do powierzchni ziemi (fale te rozchodzą się na granicy ośrodków) i rozchodzą się w postaci:

- 🌐 **fal Rayleigh'a** – w których ruch cząsteczek odbywa się po elipsie pionowej, ustawionej w kierunku przebiegu fali,
- 🌐 wywołują drgania takie jak, gdy na powierzchnię wody rzuci się kamień;
- 🌐 **fal Love'a** – wywołują wolno przemieszczające się i bardzo destrukcyjne drgania odpowiedzialne za większość niszczycielskich efektów,
- 🌐 wywołują drgania poziome – prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali.

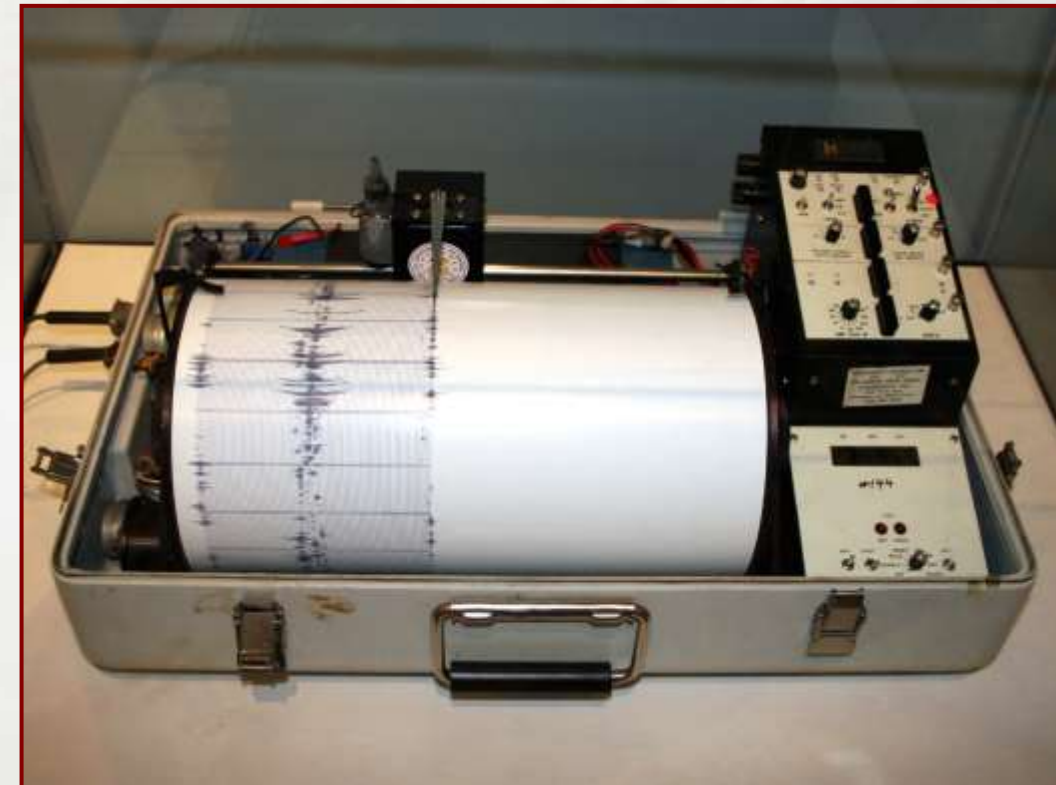


Sejsmograf

- Fale sejsmiczne rejestrowane są przez *sejsmografy*.
- Współczesne urządzenia zbudowane są na zasadzie wahadła poziomego i pionowego, które rejestrują drgania w trzech płaszczyznach.
- Pierwsze urządzenia tego typu wprowadzono już w starożytności w Chinach, ale były one w stanie zarejestrować jedynie fakt zaistnienia wstrząsu, a nic nie mówiły o jego sile ani o przebiegu.



Schemat sejsmografów rejestrujących drgania w płaszczyźnie poziomej i pionowej



Sejsmogram

🌐 Otrzymany wykres z sejsmografu nosi nazwę **sejsmogramu**.

🌐 Analiza czasu, po którym dotarły poszczególne rodzaje fal sejsmicznych do kilku stacji sejsmicznych, pozwala bardzo precyzyjnie określić miejsce i czas zaistnienia trzęsienia ziemi, nawet jeśli miało miejsce z dala od siedzib ludzkich.

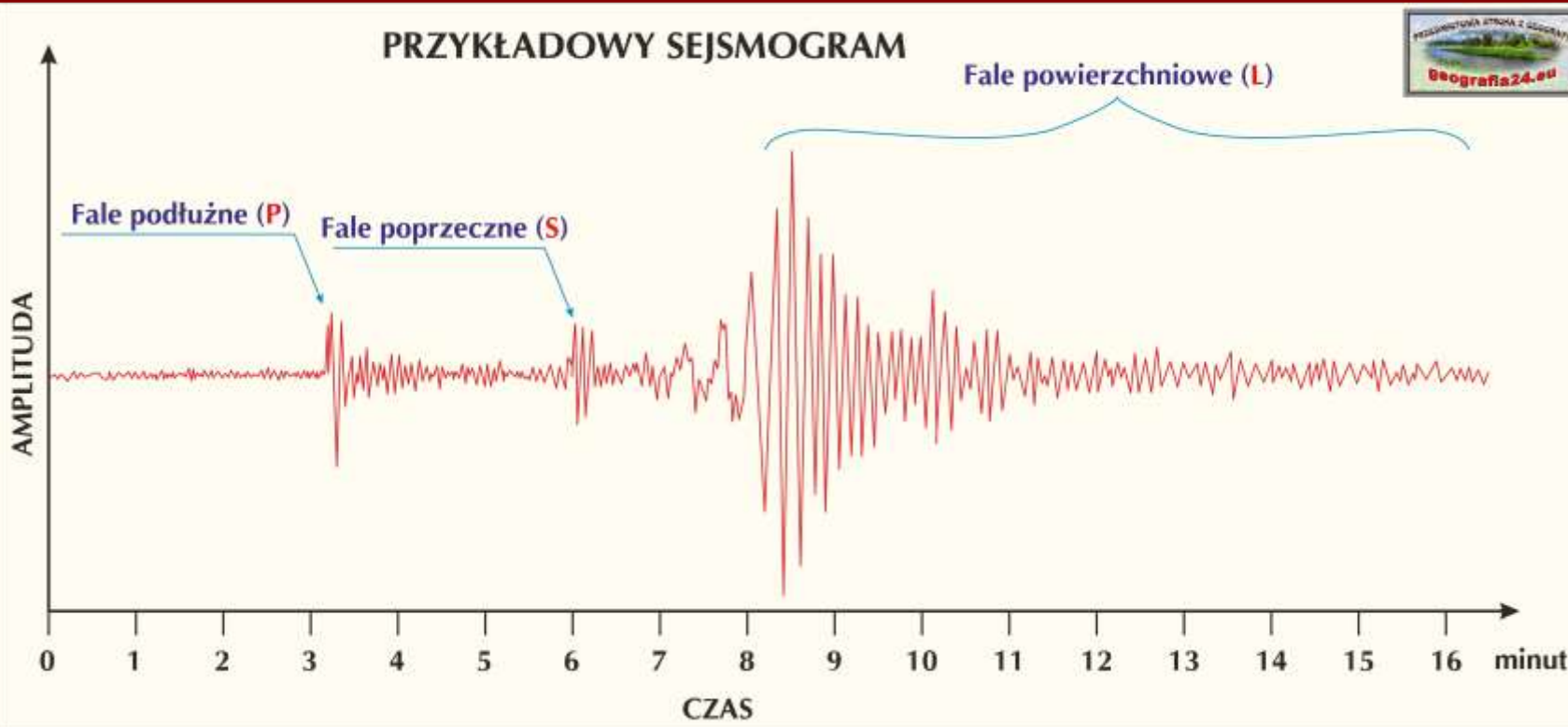
🌐 Można zwykle na nim wyróżnić **trzy serie wstrząsów**: **wstępne**, **główne (zasadnicze)**, **końcowe (wtórne)**.

🌐 Wstrząs zasadniczy jest najsilniejszy,

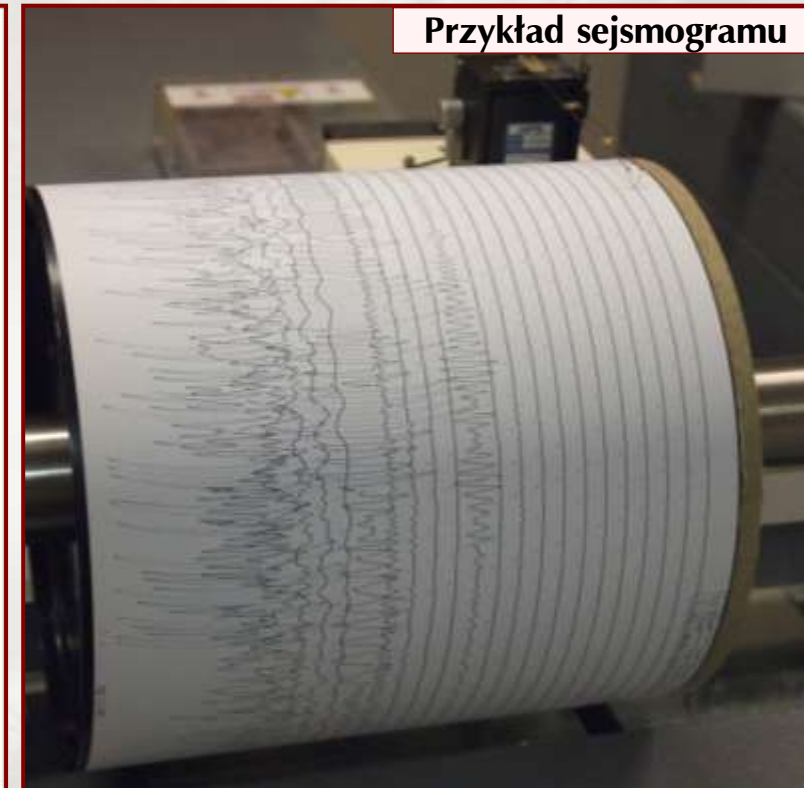
🌐 zwykle bywa on poprzedzony słabymi wstrząsami wstępnymi,

🌐 kończą go zazwyczaj wstrząsy wtórne, przy czym najsilniejszy wstrząs wtórny występuje jako pierwszy po głównym wstrząsie, a siła kolejnych wstrząsów zmniejsza się z upływem czasu.

PRZYKŁADOWY SEISMOGRAM

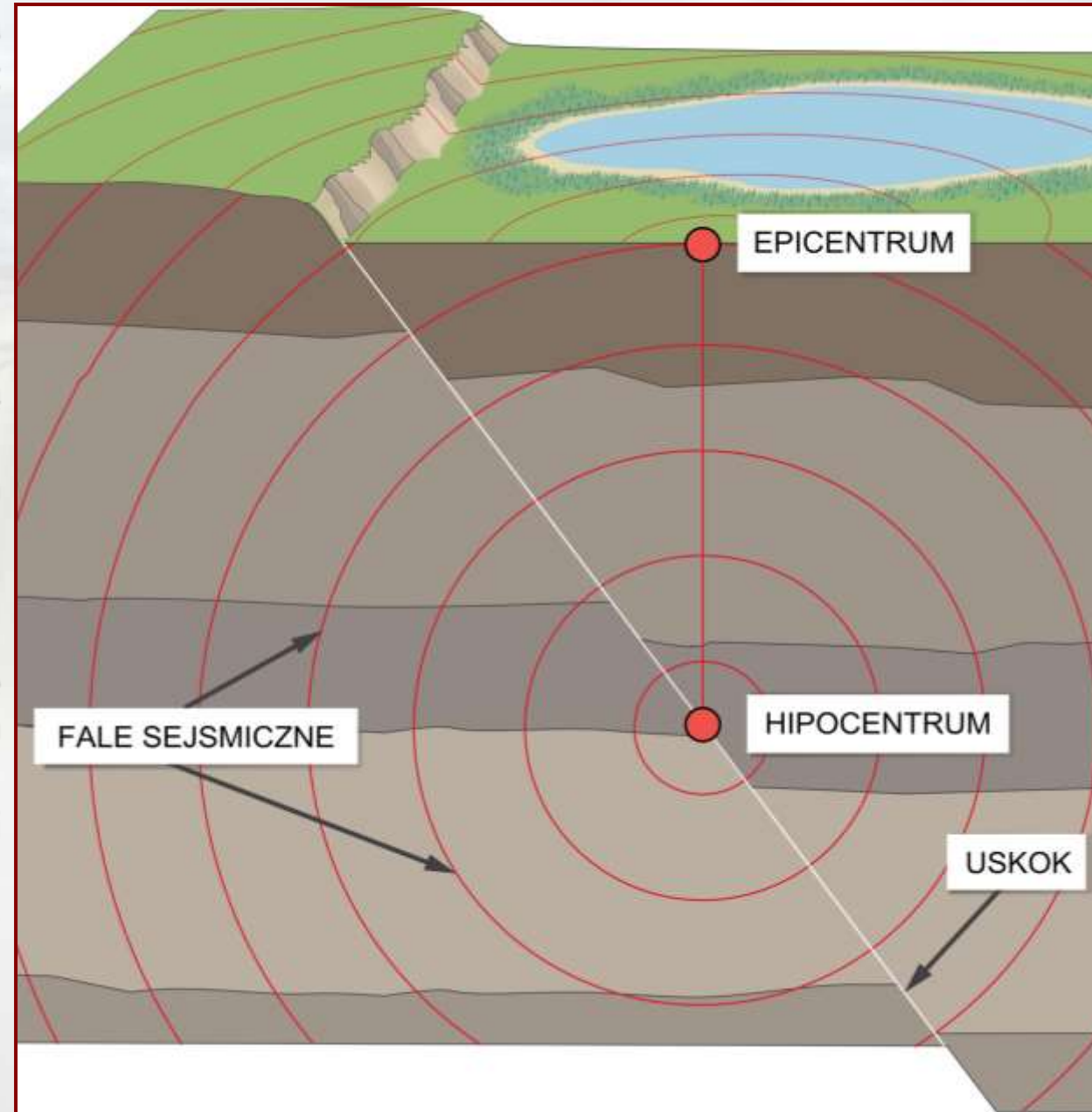


Przykład sejsmogramu



Najważniejsze terminy związane z trzęsieniami Ziemi

- 🌐 Miejsce w głębi ziemi, w którym wyzwolona została energia odpowiedzialna za trzęsienie ziemi, określane jest jako **hipocentrum** (ognisko).
- 🌐 Fale sejsmiczne rozchodzą się od niego kółkiem.
- 🌐 Hipocentrum może być położone w przypadku:
 - 🌐 **trzęsień płytkich** – na niewielkich głębokościach do 70 km (85% trzęsień ziemi),
 - 🌐 są one odczuwane na małym obszarze i cechują się dużą siłą (zwykle powodują duże lub średnie zniszczenia);
 - 🌐 **trzęsień średniogłębokich** – na głębokościach 70-300 km (12% trzęsień ziemi);
 - 🌐 **trzęsień głębokich** – na głębokościach: 300-700 km (3% trzęsień ziemi),
 - 🌐 są one odczuwane na dużym obszarze i cechują się niewielką siłą (zwykle powodują małe zniszczenia lub ich brak).
- 🌐 Bezpośrednio nad hipocentrum na powierzchni Ziemi położone jest **epicentrum** (ośrodek) trzęsienia ziemi.
- 🌐 Do epicentrum fale sejsmiczne docierają najszybciej i powodują najsilniejsze wstrząsy.
- 🌐 Wraz z odległością od ośrodka siła trzęsienia ziemi stopniowo maleje i w końcu zanika.



Siła wstrząsów

🌐 Trzęsienia ziemi mierzymy:

🌐 skalą Mercallego intensywności:

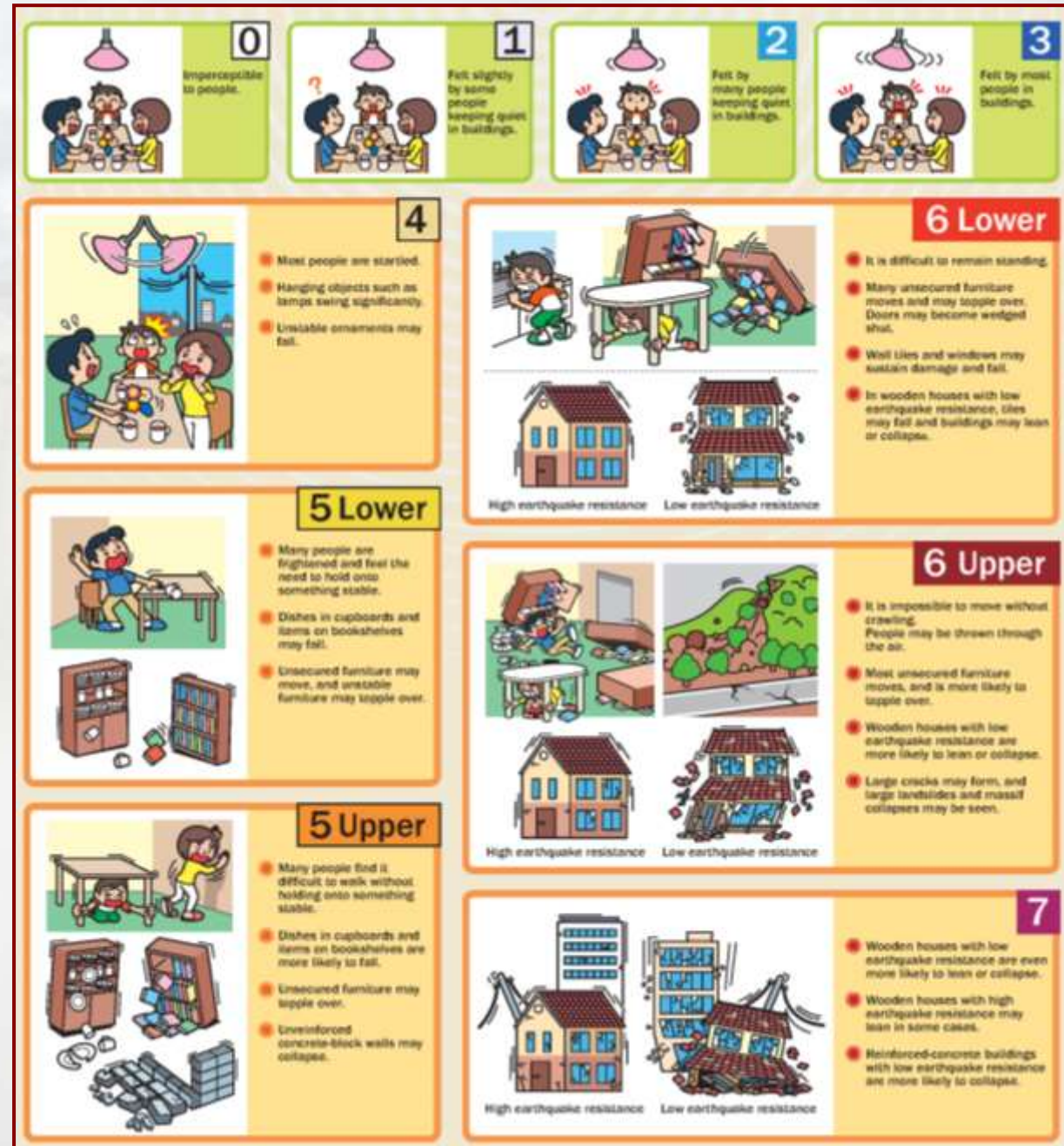
🌐 magnitudową skalą Richtera.



Siła wstrząsów – skala Mercallego

Skala Mercallego intensywności:

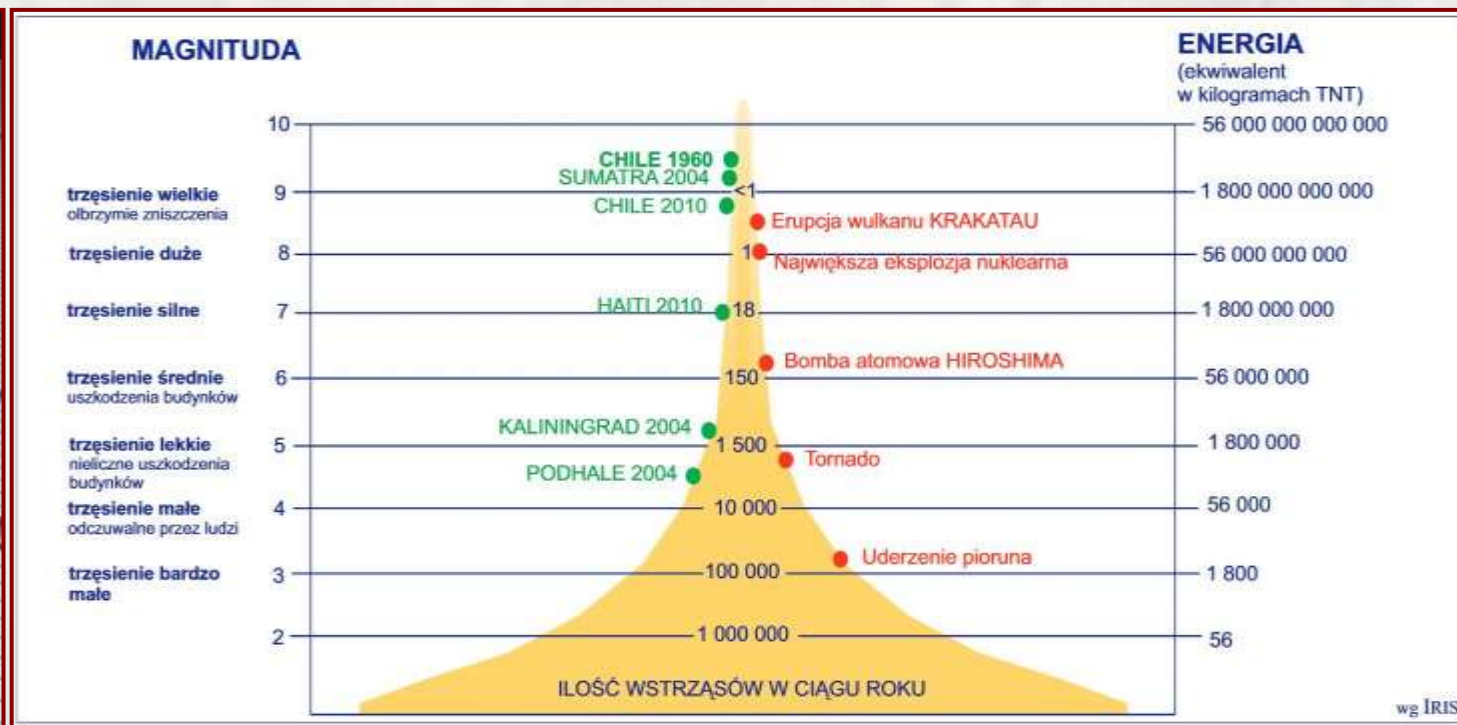
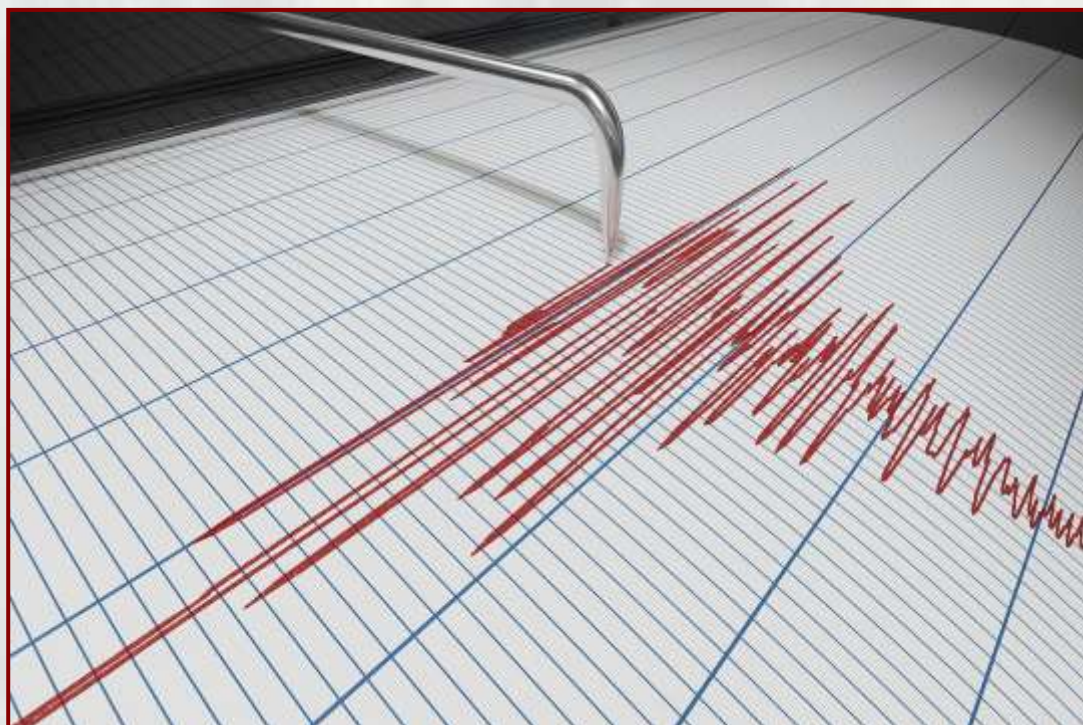
- zamknięta,
- dwunastostopniowa (zapis cyframi rzymskimi),
- oparta na charakterystyce zniszczeń wywoływanych wstrząsami,
- podzielona według wartości przyspieszenia,
 - trzęsienie jest tym silniejsze, im większe jego przyspieszenie,
 - czyli im mniejszy jest okres drgań w stosunku do ich amplitudy:
 - I – instrumentalne – drgania wyczuwalne jedynie przez przyrządy (maksymalne przyspieszenie do $0,25 \text{ m/s}^2$),
 - II-III – lekkie (maksymalne przyspieszenie od $0,25$ do 1 cm/s^2),
 - IV-V – umiarkowane (maksymalne przyspieszenie od 1 do 5 cm/s^2),
 - VI-VII – silne (maksymalne przyspieszenie od 5 do 25 cm/s^2),
 - VIII-IX – niszczycielskie (maksymalne przyspieszenie od 25 do 100 cm/s^2),
 - X-XII – katastrofalne (maksymalne przyspieszenie od 100 do 1000 cm/s^2).



Siła wstrząsów – skala Richtera

🌐 Magnitudowa skala Richtera:

- 🌐 otwarta (brak górnej granicy),
- 🌐 dziewięciostopniowa (obecnie najsilniejsze trzęsienie ziemi o magnitudzie 9,5 stopni wystąpiło w Chile w 1960 r.),
- 🌐 która podaje natężenie trzęsienia ziemi na podstawie skali logarytmicznej,
- 🌐 każdy stopień niższy odpowiada magnitudzie dziesięciokrotnie większej od stopnia wyższego,
 - 🌐 np. trzęsienie ziemi o magnitudzie 4 cechują wstrząsy:
 - 🌐 10 x słabsze niż o magnitudzie 5,
 - 🌐 100 x słabsze niż o magnitudzie 6;
- 🌐 obecnie stosuje się różnych pochodnych oryginalnej skali Richtera, stąd różnice w opisach tych samych trzęsień ziemi.



Siła wstrząsów

Skale Mercallego i Richtera można z sobą spróbować zestawić.

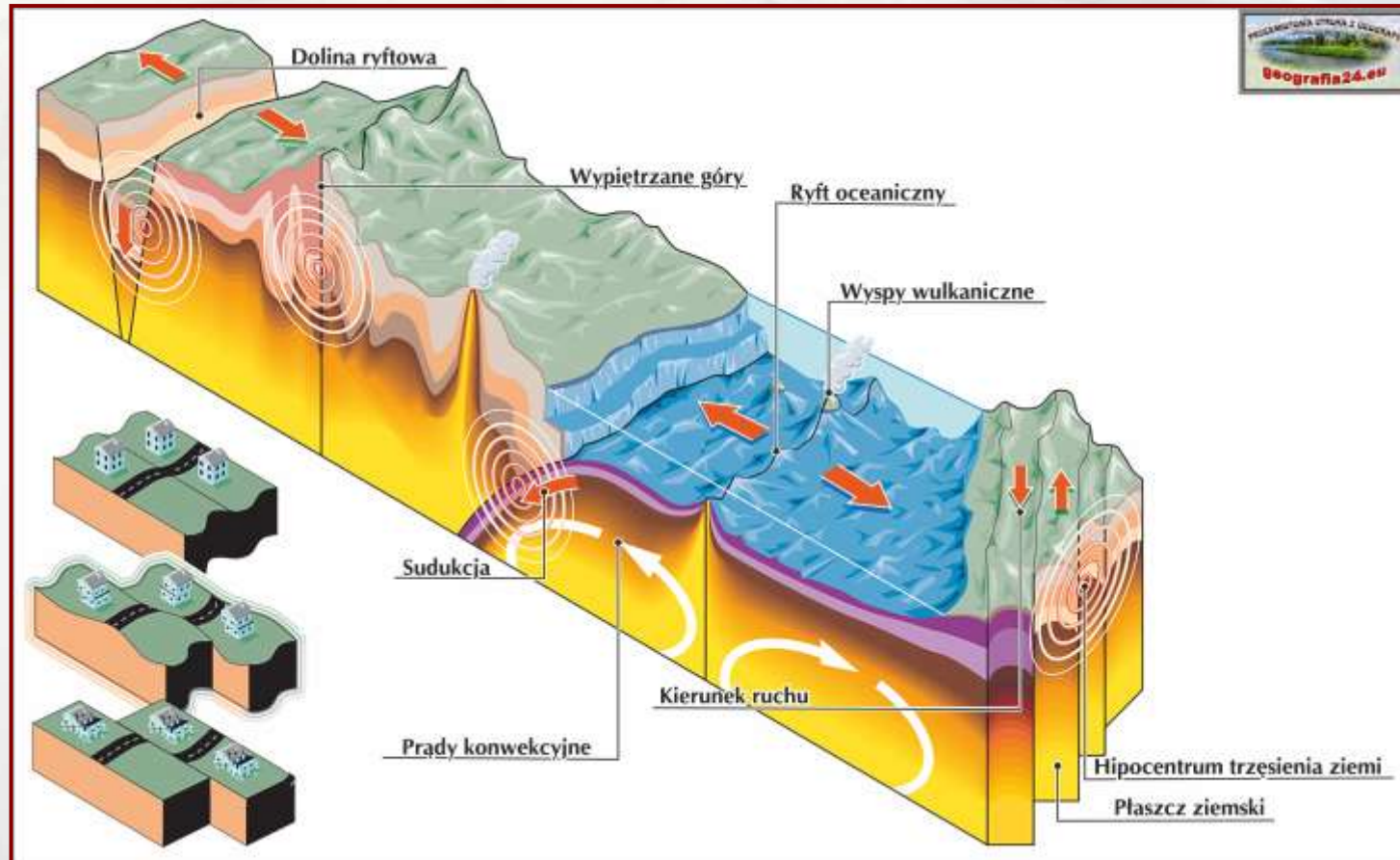
Siła wstrząsów według skali Mercallego i Richtera

Charakterystyka trzęsienia wg skali Mercallego	Stopnie w skali		Wyzwolona energia (w J)
	MERCALLEGO	RICHTERA	
Wykrywają je tylko sejsmografy.	I	1,9	$2,0 \cdot 10^7$
Czasem (np. w wysokich budynkach) jest zauważane przez ludzi.	II	2,5	$1,4 \cdot 10^8$
Odczuwane jest lekkie kołysanie.	III	3,1	$1,0 \cdot 10^9$
Słyszalne są drgania szyb, wstrząsy bezpośrednio odczuwalne.	IV	3,7	$9,0 \cdot 10^9$
Można odczuć wstrząsy na zewnątrz budynków.	V	4,3	$7,0 \cdot 10^{10}$
Przesuwają się meble.	VI	4,9	$6,0 \cdot 10^{11}$
Słabe budynki doznają uszkodzeń.	VII	5,5	$5,0 \cdot 10^{12}$
Pojawiają się szczeliny w gruncie, przewracają się meble.	VIII	6,1	$3,6 \cdot 10^{13}$
Pękają rurociągi, przewracają się słabe budynki.	IX	6,7	$2,8 \cdot 10^{14}$
Większość słabych budynków się zawala, inne zostają uszkodzone.	X	7,3	$2,2 \cdot 10^{15}$
Drogi stają się nieprzejezdne.	XI	7,9	$1,8 \cdot 10^{16}$
Wszystkie budynki są zniszczone, widoczne zmiany w topografii.	XII	8,5	$1,4 \cdot 10^{17}$



Przyczyny występowania trzęsień ziemi na świecie

- Nasza planeta składa się z różnych warstw, które charakteryzują się różnymi parametrami fizycznymi i chemicznymi.
- Wierzchnia, sztywna warstwa Ziemi, tzw. skorupa ziemska (o średniej miąższości ok. 70 km), składa się z kilkunastu płyt tektonicznych o różnych wymiarach i kształtach.
- Wszystkie płyty podlegają ciągłym przesunięciom w poziomie (przesuwają się obok siebie lub uderzają w siebie) lub w pionie (nasuwają się, jedna na drugą), dryfując po astenosferze (niżej położonej, częściowo roztopionej, plastycznej warstwie Ziemi – jest to górna część płaszczki Ziemi).
- Przesuwanie się płyt prowadzi do wyzwalamia wcześniej zgromadzonej energii, odczuwanej jako trzęsienie ziemi.
- Większość największych trzęsień ziemi występuje zwłaszcza **na styku płyt tektonicznych**.
- Ale trzęsienia ziemi mogą też powstawać z innych powodów (o tym za chwilę).



Typy trzęsień ziemi (wg genezy)

Trzęsienia ziemi można podzielić ze względu na genezę na cztery główne rodzaje:

tektoniczne:

- najczęstsze i jednocześnie najgroźniejsze są tektoniczne trzęsienia ziemi,
- stanowią one aż około 90% wszystkich trzęsień zachodzących na kuli ziemskiej,
- związane są z gwałtownym rozładowaniem naprężeń powstających w czasie przemieszczania się mas skalnych w litosferze (w czasie ruchu płyt litosfery);

wulkaniczne:

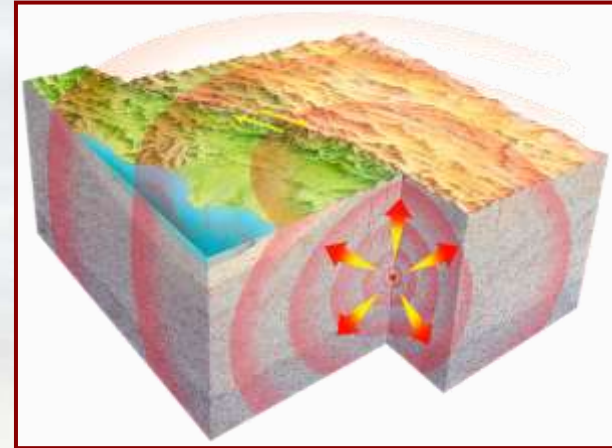
- zdecydowanie słabsze od tektonicznych i mniej rozpowszechnione,
- stanowią tylko około 7% ogółu trzęsień,
- związane są z:
 - gwałtowną erupcją wulkanów eksplozywnych (np. superwulkanów),
 - przemieszczeniem się magmy przez litosferę,
 - zapadaniem się stropów opróżnionych komór magmowych;

zapadowe:

- udział wstrząsów o tej genezie przekracza ledwie 2%, zaś ich skutki odczuwane są na powierzchni niewiele większej od samego zapadliska,
- związane są z zapadaniem stropów jaskiń (występują na terenach krasowych);

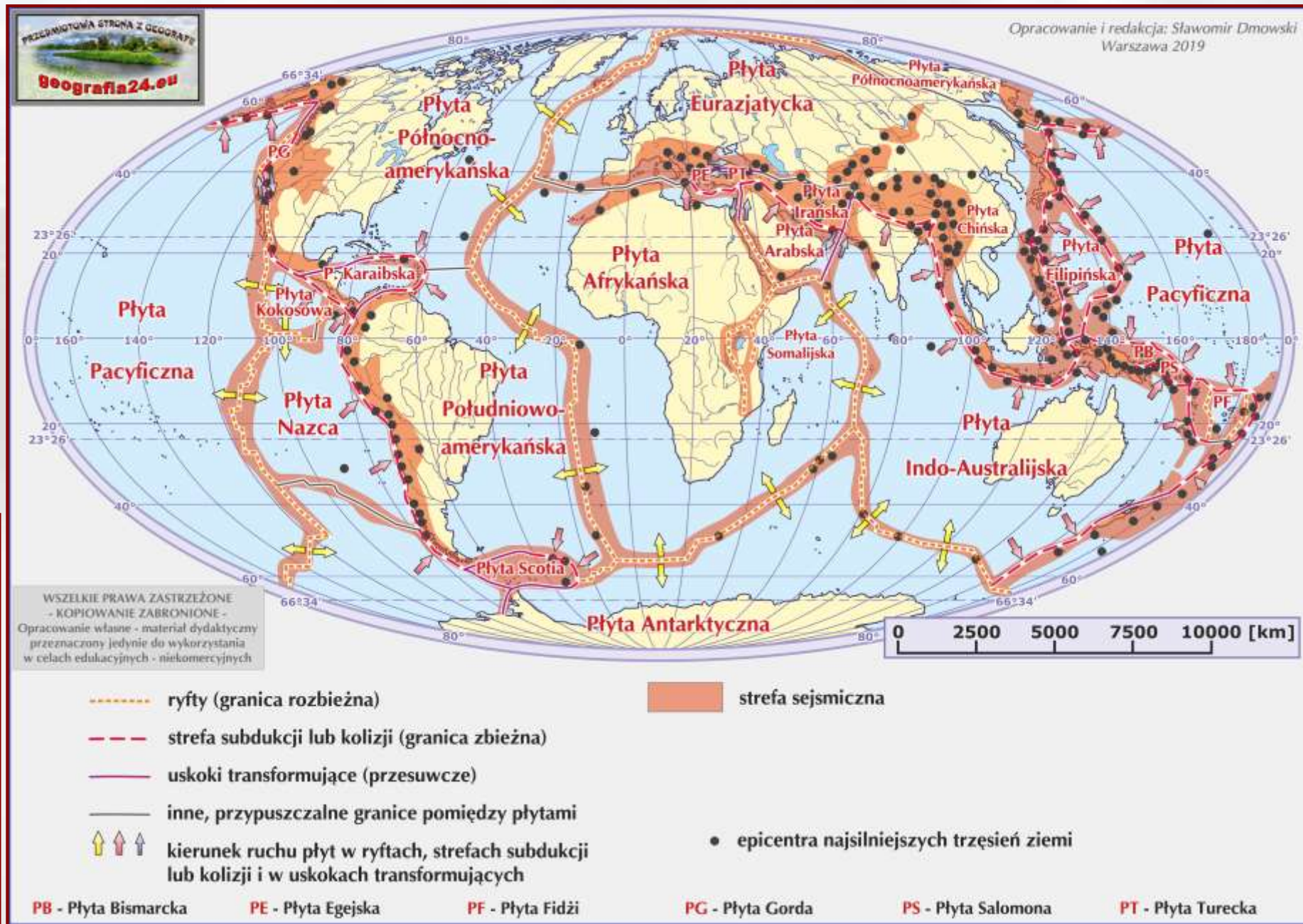
antropogeniczne:

- bywają niekiedy zaliczane także do zapadowych trzęsień ziemi,
- związane są z zapadaniem się wyrobisk górniczych (tąpnięcia) lub celowym wyburzaniem budynków i działaniem terrorystycznym z wykorzystaniem bomb,
- w Polsce stwierdzone je, m.in. w rejonie Bełchatowa, na Dolnym Śląsku i Górnym Śląsku.



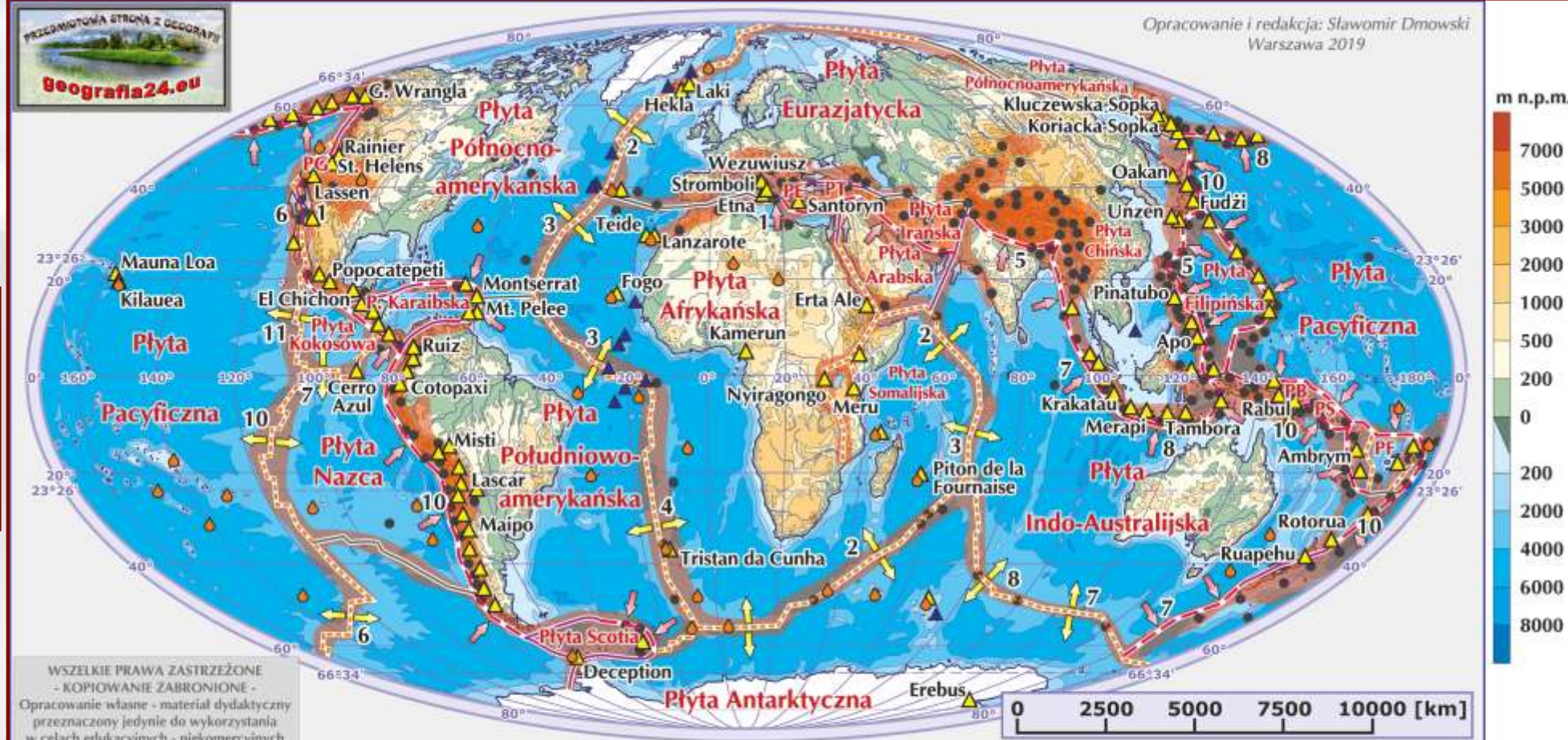
Rejony występowania trzęsień ziemi

- Trzęsienia ziemi spotyka się niemal wszędzie na Ziemi.
- Jednak najsilniejsze spotyka się zwykle na granicach płyt litosferycznych, w szczególności w strefach kolizji i subdukcji (na granicach zbieżnych).
- W tych regionach występują zarówno trzęsienia tektoniczne, jak i wulkaniczne.



Rejony występowania trzęsień ziemi (tektonicznych i wulkanicznych)

Większość dużych trzęsień ziemi pojawia się w pobliżu największych i dalej wypiętrzanych łańcuchów górskich.



WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE
- KOPIOWANIE ZABRONIONE -
Opracowanie własne - materiał dydaktyczny
przeznaczony jedynie do wykorzystania
w celach edukacyjnych - niekomercyjnych

- - - ryfty (granica rozbieżna)
- - - strefa subdukcji lub kolizji (granica zbieżna)
- uskoki transformujące (przesuwce)
- inne, przypuszczalne granice pomiędzy płytami
- ↑ ↑ ↑ kierunek ruchu płyt w ryftach, strefach subdukcji lub kolizji i w uskokach transformujących

- strefa sejsmiczna
- ▲ wulkan czynny, lądowy
- ▲ wulkan czynny, podmorski
- plamy gorąca
- epicentra najsilniejszych trzęsień ziemi
- 7 prędkość ruchu płyt litosfery w cm/rok

PB - Płyta Bismarcka PE - Płyta Egejska PF - Płyta Fidzi PG - Płyta Gorda PS - Płyta Salomona PT - Płyta Turecka



Podział obszarów ze względu na sejsmikę

Ze względu na **zagrożenie wstrząsami sejsmicznymi, ich częstotliwość i siłę** wyróżnia:

• **obszary sejsmiczne** – z częstymi i silnymi trzęsieniami ziemi;

• obejmują: **obszar wokółpacyficzny, alpejskie pasma fałdowe, grzbiety śródoceaniczne oraz basen Morza Karaibskiego;**

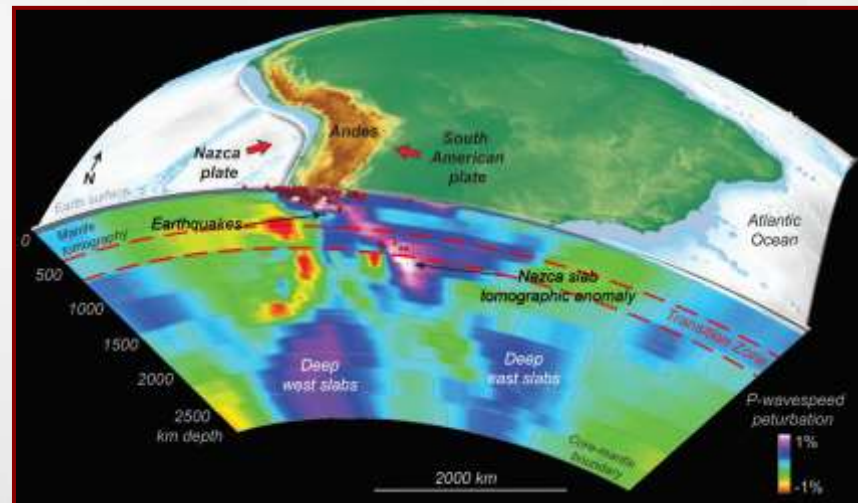
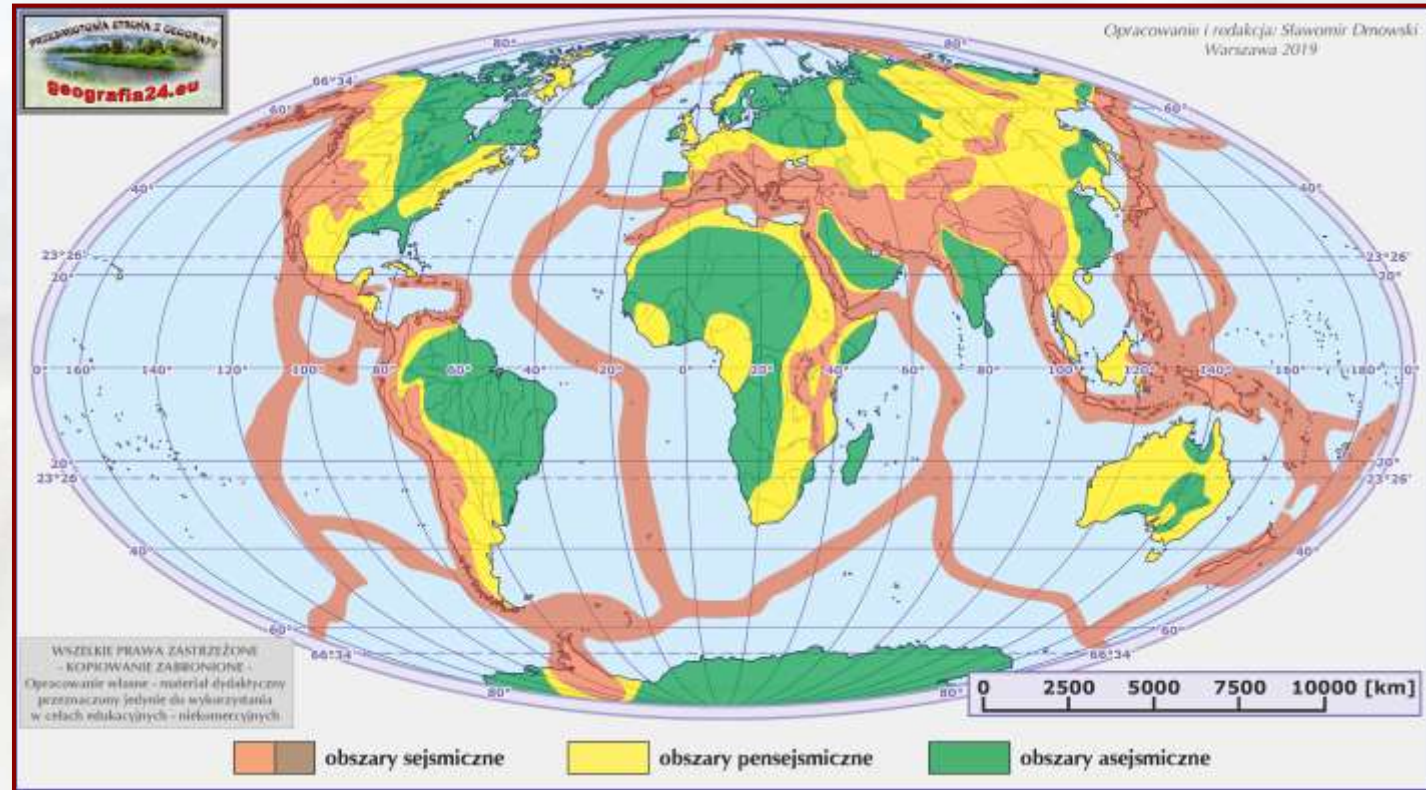
• **obszary pensejsmiczne** – ze wstrząsami występującymi sporadycznie lub częstymi, ale słabymi;

• należą do nich **strefy starych górotworów paleozoicznych, a wśród nich m.in. Masyw Centralny, Wielkie Góry Wododziałowe, Harz, Ural i przedalpejskie pasma górskie Europy Środkowej;**

• **obszary asejsmiczne** – wolne od trzęsień ziemi lub zdarzają się one na takich obszarach niezmiennie rzadko i cechuje je znikoma siła;

• stanowią one **najstabilniejsze fragmenty skorupy ziemskiej i obejmują prekambryjskie kratony, jak również dno basenów oceanicznych;**

• w Polsce taki charakter ma **obszar województwa warmińsko-mazurskiego i podlaskiego.**



Skutki trzęsienia ziemi

Trzęsienia ziemi:

- ☉ pociągają za sobą **ofiary w ludziach i znaczne straty materialne**,
- ☉ **niszczą budynki, infrastrukturę** (drogi, linie kolejowe i energetyczne, rurociągi),
- ☉ powodują **zmiany rzeźby terenu**:
 - ☉ **liczne osuwiska i obrywy** oraz **głębokie szczeliny** w powierzchniowej części litosfery,
- ☉ **modyfikują położenie wód podziemnych**,
- ☉ **niekiedy wywołują obniżenie lub podniesienie terenu**, co w przypadku wybrzeży morskich może skutkować wynurzeniem dna morskiego lub zalaniem lądu.



Efekt po wystąpieniu trzęsienia ziemi w Nepalu w 2015 r. – osuwisko



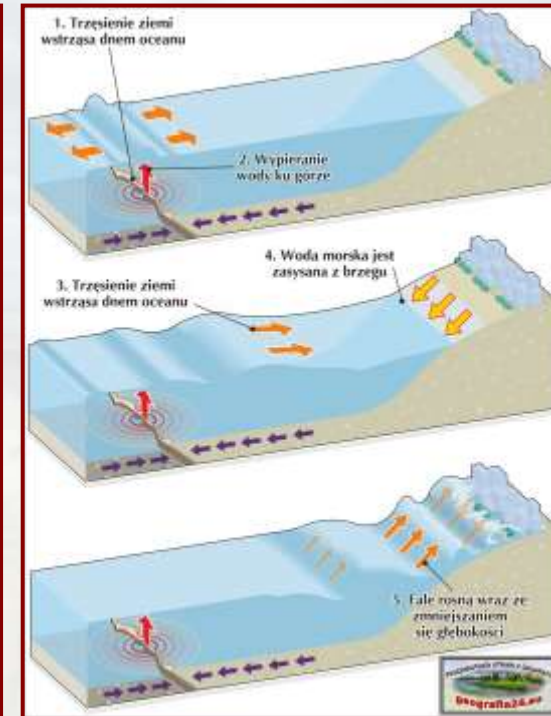
Trzęsienie ziemi w San Francisco w 1906 roku, leżącego w pobliżu uskoku San Andreas (epicentrum było 3 km od miasta)

Tsunami

- Trzęsieniom ziemi o ogniskach zlokalizowanych pod dnem morskim lub pod obszarami przybrzeżnymi towarzyszą często **tsunami** – fale o olbrzymiej energii, przemieszczające się na duże odległości (nawet tysięcy km).
- Na otwartym oceanie mogą one osiągać **prędkość do 1000 km/h**, ale ich olbrzymia długość powoduje, że są prawie niezauważalne.
- Dopiero na obszarach przybrzeżnych tsunami wyhamowuje na skutek tarcia o dno i spiętrza się, osiągając **wysokość do 50 metrów**.
- Fale tsunami powodują olbrzymie straty materialne i ludzkie.
- Ostatnio powołano co prawda odpowiednie służby, których zadaniem jest śledzenie powstających tsunami i ostrzeganie mieszkańców o zagrożeniu.
 - Na ewakuację pozostaje jednak co najwyżej kilka godzin, co uniemożliwia zabezpieczenie całego mienia.
 - Dobrze, jeśli uda się przenieść w bezpieczne miejsce wszystkich ludzi.
- Megatsunami spustoszyły wybrzeża Indonezji, Sri Lanki, Indii i Somalii (w 2004 r).



Schemat rozchodzenia się tsunami z dn. 26.12.2004 r. ● – epicentrum trzęsienia ziemi (hipocentrum na głębokości ok. 40 km), pod powierzchnią wody o sile 8,9° w skali Richtera



Tsunami – Indonezja i inne państwa: Ocean Indyjski (26 grudnia 2004 r.)

- Tsunami na Oceanie Indyjskim w rejonie wybrzeży Azji Południowej, Południowo-Wschodniej i Afryki Wschodniej zostało spowodowane trzęsieniem ziemi o sile 9,1 stopni w skali Richtera u wybrzeży indonezyjskiej Sumatry i dotknęły mieszkańców aż 14 krajów.
 - Hipocentrum znajdowało się 30 km pod poziomem morza, na zachód od Sumatry, znajdującej się w obrębie tzw. pacyficznego pierścienia ognia.
 - Fale sięgające około 30 metrów zabiły około 228,6 tysiąca osób (co trzecią ofiarą było dziecko).
 - Najbardziej poszkodowana została Indonezja (prawie połowa ofiar, ponad pół miliona przesiedlonych osób).
 - Straty ekonomiczne z tego powodu sięgnęły 15 mld dolarów.



Wybrane większe trzęsienia ziemi (magnituda wg skali Richtera)

<i>DATA</i>	<i>ZASIĘG</i>	<i>MAGNITUDA</i>	<i>STRATY</i>
01.11.1755	Lizbona	8,7	70 tysięcy ofiar śmiertelnych, tsunami.
18.04.1906	San Francisco, Kalifornia	7,8	Pożar miasta i śmierć około 700 osób - spłonęły głównie drewniane budynki o stosunkowo lekkiej konstrukcji.
28.12.1908	Mesyjna, Włochy	7,5	120 tysięcy ofiar śmiertelnych - runęły budynki, głównie z kamienia i cegieł, pokryte dachówką.
22.05.1960	Chile	9,5	Łącznie wskutek wstrząsu i tsunami zginęło około 3 tys. osób.
28.03.1964	Alaska	8,6	Powstała fala tsunami; straty ludzkie - tylko 131 osób ze względu na znikome zaludnienie tego obszaru.
04.02.1975	Liaoning, Chiny	7,4	Niewiele ofiar dzięki wcześniejszemu ostrzeżeniu.
28.07.1976	Tangshan, Chiny	7,6	Ok. 250 tysięcy osób zginęło, a 500 tysięcy poniosło obrażenia. Wg innych źródeł 650 tys. zabitych.
19.09.1985	Mihoacan, Meksyk	7,9	Ok. 20 tys. ofiar śmiertelnych i 30 tysięcy rannych, kilkupiętrowe budynki wpadały w rezonans, zaś przetrwały wyższe.
8.12.1988	Spitak, Armenia	7,0	Okolo 25 tysięcy osób zginęło, 13 tysięcy rannych i ponad 0,5 mln pozbawionych dachu nad głową.

Wybrane większe trzęsienia ziemi (magnituda wg skali Richtera)

<i>DATA</i>	<i>ZASIĘG</i>	<i>MAGNITUDA</i>	<i>STRATY</i>
17.01.1994	Northridge, Kalifornia	6,8	Straty materialne duże (13 mld USD, zniszczone 13 tys. budynków), ale zginęło tylko 72 osób i 9300 zostało rannych.
13.01.1995	Kobe, Japonia	7,2	Zginęło ponad 6 tys. osób, 26 tys. rannych, 125 osób uznano za zaginione, 2 mln osób straciły mieszkania. 50 tys. zniszczonych budynków. Odbudowa kosztowała ponad 100 mld USD.
17.08.1999	Izmit, Turcja	7,1	Zginęło około 13,5 tys. osób, drugie tyle uznano za zaginione, straty ponad 9 mld USD.
26.01.2001	Bhudź - stan Gudźarat, Indie	~ 6,9 – 7,9	Straty oszacowano na 3,3 mld USD, zginęło co najmniej 20 tys. ludzi, prawie 170 tys. zostało rannych a około 600 tys. pozbawionych dachu nad głową.
26.12.2003	Bam - Iran	6,6	Około 85% budynków i infrastruktury technicznej w Bam i okolicach uległo kompletnemu zniszczeniu. Zginęło ponad 26 tys. osób. Wstrząsom towarzyszyły liczne ruchy masowe.
26.12.2004	Zachodnie wybrzeże Sumatry	9,0	Spustoszyło ono wybrzeża Indonezji, Tajlandii, Sri Lanki, Indii, Malediwów i Somalii. W sumie zginęło około 230 tys. osób (w tym kilka tysięcy zagranicznych turystów), a ponad 5 mln ludzi pozbawionych zostało dachu nad głową. Straty materialne ocenione są na 15 mld USD.
11.03.2011	Japonia	9,0	Zginęło około 16 tys. osób, ponad 500 tys. straciło dach nad głową. Fala tsunami uszkodziła elektrownię atomową w Fukushima.
25.04.2015	Nepal	7,8	Skutkiem były olbrzymie zniszczenia oraz śmierć blisko 9 tys. osób.

Wybrane większe trzęsienia ziemi – Peru: Yungay (31 maja 1970 r.)

- ☉ W tym miejscu w Andach, w 1970 r. nastąpiło wielkie osuwisko wywołane przez podmorskie trzęsienie ziemi o sile 7,9 stopni w skali Richtera (epicentrum znajdowało się w Pacyfiku, blisko wybrzeża Peru).
- ☉ Yungay – kilkudziesięciotysięczna miejscowość w bardzo krótkim czasie, zaledwie kilku minut od wstrząsu została zasypana 5 m warstwą skał i lodu, pochodzących z sąsiadującego z miastem masywu górskiego o wysokości około 6 tys. m n.p.m.
- ☉ Lawina (lahar) śnieżno-błotno-kamienista spowodowała śmierć około 65-70 tysięcy osób (wg źródeł polskich około 25 tys.).
- ☉ Z miasta pozostał jedynie cmentarz na wzgórzu (trzęsienie przeżyli tylko nieliczni ludzie przebywający na cmentarzu).
- ☉ Miejscowości nigdy nie odbudowano, zrekonstruowano jedynie, w charakterze mauzoleum, widoczną w oddali ścianę katedry.



Wybrane większe trzęsienia ziemi – Japonia: Kobe (17 stycznia 1995 r.)

- 🌐 Trzęsienie ziemi w Kobe było jednym z silniejszych (o sile 7,2 stopnia w skali Richtera), a szczególnie najtragiczniejszych trzęsień ziemi w historii Japonii (objęły gęsto zamieszkaną obszar).
- 🌐 Trzęsienie trwało zaledwie ok. 20 s., zaś epicentrum wstrząsu znajdowało się na pobliskiej wyspie Awaji.
- 🌐 W czasie trzęsienia ziemi zginęło około 6,4 tys. osób – w większości mieszkańcy Kobe.
- 🌐 Straty spowodowane trzęsieniem ziemi oszacowano na ponad 100 miliardów USD (do 2011 roku było najdroższym w skutkach trzęsieniem ziemi na świecie).
- 🌐 Późniejsze śledztwo wykazało, że wielu ofiarom śmiertelnym można było zaradzić.
 - 🌐 Wiele wybudowanych konstrukcji (budynków i mostów) nie spełniało surowych norm sejsmicznych.
 - 🌐 Błędy popełniono także przy budowie nabrzeża portowego (spowodowało to upłynnienie gruntu na wyspie portowej).
 - 🌐 Znaczna część budynków zapadła się oraz część sztucznych wysp i wybrzeży portowych znalazła się pod wodą.



Ten 500-metrowy fragment estakady w Kobe runął podczas trzęsienia ziemi



Wybrane większe trzęsienia ziemi – USA: płn Kalifornia (17 stycznia 1994 r.)

- ☉ W styczniu 1994 roku Los Angeles zostało dotknięte przez trzęsienia ziemi o sile 6,7 stopni w skali Richtera.
- ☉ Straty materialne były stosunkowo duże (13 mld USD, zniszczone 13 tys. budynków), ale zginęło tylko 72 osób i około 9 tys. zostało rannych.



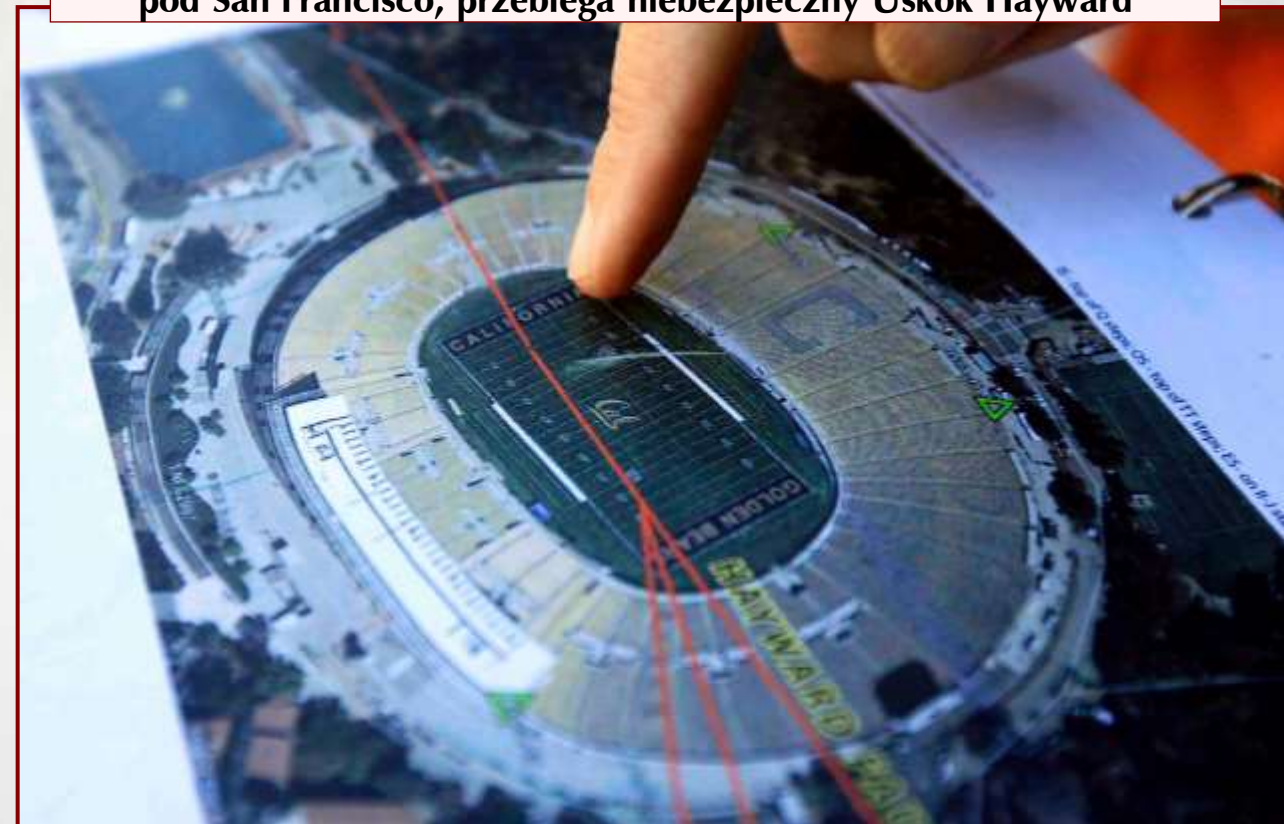
Skutki trzęsienia ziemi w Kalifornii

Przyszłość Kalifornii z Los Angeles i San Francisco na czele

- Przyszłość Kalifornii i jego wieli miast, na czele z Los Angeles i San Francisco w zasadzie jest przesądzona.
- Wg szczegółowych badań geologicznych wynika że na tym obszarze kwestią czasu jest kiedy będzie duże lub nawet gigantyczne trzęsienie ziemi, wiele większe niż te z 1994 roku, które może obrócić Los Angeles i San Francisco w ruinę (wiele budynków powstało kiedy prawo budowlane było mniej restrykcyjne niż obecnie).
- Niestety coraz częściej mówi się, że stanie się to raczej szybko – być może nawet w przeciągu kilkudziesięciu lat.
 - Przykładowo szacuje się prawdopodobieństwo wystąpienia w przeciągu 30 lat wstrząsu takiego jak w 1994 r. (6,7 stopnia w skali Richtera) na 99%, zaś wstrząsu o sile 8 stopni w skali Richtera na 7%.
 - Dodatkowo istnieje także zagrożenie silnym Tsunami (np. podobnym jak w Japonii w 2011 roku).
- Tak złe wieści są uzasadniane fatalnym położeniem tego obszaru w pobliżu dwóch uskoków transformacyjnych:
 - uskoku Hayward'a** (przebiega on dokładnie przez miasto San Francisco) i **San Andreas**.

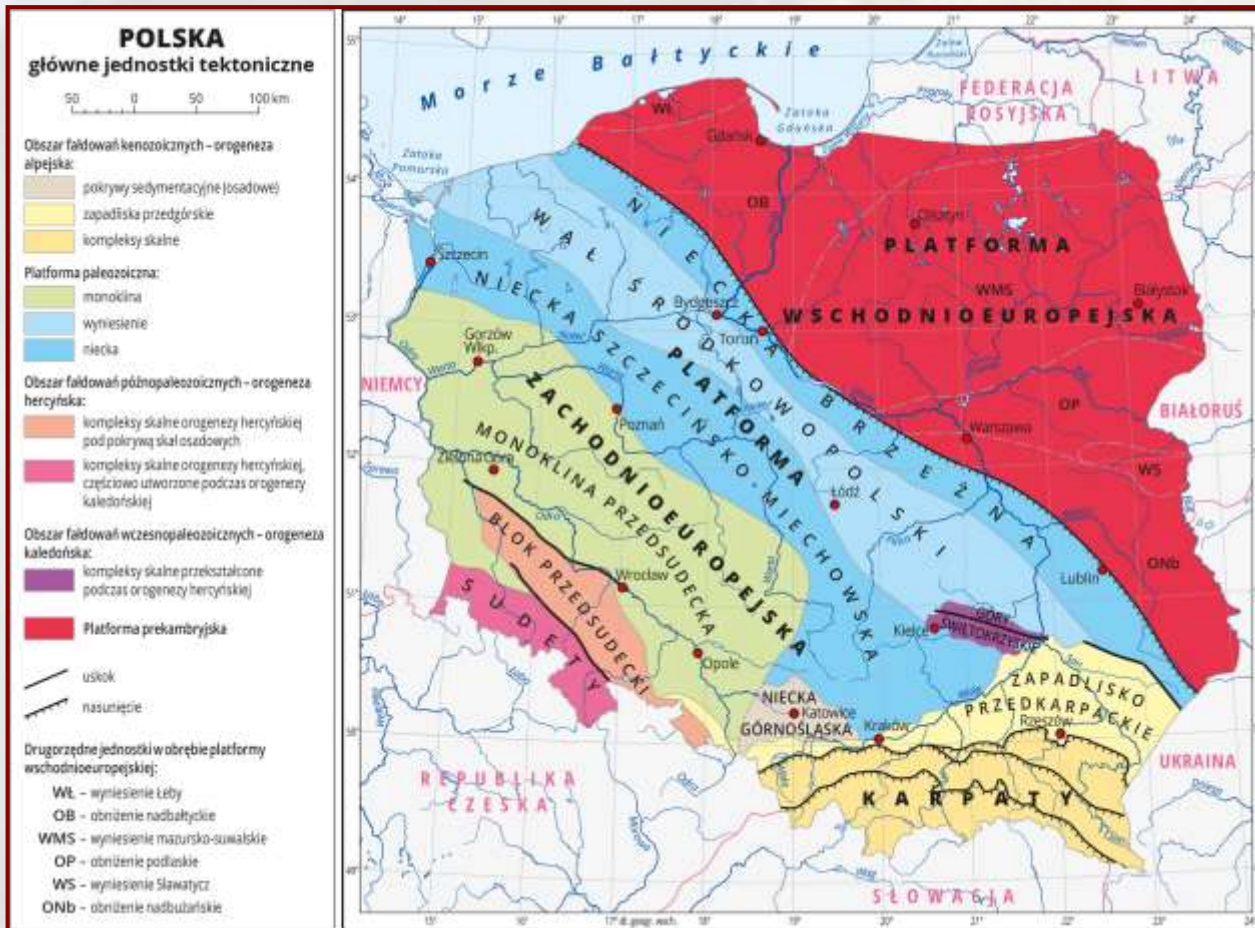


Dokładnie pod stadionem California Memorial Stadium w Berkeley pod San Francisco, przebiega niebezpieczny Uskok Hayward



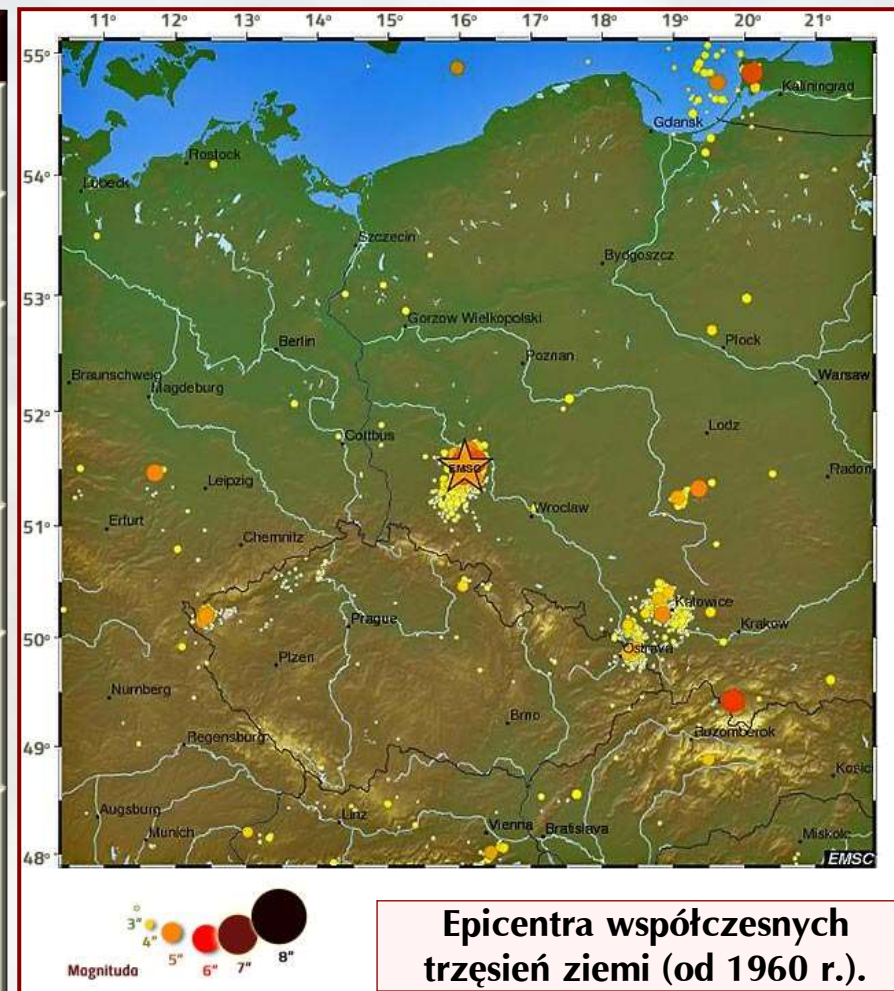
Możliwość wystąpienia trzęsienia Ziemi na świecie i w Polsce

- 🌐 Terytorium Polski uznawane jest za w większości obszar asejsmiczny, choć nie znaczy to, że w Polsce nie mogą wystąpić zjawiska sejsmiczne.
- 🌐 Trzęsienia ziemi jak występują w Polsce to nie przybierają takich rozmiarów jak na terenach sejsmicznych.
- 🌐 Stąd część terenów Polski jest pensejsmiczna.



Trzęsienia ziemi w Polsce

DATA	ZASIĘG	MAGNITUDA	STRATY
31.01.1259	Na południe od Krakowa	4,8	Niszczące trzęsienie zanotowane w Środkowej Europie.
05.04.1443	Przedgórze Sudeckie	6,0	Zniszczenia we Wrocławiu, Brzegu, a nawet Krakowie.
03.12.1786	Na południe od Krakowa	5,6	Szkody w Tarnowskich Górach, Bytomiu, Krakowie; wstrząsy odczuto w Polsce Środkowej, na Morawach, w Czechach i Słowacji.
21.10.1901	Słowacja - Pieniny	4,5	Wstrząsy zauważono w polskiej części Pienin: Szczawnicy, Krościenku, Sromowcach.
11.02.1909	Pomorze Zachodnie	4,0	Wystąpiły powierzchniowe pęknięcia gruntu; drgania odczuto w Kołobrzegu, Białogardzie i Koszalinie.
29.11.1980	Bełchatów	4,6	Wstrząs wywołany zakłóceniem układu naprężeń w trakcie prac górniczych w odkrywcę bełchatowskiej. Strat, poza odkrywką, nie zanotowano. Wstrząs odczuto w Sieradzu, Pabianicach, Radomiu.
01.03.1993	Beskid Niski	4,7	Wstrząsy dostrzeżono w Polsce i na Słowacji.
21.09.2004	Pomorze, Warmia, Mazury i Podlasie	5,0	Epicentrum w okolicach Kaliningradu, wstrząsy odczuwalne m.in. w Gdańsku, Olsztynie i Suwałkach; nieliczne uszkodzenia budynków (pęknięcia ścian).



Epicentra współczesnych trzęsień ziemi (od 1960 r.).



Zapobieganie skutkom trzęsień ziemi

⦿ Walka ze skutkami trzęsień ziemi odbywa się na dwóch frontach.

1. Opracowanie **metod przewidywania nadchodzących trzęsień ziemi**, tak aby możliwe było na czas zabezpieczenie życia ludzi.

⦿ Pierwsze obserwacje poczyniono już w starożytności.

⦿ Dostrzeżono wówczas, że tuż przed trzęsieniami ziemi dziwnie zachowują się niektóre zwierzęta, np. psy, koty i szczury stają się nerwowe i usiłują wydostać się z pomieszczeń.

⦿ Ważnym ostrzeżeniem były również wstrząsy wstępne.

⦿ Problemem było jednak i jest do dzisiaj, czy dany wstrząs jest rzeczywiście symptomem nadchodzącego trzęsienia ziemi czy nie.

⦿ A jeżeli jest, to po jakim czasie wystąpią wstrząsy główne.

⦿ Obecne badania koncentrują się na:

⦿ obserwacjach ruchów skorupy ziemskiej (pomocna jest geodezja satelitarna),

⦿ analizach zmian pola magnetycznego i przewodnictwa elektrycznego skał,

⦿ analizach zawartości radonu w wodach podziemnych,

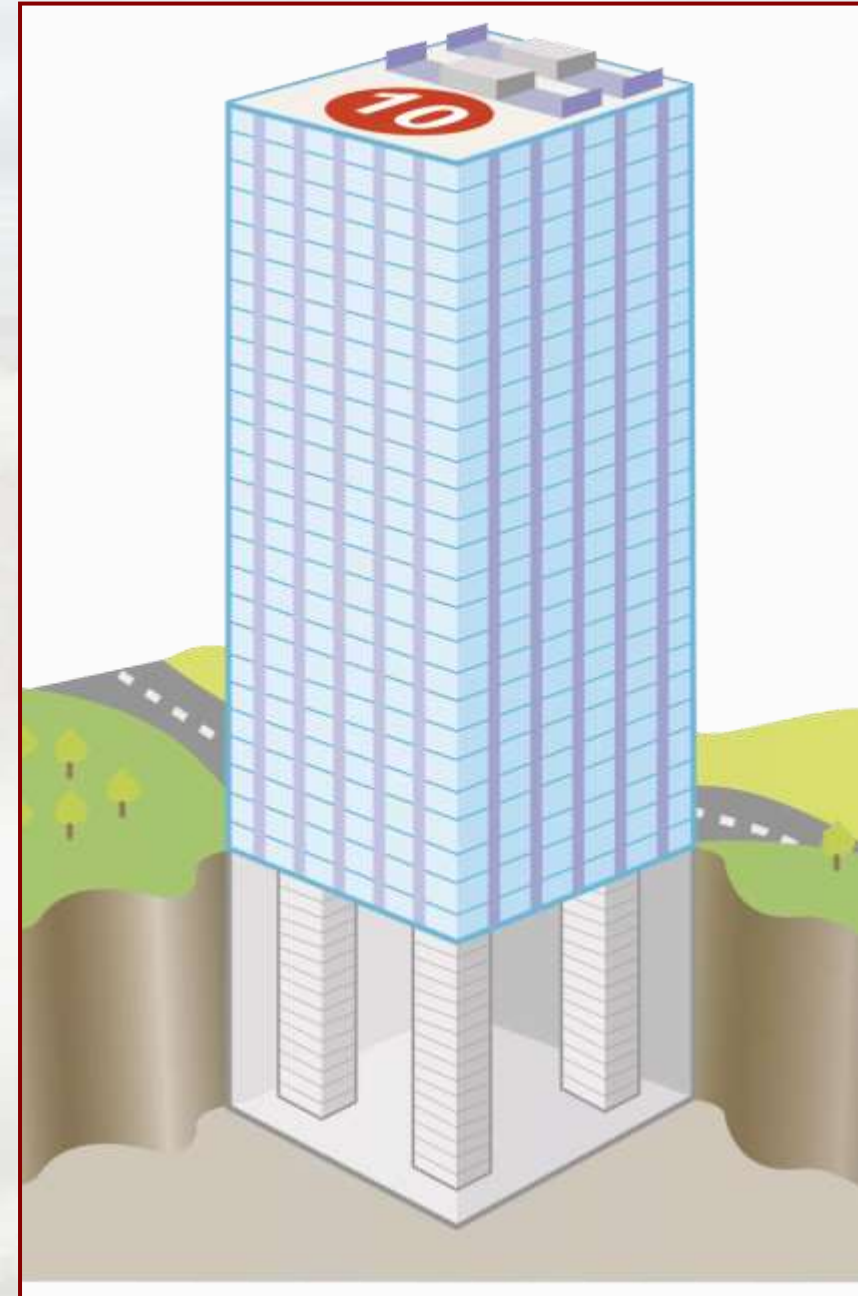
⦿ analizach naprężeń w skorupie ziemskiej,

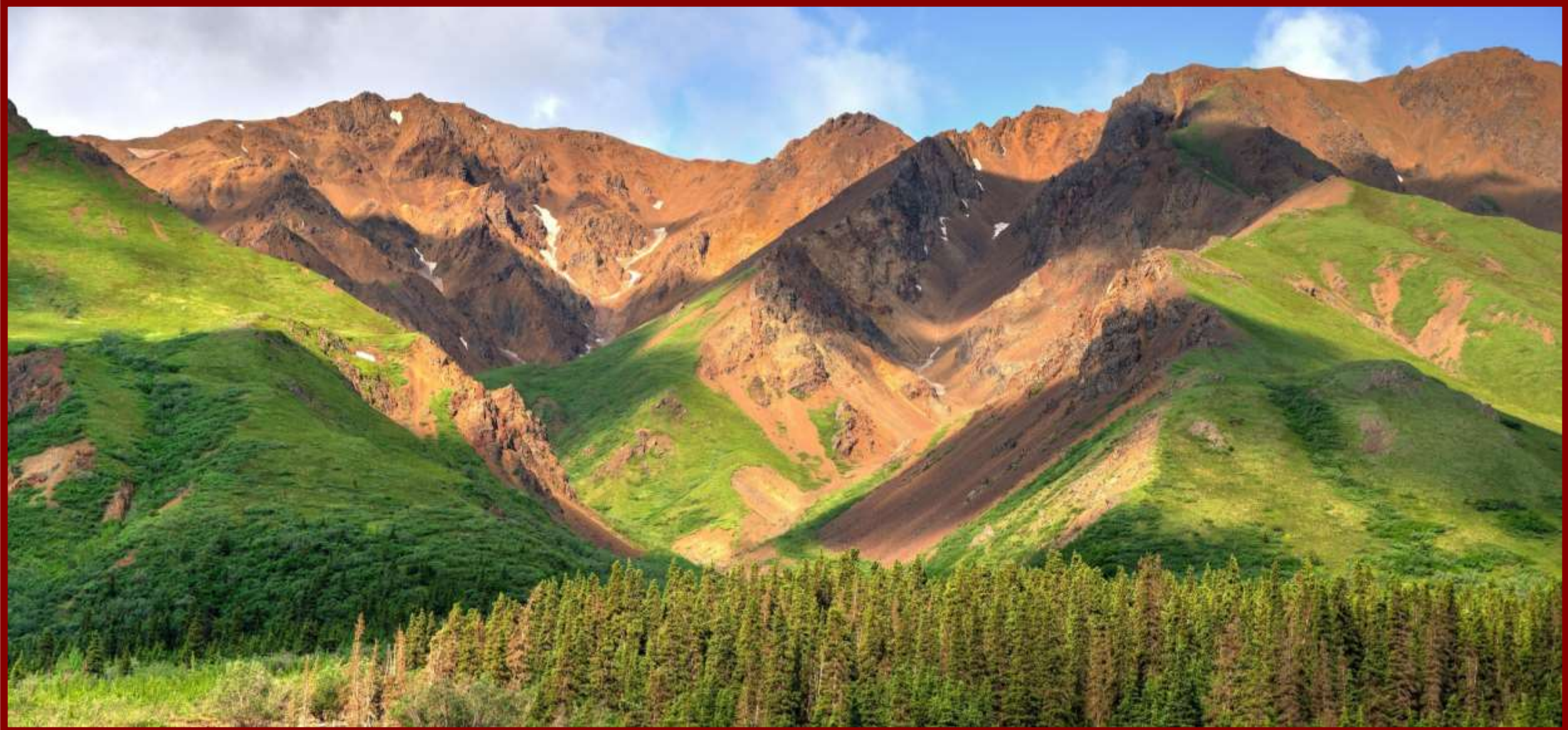
⦿ pomiarach ciśnienia atmosferycznego.

2. Istotne jest **uświadamianie ludzi**, jak powinni się zachować podczas kataklizmu.

⦿ W USA prowadzone są w szkołach specjalne szkolenia.

⦿ Pojawiają się już trafne zapowiedzi nadchodzących wstrząsów, jak np. w Liaoning w Chinach w 1975 roku, kiedy dzięki ostrzeżeniom ocalono setki tysięcy ludzi.





Ruchy diastroficzne

Czym są ruchy diastroficzne

- ☉ Litosfera podlegała i ciągle podlega przemieszczeniom pionowym i poziomym wskutek działania sił endogenicznych.
- ☉ W wyniku tych przemieszczeń o różnym przebiegu, rozmiarach i nasileniu powstały formy planetarne i formy strukturalne.
- ☉ Wszystkie procesy, które powodują ruchy i odkształcenia skorupy ziemskiej, nazywa się **diastrofizmem**.
- ☉ Przemieszczenia oddziałujące na skorupę ziemską przejawiają się jako ruchy:
 - ☉ **wielkopromienne** (dawniej klasyfikowane jako epejrogeniczne – niestety tak pozostało w wielu publikacjach) – obejmujące przemieszczania w pionie,
 - ☉ mają one często podłoże izostatyczne, np. glacioizostatyczne – będące szczególnym przypadkiem ruchów wielkopromiennych (często są one oddzielnie klasyfikowane);
 - ☉ **orogeniczne (górotwórcze)** – obejmujące przemieszczenia w poziomie (omówione zostały one w poprzednich prezentacjach).
- ☉ Ruchom tym towarzyszą **trzęsienia ziemi** oraz **procesy plutoniczne i wulkaniczne** (zjawiska te także zostały już we wcześniejszych prezentacjach omówione).





Ruchy izostatyczne

Ruch izostatyczny

🌐 Równowaga skorupy ziemskiej może być zaburzona wskutek obciążenia lub odciążenia.

🌐 Gdy równowaga ta ulegnie zaburzeniu, następuje **ruch izostatyczny**.

🌐 **Czynnikiem obciążającym** może być:

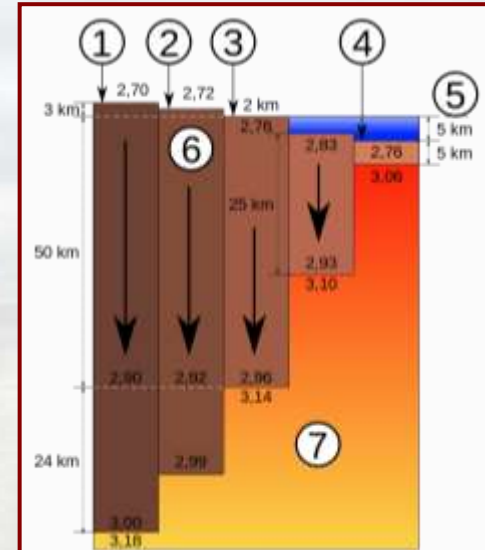
- 🌐 powstanie grubej pokrywy lądolodu,
- 🌐 wzrost ilości wody w zbiornikach jeziornych lub i morskich,
- 🌐 narastanie osadów w basenach morskich,
- 🌐 zwiększenie obciążenia skorupy ziemskiej w wyniku ruchów górotworu i w wyniku narastania pokryw lawowych na obszarach czynnego wulkanizmu.

🌐 W konsekwencji zwiększa się ciężar bloków litosferycznych, opadają one więc i zwiększają nacisk na astenosferę.

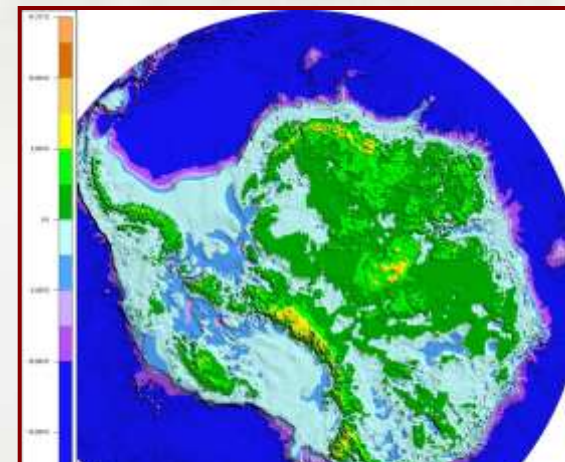
🌐 **Odciążenie** następuje wskutek:

- 🌐 topnienia pokrywy lądolodu,
- 🌐 obniżania gór przez erozję i denudację,
- 🌐 zmniejszenia się ilości wody w jeziorze (np. w plejstoceniowym jeziorze Bonneville w Stanach Zjednoczonych),
- 🌐 niszczenia obszarów kontynentalnych, zwłaszcza górskich, przez siły zewnętrzne.

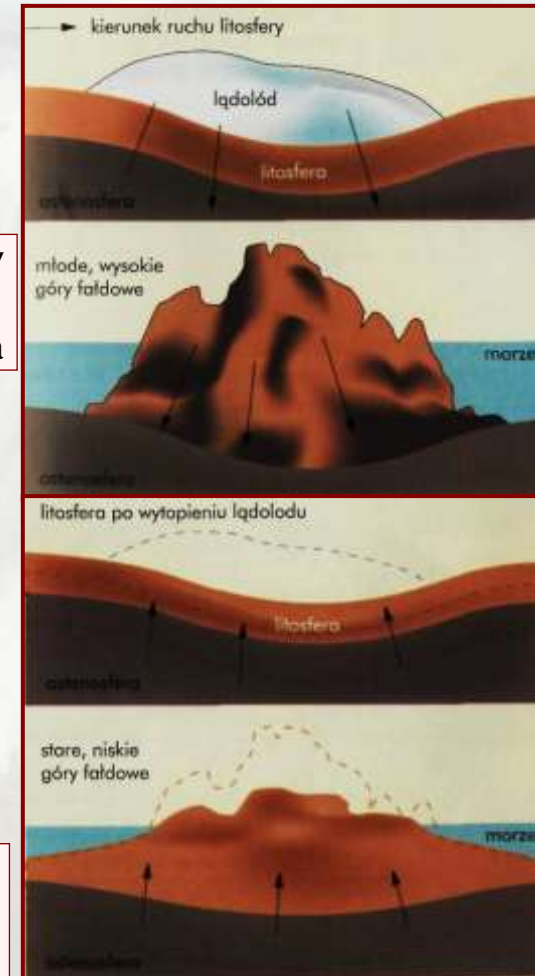
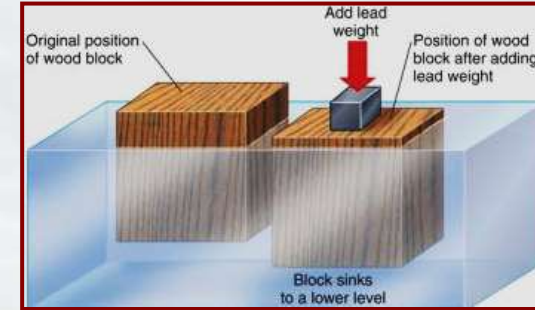
🌐 Powoduje to zmniejszenie nacisku na astenosferę i ruch wyrównawczy litosfery ku górze.



Izostazja 1. Góry 2. Wyżyny 3. Niziny 4. Dno oceanu 5. Poziom morza 6. Bloki skorupy ziemskiej 7. Astenosfera

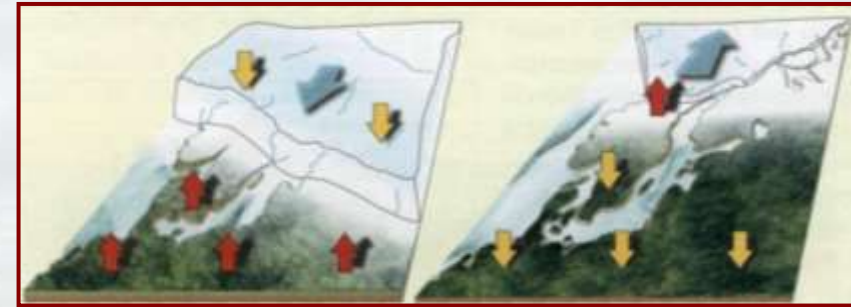


Mapa Antarktydy uwzględniająca obecne ukształtowanie skorupy ziemskiej pod lądolodem

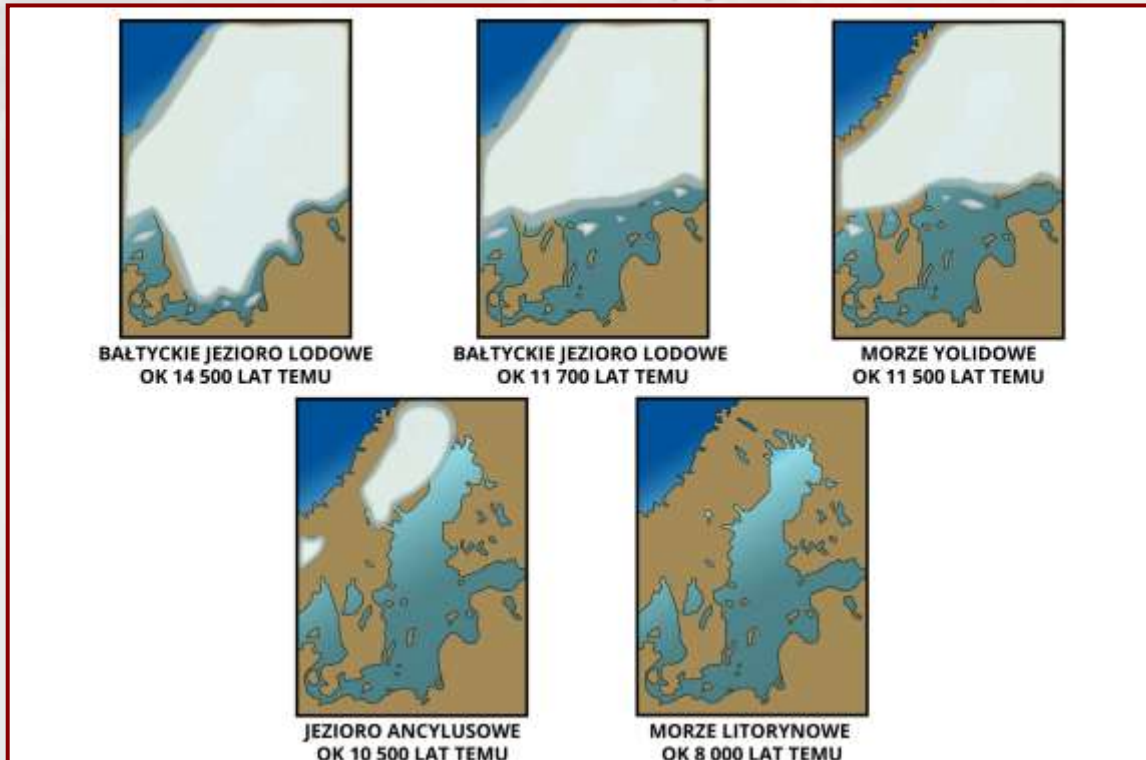
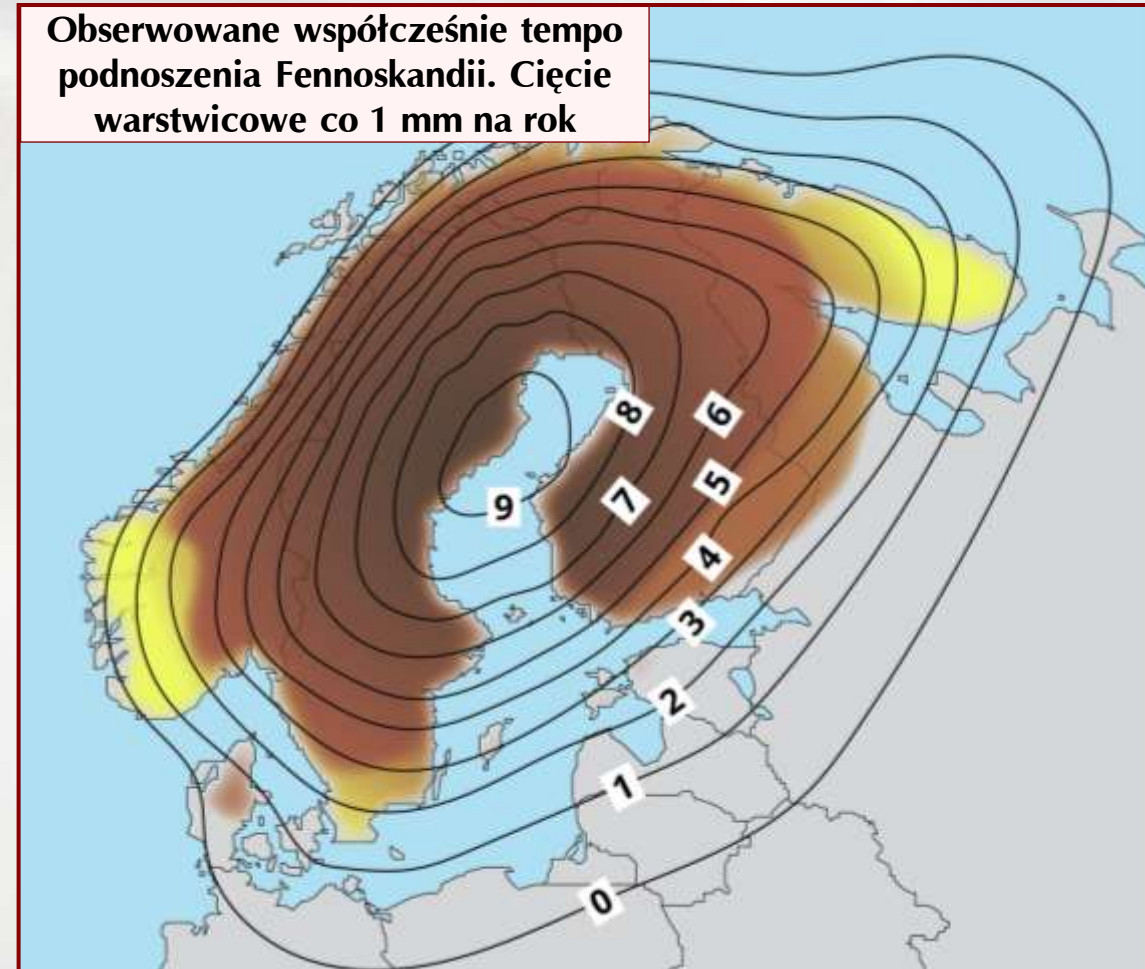


Ruchy izostatyczne

- Wskutek narastania pokrywy lądolodu do grubości ok. 3000 m tarcze fennoskandzka (bałtycka) i kanadyjska, stanowiące centra zlodowaceń, były w plejstocenie wciśnięte w głąb.
- Po ustąpieniu lądolodów skorupa ziemiska wraca do poprzedniego położenia.
- Najbardziej, bo o 275 m, podniósł się obszar położony na zachód od Zatoki Botnickiej, a o 300 m obszar zajęty przez Zatokę Hudsona.



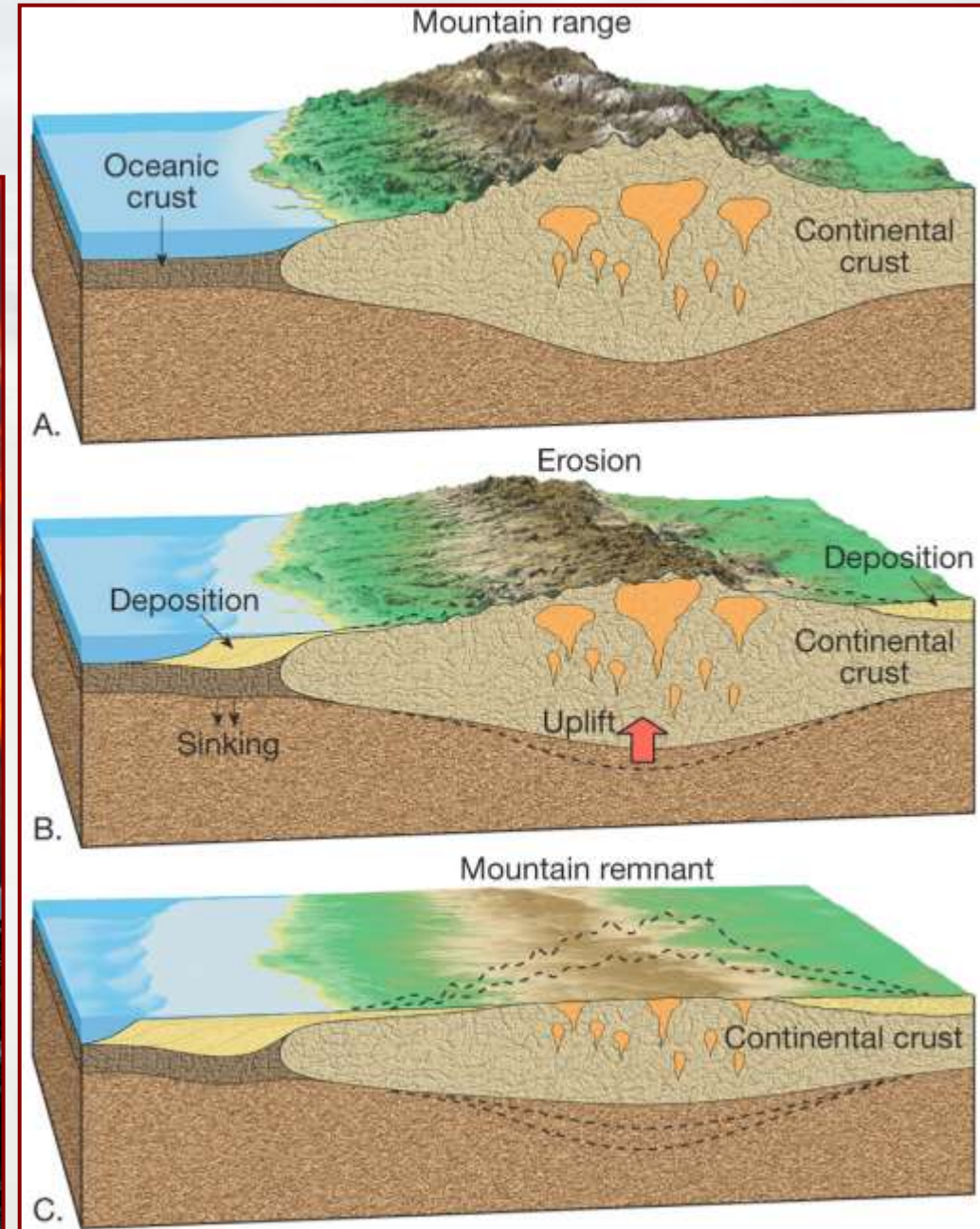
Obserwowane współcześnie tempo podnoszenia Fennoskandii. Cięcie warstwiczne co 1 mm na rok



Obciążenie płyty litosfery powoduje wciśnięcie jej w płaszcz Ziemi, usunięcie obciążenia wywołuje reakcję odwrotną. Kiedy północna Skandynawia była obciążona lądolodem, wybrzeże Danii ulegało podnoszeniu. Współcześnie wybrzeże Danii ulega obniżaniu, a wybrzeże Zatoki Botnickiej podnosi się.

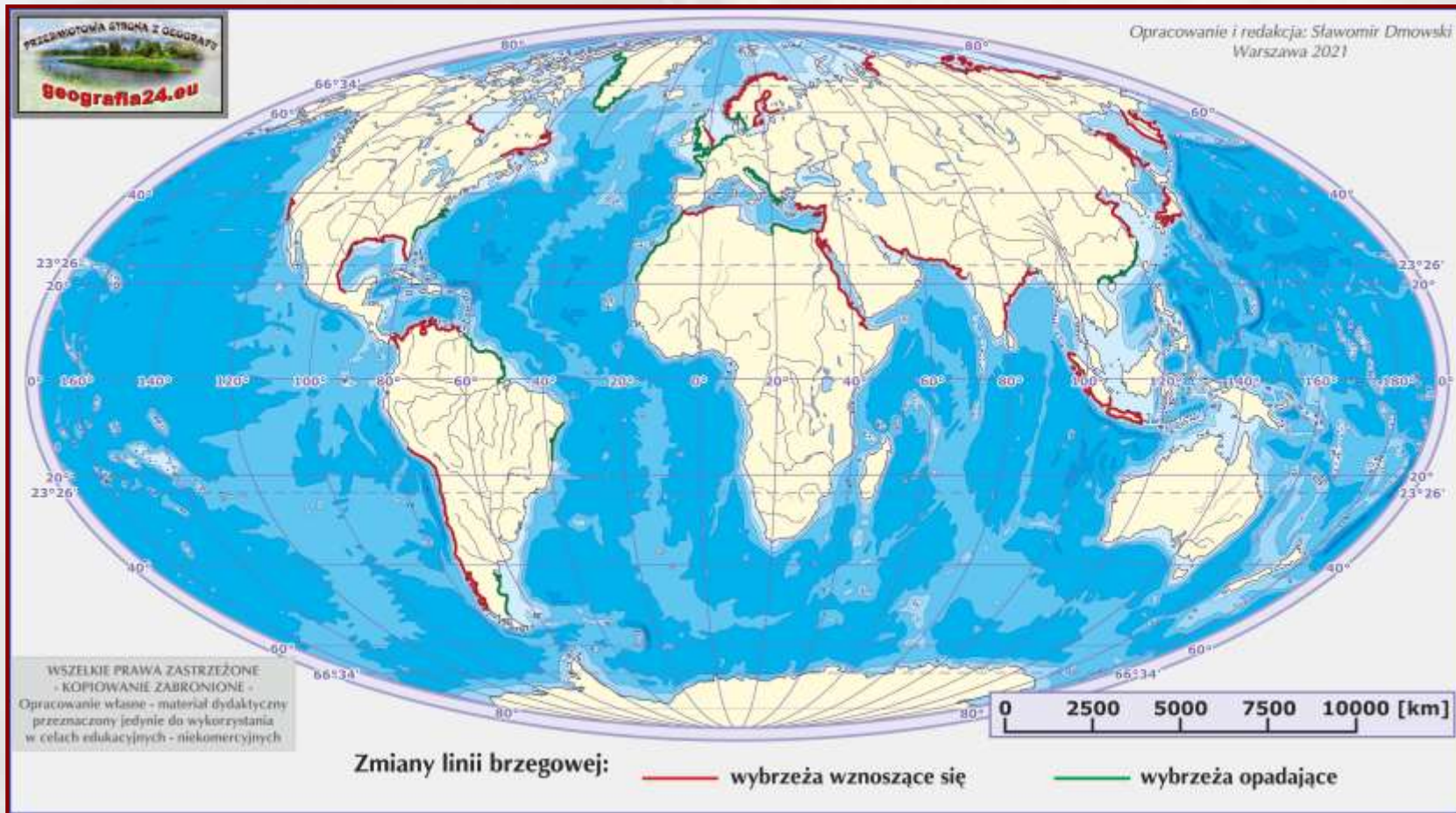
Niszczenie gór wskutek erozji – ruchy podnoszące

☉ Ruchy podnoszące mogą być także wywołane niszczeniem wypiętrzonych wcześniej gór (ruchy odciążające – wskutek erozji i denudacji).



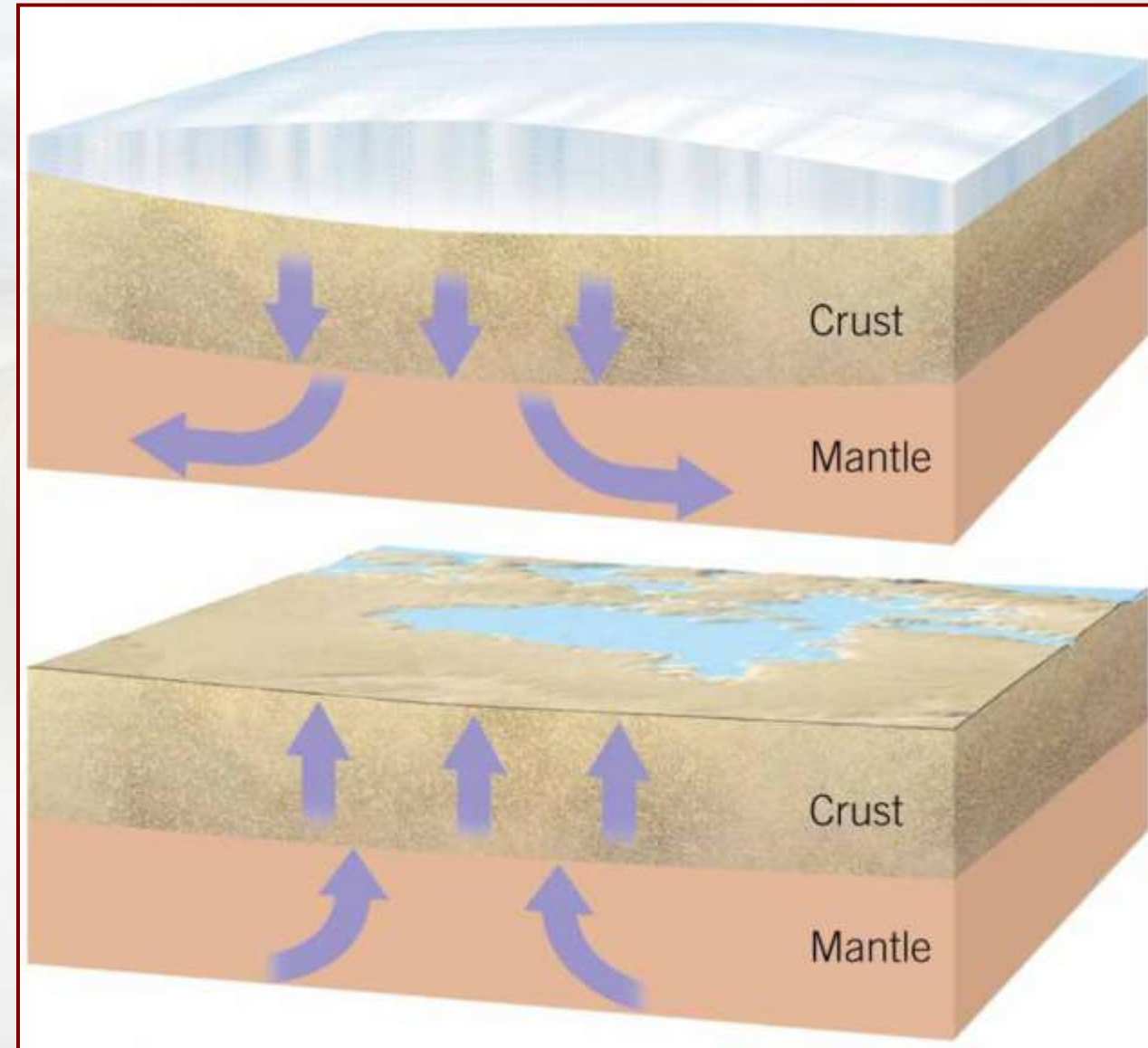
Zmiany linii brzegowej

- ☉ Czułym wskaźnikiem aktywności ruchów pionowych są zmiany linii brzegowej (ruchy te są oczywiście powolne).
 - ☉ Obniżenie jakiegoś fragmentu skorupy ziemskiej prowadzi do rozszerzenia zasięgu morza (**transgresji morza**).
 - ☉ Ruchy wznoszące manifestują się ograniczeniem wymiarów i głębokości akwenów morskich – zwłaszcza przybrzeżnych – mówimy wówczas o **regresji morza**.
- ☉ Ruchy izostatyczne powodują więc stopniowe zalewanie przez morze niskich wybrzeży lub wynurzanie się fragmentów dotychczasowego dna morskiego.



Procesy izostatyczne kiedyś i dziś

- Współcześnie na powierzchni lądów można często spotkać skały, których geneza świadczy o pochodzeniu morskim lub oceanicznym.
 - Przykładem mogą być wapienie budujące Wyżynę Krakowsko-Częstochowską.
- W dnie Pacyfiku występują rafy koralowe o grubości kilkuset metrów (rafy aby przetrwać musiały narastać jak obszar się pograżał), a w dnie południowej części Morza Północnego są wyraźne ślady koryt rzecznych, świadczące o lądowym charakterze tego obszaru w przeszłości i to wcale nie tak odległej.
- Szczególny przypadek stanowi kontynent antarktyczny, na którym do dziś utrzymuje się lądolód o grubości sięgającej nawet do prawie 4 tysięcy metrów.
 - Tak duże obciążenie spowodowało pograżenie się Antarktydy na około 200-300 metrów.
 - Wartość tę najłatwiej określić na podstawie głębokości, na której znajduje się szelf kontynentalny.
 - Normalnie sięga on do około 200 metrów poniżej poziomu morza.
 - Wokół Antarktydy stwierdzono jego występowanie na głębokości aż 400 do 500 metrów.





Ruchy wielkopromienne (dawniej epejrogeniczne)

Ruchy wielkopromienne (dawniej zwane epejrogenicznymi)

- 🌐 **Ruchy wielkopromienne** (dawniej określane jako **epejrogeniczne**) – pionowe ruchy w obrębie litosfery występujące w obrębie rozległych dużych fragmentów płyt litosferycznych, w tym usytuowanych w obrębie ich wnętrza (w znacznej odległości od granic płyt tektonicznych).
- 🌐 Cechą charakterystyczną jest zasięg przestrzenny w obrębie których one występują, obejmując zwykle przemieszczenia rzędu:
 - 🌐 w pionie: dziesiątek lub setek metrów,
 - 🌐 w poziomie: dziesiątek lub setek kilometrów.
- 🌐 W ten sposób powstają więc nabrzmienia kopulaste powierzchni Ziemi o stosunkowo niskich kątach nachylenia, wskutek czego w wielu odkrywkach geologicznych nie można zaobserwować bardziej widocznych deformacji w przebiegu w układzie poszczególnych warstw skalnych.



Rodzaje ruchów wielkopromiennych w obrębie kontynentów

- 🌐 W obrębie kontynentów możemy zaobserwować następujące trzy typy ruchów wielkopromiennych:
 - 🌐 **ruchy epejrogeniczne (lądotwórcze, wznoszące)** – są to bardzo powolne ruchy pionowe, powodujące wydzwignięcie lądu,
 - 🌐 w efekcie występuje **regresja morską** – cofanie się morza i powiększanie się obszarów lądowych;
 - 🌐 **ruchy talasogeniczne (obniżające)** – są przeciwstawne ruchom epejrogenicznym,
 - 🌐 w ich wyniku następuje obniżenie się dna morskiego i zalanie obszarów lądowych, czyli **transgresja morską**;
 - 🌐 **ruchy wahadłowe** – obserwowane są w dłuższym okresie czasu, w którym jak pokazują badania naprzemiennie mogą występować ruchy epejrogeniczne (wznoszące) i talasogeniczne (obniżające).



Przyczyny ruchów wielkopromiennych

Przyczyn ruchów wielkopromiennych jest zapewne kilka i ponieważ sam mechanizm nie jest zbyt dobrze poznany i podlega dziś wielu dyskusjom uczonych, trudno jest wskazać najlepsze wyjaśnienie z 3 hipotez.

1. Niewątpliwie duże znaczenie odgrywa **termika litosfery**, a w zasadzie **anomalie termiczne w obrębie dolnej części litosfery**.

W miejscach bardziej rozgrzanych (np. w obrębie pióropuszy ciepła) obserwujemy większe nadtapianie skał litosfery i zastępowanie ich materiałem o niższej gęstości, wskutek czego (zgodnie z zasadami izostazji) jeżeli są one lżejsze to podlegają ruchowi ku górze – wydźwignięciu lądu, podlegającego następnie typowym procesom jak magmatyzm i wulkanizm, zaś w kolejnym etapie możemy zaobserwować pęknięcie skorupy ziemskiej i tworzenie się rowów tektonicznych.

Wielu naukowców twierdzi, że utworzenie się systemu rowów wschodnioafrykańskich zostało poprzedzone właśnie ruchami wielkopromiennymi.

2. Istotne są też **zmiany objętościowe w obrębie dolnej części litosfery**, na które wpływ mają nawet nieduże zmiany temperatury zachodzące na dużych głębokościach.

Hipoteza ta podkreśla fakt, że nie występuje tu zastępowanie żadnych skał,

brak jest dzięki temu także zjawisk wulkanicznych, które w wielu miejscach poddanych ruchowi ku górze właśnie nie występują.

3. Istotne także są **skutki długotrwałego niszczenia, wskutek erozji i wietrzenia**, zachodzącego w obrębie kontynentów i tak zgodnie z zasadą izostazji:

obszary denudowane (niszczone) się podnoszą (wskutek faktu, że stają się lżejsze),

obszary w obrębie których następuje gromadzenie skał ulegają obniżaniu (gromadzący się materiał stanowi coraz większy balast).

Skutki ruchów wielkopromiennych

🌐 W wyniku tych ruchów wielkopromiennych powstawały w neogenie i czwartorzędzie **nabrzmienia** i **obniżenia**, podłużne lub kopulaste, o zasięgu do kilkuset kilometrów i wysokości do kilkuset metrów (lub większych), m.in.:

🌐 w Afryce:

🌐 powstały nieckowate obniżenia tektoniczne (np. w obrębie struktur kotlinnych **Kotliny Kalahari**, **Kotliny Kongo** i **Kotliny Środkowego Nigru**), które są poprzeplatane wyniesionymi ku górze kopułami tektonicznymi (np. w obrębie wyżynnych wyniesień – na terenie wyżyn **Dżos** i **Bauczi** – w **Nigerii**, **Lunda** – w **Angoli**, **Ahaggar** – w **Algierii**), w obrębie których wysokości względne dochodzą w niektórych miejscach nawet do 2000 m;

🌐 w południowej części Polski:

🌐 takiemu sfałowaniu wielkopromiennemu uległy dwie struktury:

🌐 **wał metakarpcki** – w obrębie którego powstało nabrzmienie sudeckie, obniżenie Odry, nabrzmienie śląsko-krakowskie, obniżenie Nidy i nabrzmienie świętokrzyskie,

🌐 **orogen karpcki** – W obrębie którego na terenie Karpat Zachodnich zaznacza się m.in. nabrzmienie Beskidów, obniżenie Podhala, nabrzmienie Tatr, itd.



Dowody ruchów wielkopromiennych (w tym epejrogenicznych)

☉ O istnieniu ruchów wielkopromiennych (w tym także i epejrogenicznych) świadczą powstałe **ślabo widoczne formy tektoniczne – łagodne fałdy i uskoki**, niektóre **ślabe trzęsienia ziemi** (np. mające miejsce 21 września 2004 roku w Obwodzie Kaliningradzkim oraz północnej Polsce) oraz różne inne fakty, np.:

- ☉ **transgresje i regresje płytkich mórz epikontynentalnych**,
 - ☉ **ich dowody zapisane są w skałach** typowych dla środowiska morskiego lub lądowego;
- ☉ **znaczną odległość od linii brzegowej starych osad rybackich**;
- ☉ **dużą grubość raf koralowych**, przekraczająca kilkadziesiąt metrów – świadczyć może ona o obniżaniu się dna morskiego (koralowce giną na głębokości kilkudziesięciu metrów – na której jest zbyt ciemno) – zjawisko to występuje w obrębie atoli koralowych;
- ☉ **różną wysokość nad poziomem morza równoległych teras morskich i starych, równoległych powierzchni zrównania** w obrębie kontynentów.
- ☉ **Bezpośrednich dowodów na istnienie tych ruchów dostarczają nam bardzo dokładne pomiary satelitarne lub geodezyjne.**



Dawne i obecne ruchy epejrogeniczne

- 🌐 Pionowe ruchy skorupy ziemskiej występowały nie tylko w przeszłości geologicznej ale zachodzą one również współcześnie, o czym świadczą **zmiany linii brzegowych**.
- 🌐 Świadectwem są np. **kolumny tzw. Świątyni Jowisza Serapisa pod Neapolem**.
 - 🌐 Powyższy przykład wyraźnie świadczy o ruchach wahadłowych świątyni.
 - 🌐 Świątynię, zbudowaną ponad 2000 lat temu na brzegu morskim, zasypały popioły Wezuwiusza w 79 r., w średniowieczu pogrążyła się ona w morzu na głębokość kilku metrów, a w XVI w. wynurzyła się z powrotem.
 - 🌐 W latach 1905 – 1945 wybrzeże obniżyło się o ok. 1 m i dolne części kolumn znalazły się znowu w morzu (na kolumnach występują ślady małży skałotoczy – oznacza to, że musiały być one pod wodą).
 - 🌐 Dowodem są także **osiedla rybackie w Szwecji**.
 - 🌐 Osiedla te wybudowane na wybrzeżu – teraz znajdują się kilka kilometrów od linii brzegowej.
 - 🌐 Osuszona obecnie **w Holandii zatoka morska Zuider Zee w XII wieku była jeziorem**.



Ruiny świątyni Serapisa ze śladami małży skałotoczy na kolumnach



Ruchy wielkopromienne: epejrogeniczne, talasogeniczne i wahadłowe

- 🌐 Pomiarzy prowadzone metodą GPS, w pewnych odstępach czasu, pozwalają na stwierdzenie kierunku i prędkości ruchu skorupy ziemskiej.
- 🌐 Dzięki geodezji satelitarnej wiemy także o zachodzących współcześnie w Europie pionowych i poziomych ruchach skorupy ziemskiej.
 - 🌐 **Ruchy obniżające** obecnie występują m.in.:
 - 🌐 na Morzu Północnym u wybrzeży Holandii i Niemiec – Wyspy Fryzyjskie i u południowych wybrzeży Wielkiej Brytanii,
 - 🌐 na Morzu Bałtyckim na wybrzeżu Zatoki Gdańskiej w Polsce.
 - 🌐 **Ruchy wznoszące** występują:
 - 🌐 na wybrzeżu Morza Śródziemnego w okolicach Neapolu,
 - 🌐 na wybrzeżu Oceanu Indyjskiego w Mombasie,
 - 🌐 na Morzu Bałtyckim u północnych wybrzeży Zatoki Botnickiej (łąd podnosi się rocznie aż o 10 mm),
 - 🌐 na wybrzeżach Szkocji.





Ruchy orogeniczne

Ruchy orogeniczne

- 🌐 **Ruchy orogeniczne** doprowadzają do powstania łańcuchów gór fałdowych na skutek działania nacisku skierowanego poziomo.
 - 🌐 Istnieją różne hipotezy wyjaśniające przyczyny i przebieg ruchów górotwórczych.
 - 🌐 W dobie obecnej różni autorzy starają się wyjaśnić powstanie młodych łańcuchów górskich na podstawie hipotezy przyjmującej ruchy płyt litosfery (plate tectonics).
 - 🌐 **Zagadnienie to zostało szczegółowo zaprezentowane w innych prezentacjach.**



KONIEC



**Materiały pomocnicze do nauki
Opracowane w celach edukacyjnych (niekomercyjnych)**

Opracowanie i redakcja: *Sławomir Dmowski*
Kontakt: *kontakt@geografia24.eu*

**WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE
- KOPIOWANIE ZABRONIONE -**