



II. Problemy środowiskowe współczesnego świata

4. Zagrożenia geologiczne

Geozagrożenia geologiczne

- **Geozagrożenia geologiczne** powstają w wyniku oddziaływania:
 - **procesów endogenicznych**, związanych z **ruchem płyt litosfery**, np.:
 - **trzęsienia ziemi**,
 - **tsunami**,
 - **wulkanizm**;
 - **procesów egzogenicznych**, związanych z **ruchami masowymi lub wietrzeniem skał** np.:
 - **osuwiska**,
 - **obrywy**,
 - **spływy gruzowe i inne**,
 - **leje krasowe**.





Trzęsienia ziemi

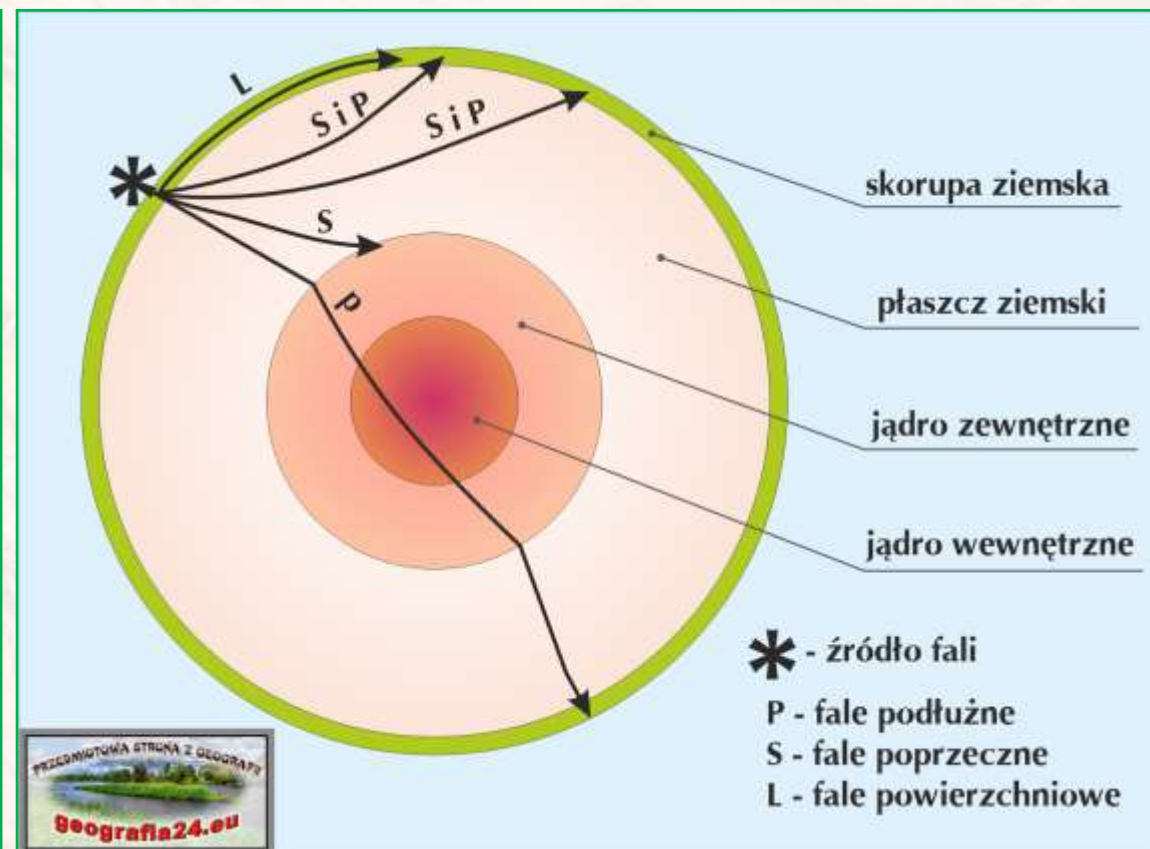
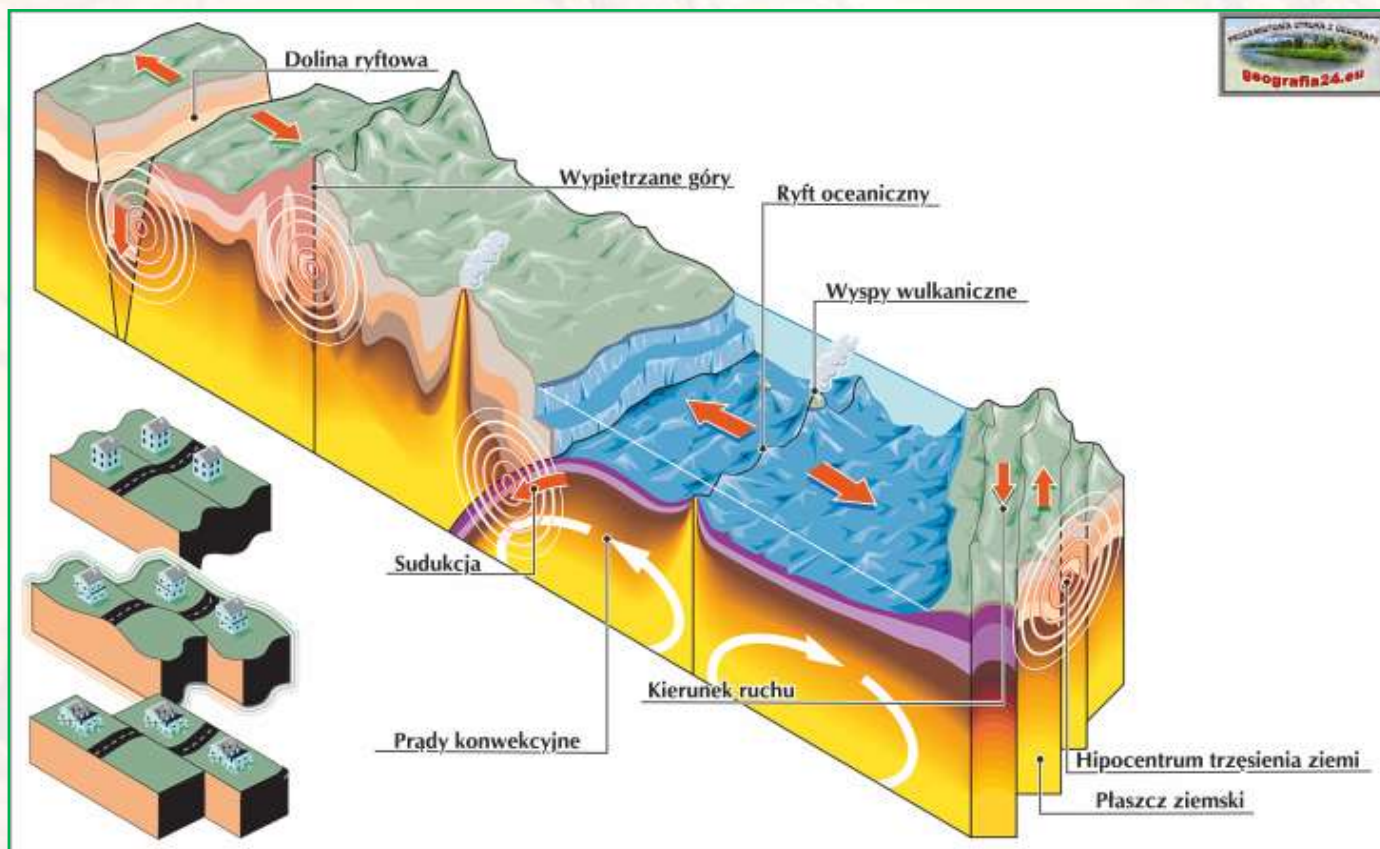
Definicja trzęsień ziemi

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



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).

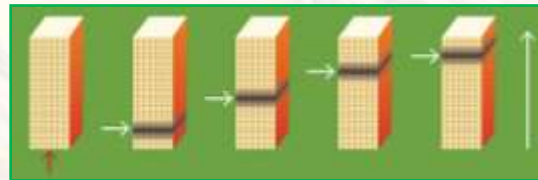
Fale podłużne (P)

materiał bez zmian

materiał – kurczenie

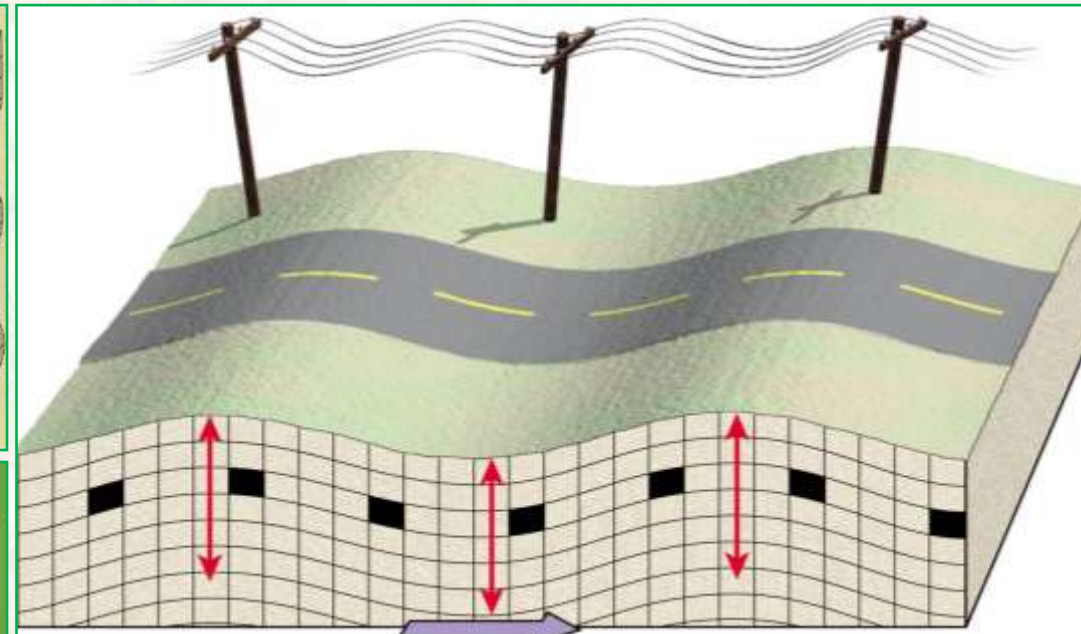
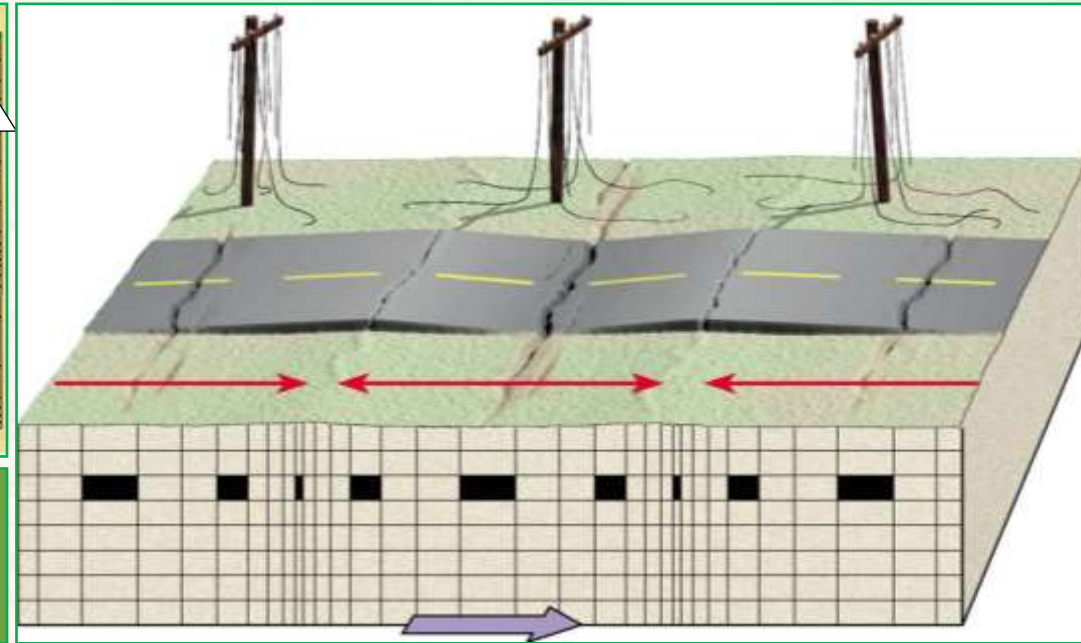
materiał – rozszerzanie

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,

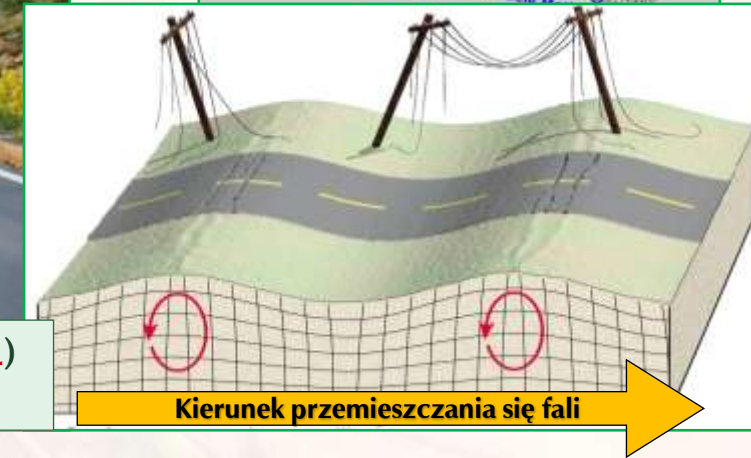
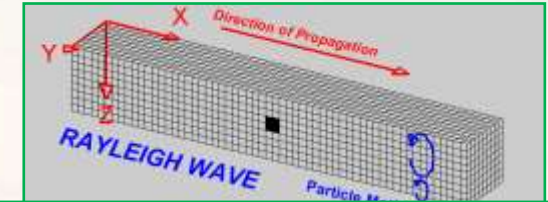
→ wywołują drgania takie jak, gdy na powierzchnię wody rzuci się kamień;

→ **fal Love'a** – wywołują wolno przemieszczające się i bardzo destrukcyjne drgania odpowiedzialne za większość niszczycielskich efektów,

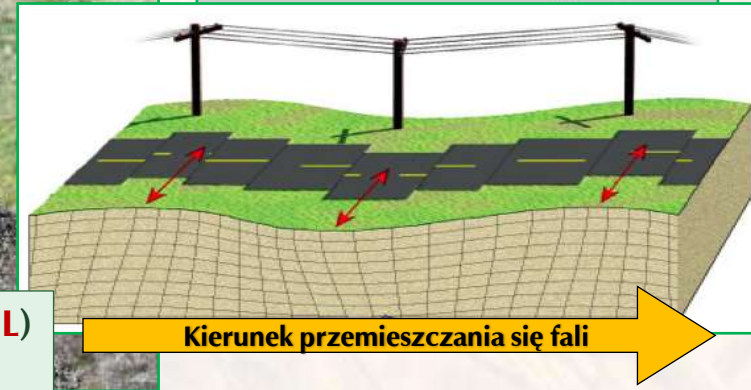
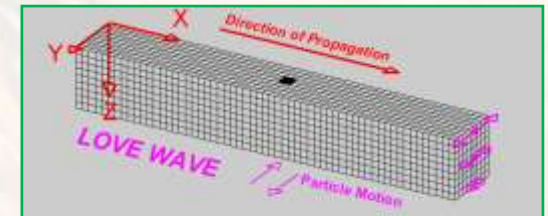
→ wywołują drgania poziome – prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali.



Fale powierzchniowe (L)
Fale Rayleigh'a

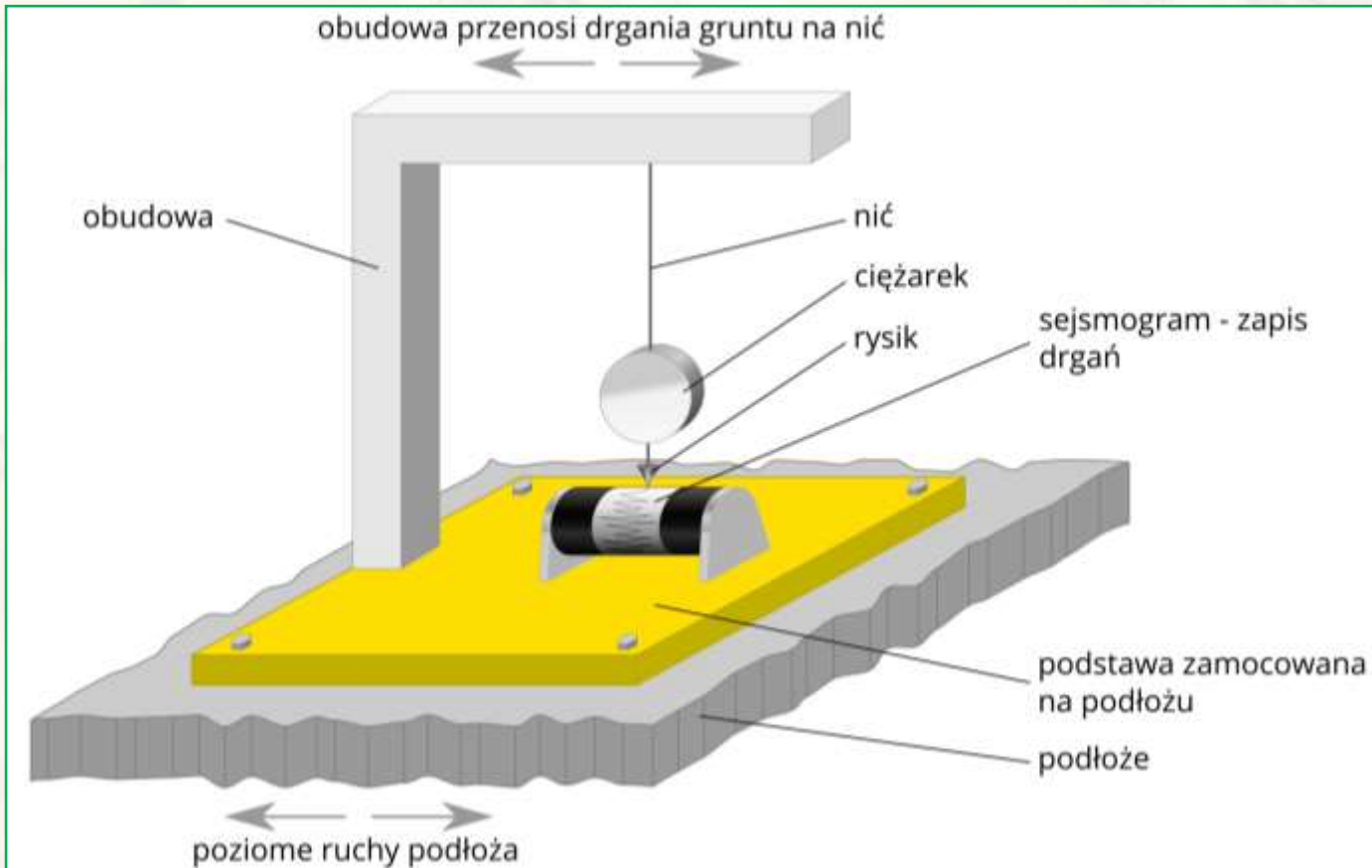


Fale powierzchniowe (L)
Fale Love'a

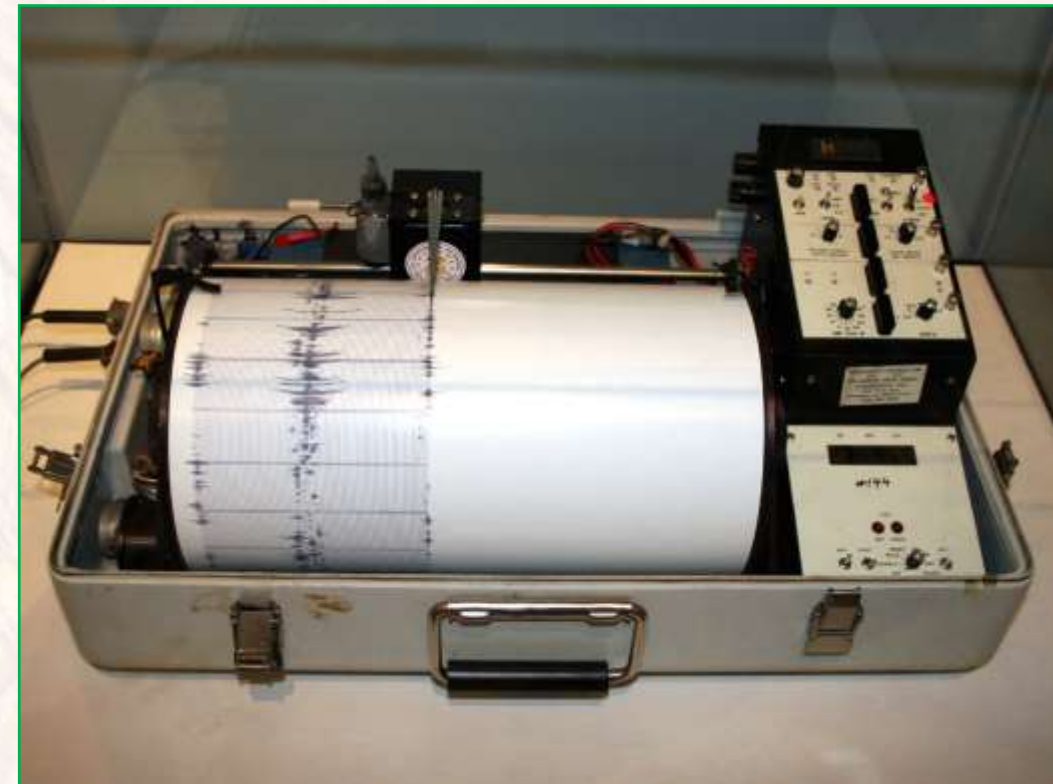


Seismograf

- Fale sejsmiczne rejestrowane są przez *seismografy*.
- 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 seismografów 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.

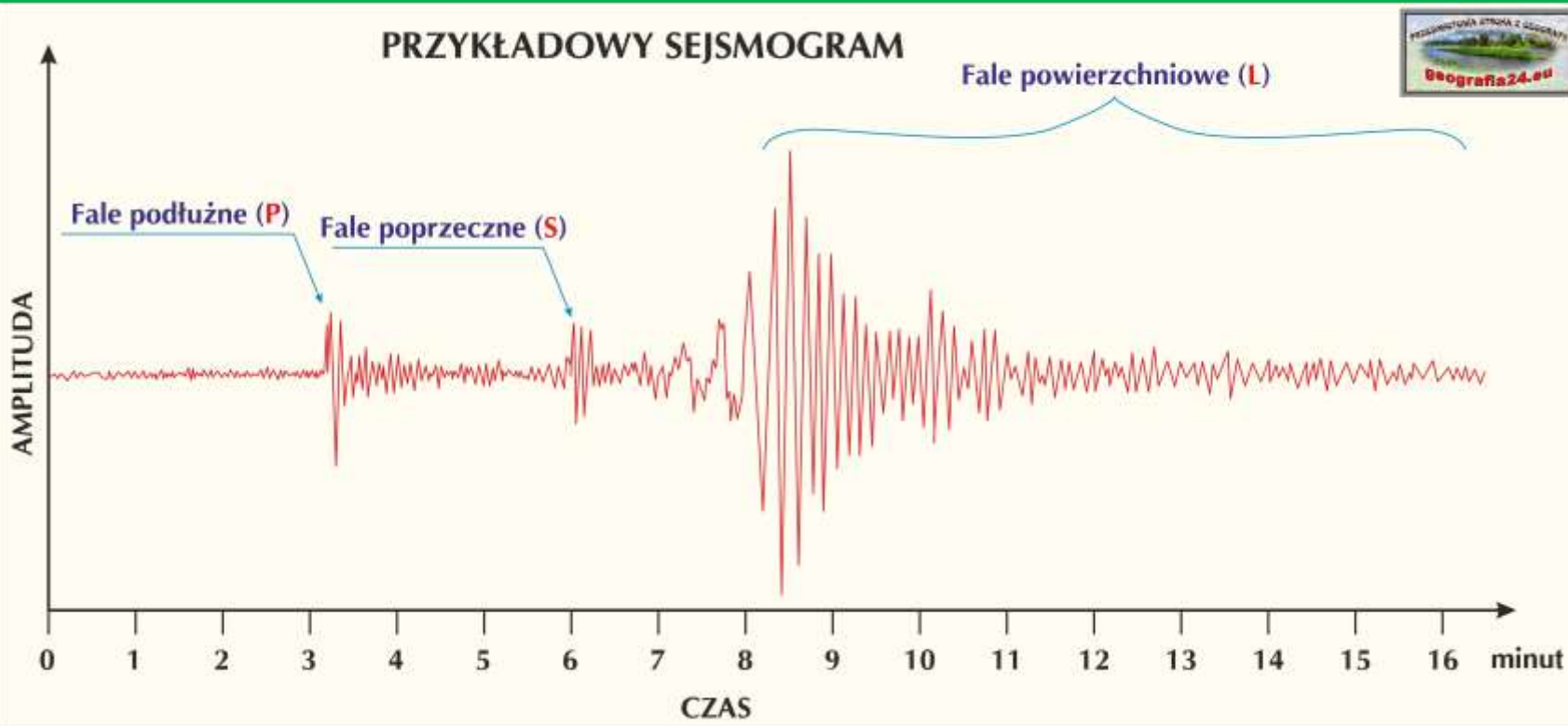
→ Można zwykle na nim wyróżnić **trzy serie wstrząsów**: **wstępne**, **główne (zasadnicze)**, **końcowe (wtórne)**.

→ Wstrząs zasadniczy jest najsilniejszy,

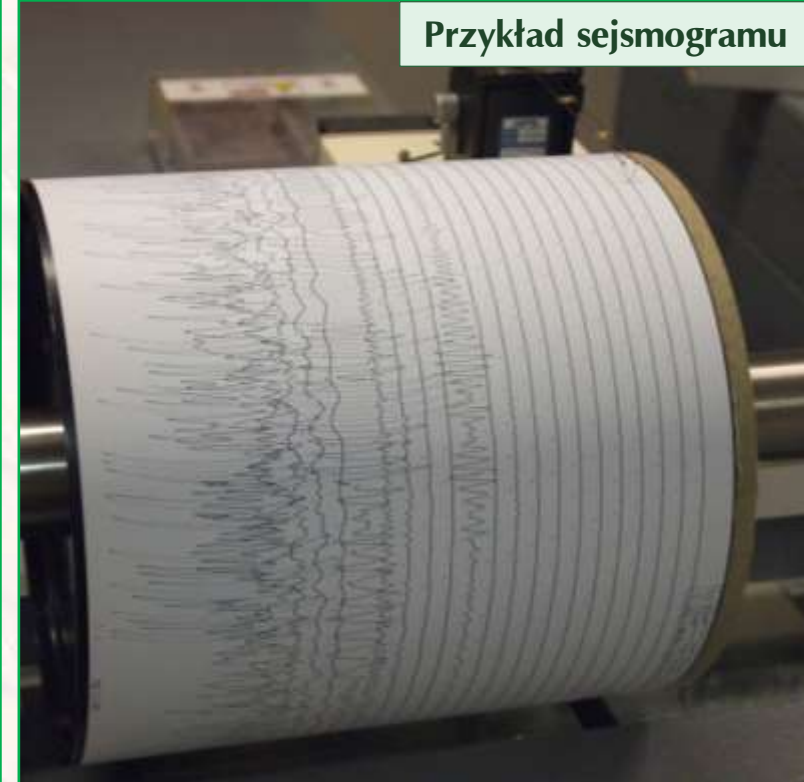
→ zwykle bywa on poprzedzony słabymi wstrząsami wstępnymi,

→ 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 SEJSMOGRAM

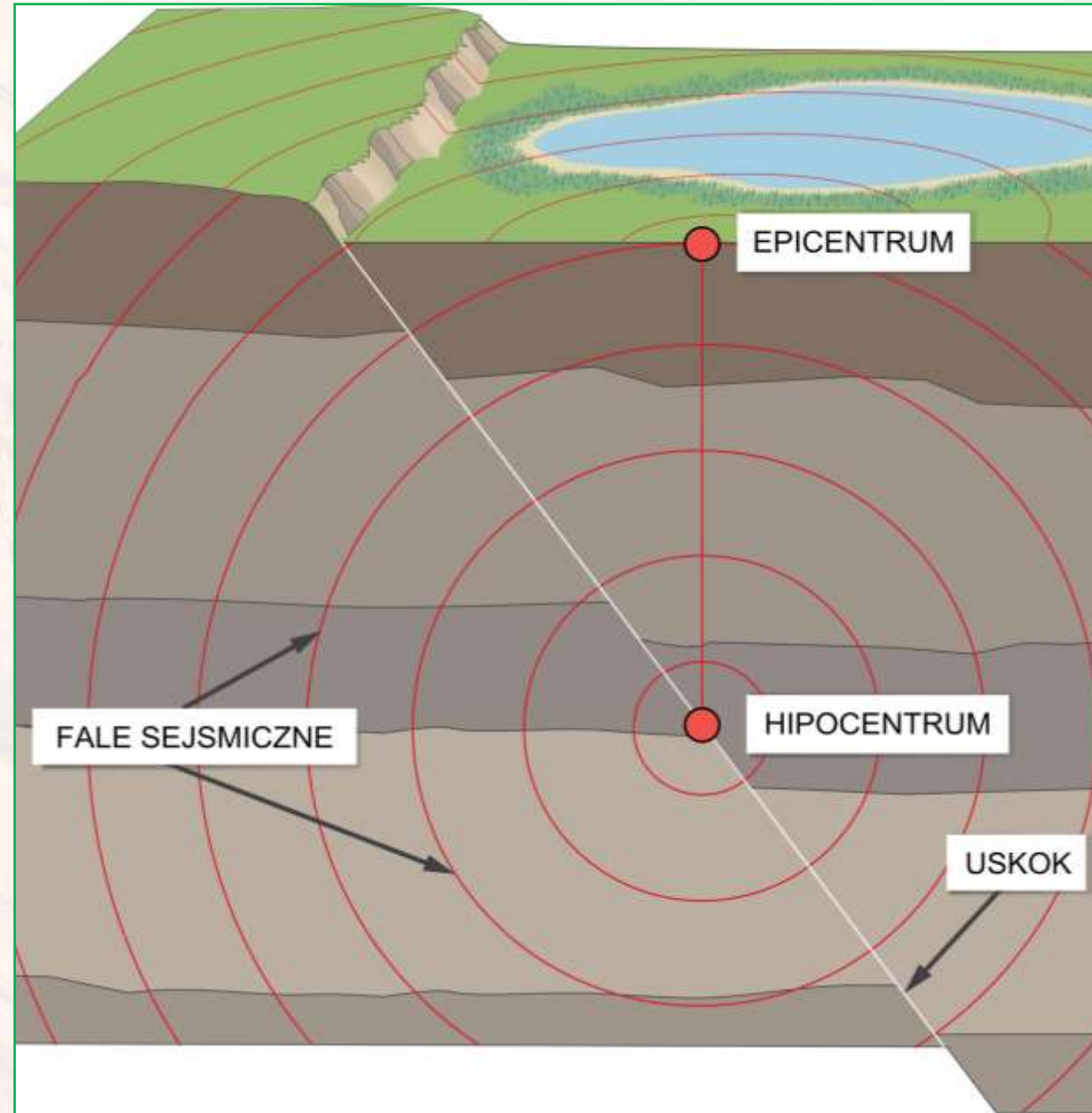


Przykład sejsmogramu



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 kółkami.
 - 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:

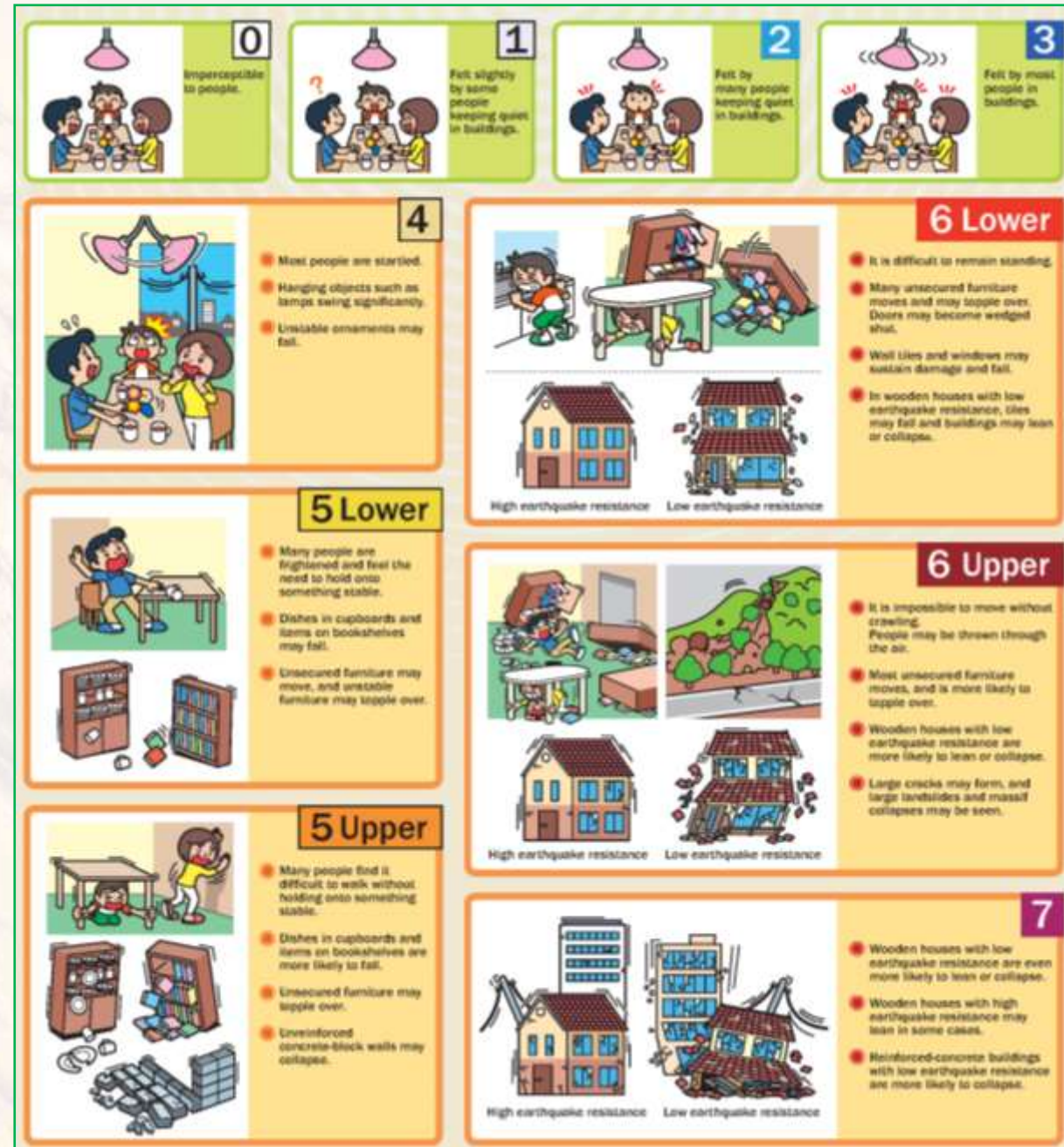
→ magnitudową skalą Richtera.



Siła wstrząsów – skala Mercallego

→ Skala Mercallego intensywności:

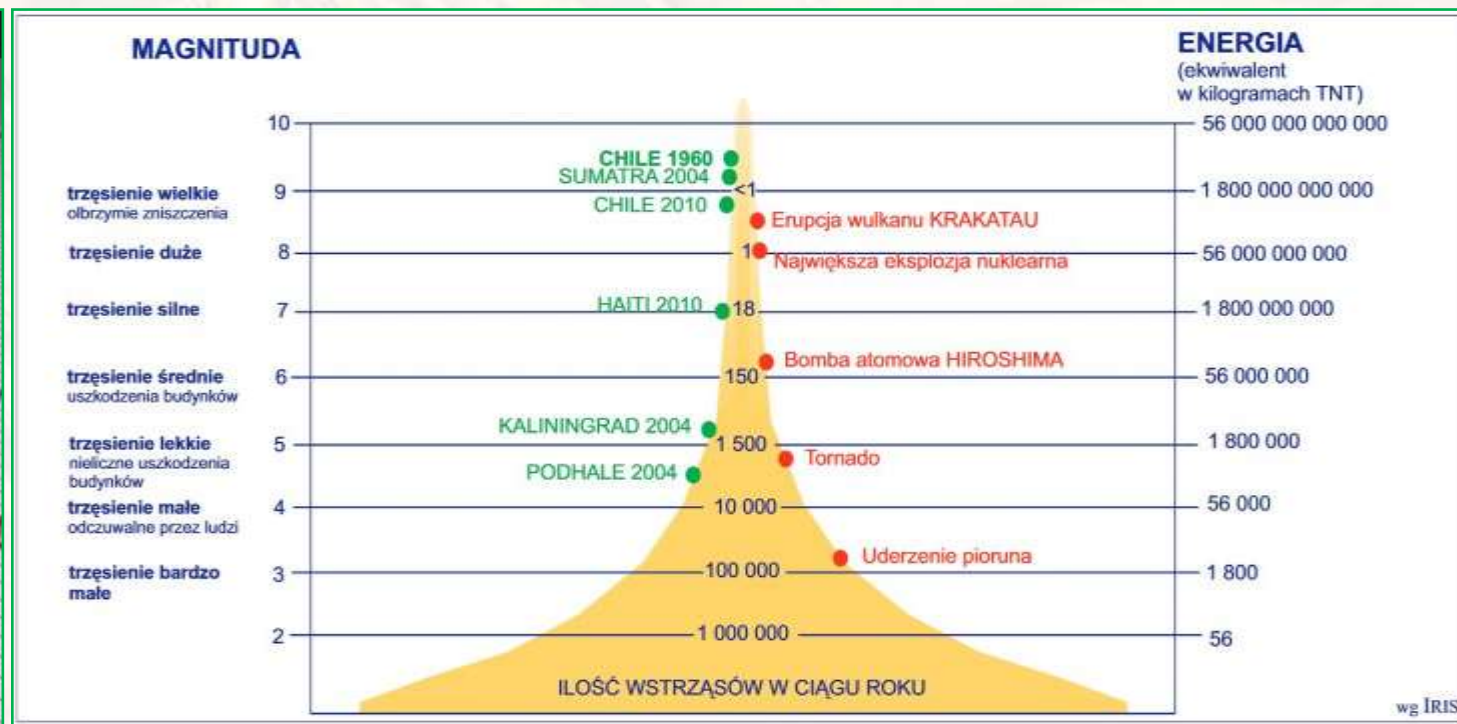
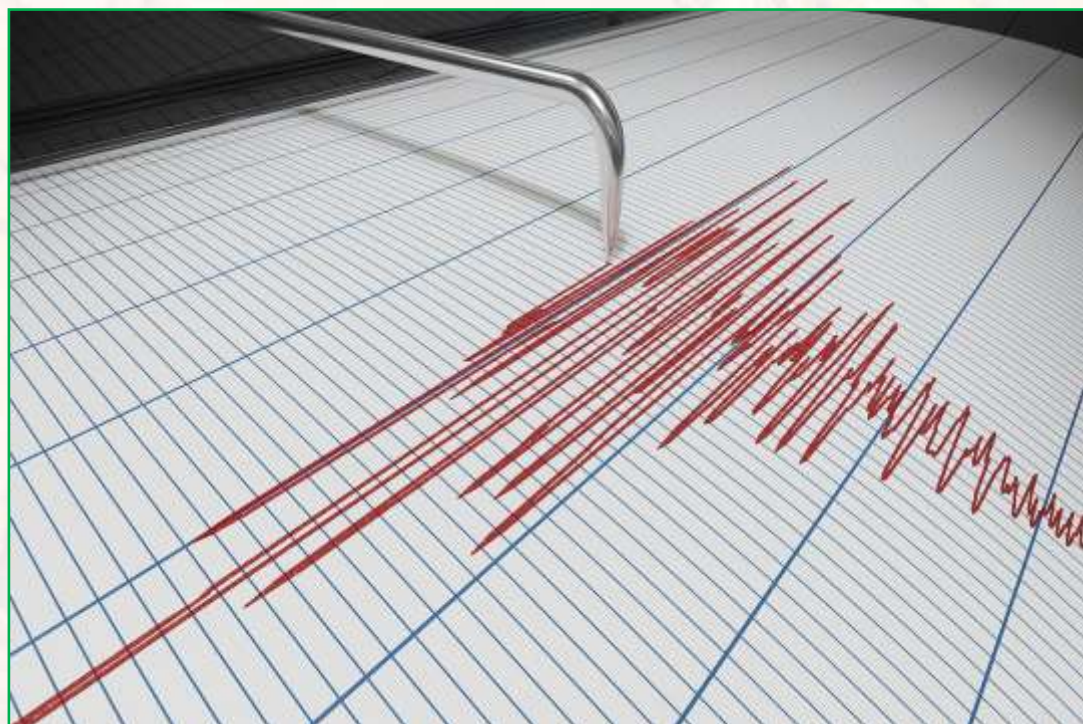
- zamknięta,
- dwunastostopniowa (zapis cyframi rzymskimi),
- oparta na charakterystyce zniszczeń wywoływanych wstrząsami,
- podzielona według wartości przyspieszenia,
 - trzęsienie jest tym silniejsze, im większe jego przyspieszenie,
 - czyli im mniejszy jest okres drgań w stosunku do ich amplitudy:
- 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.

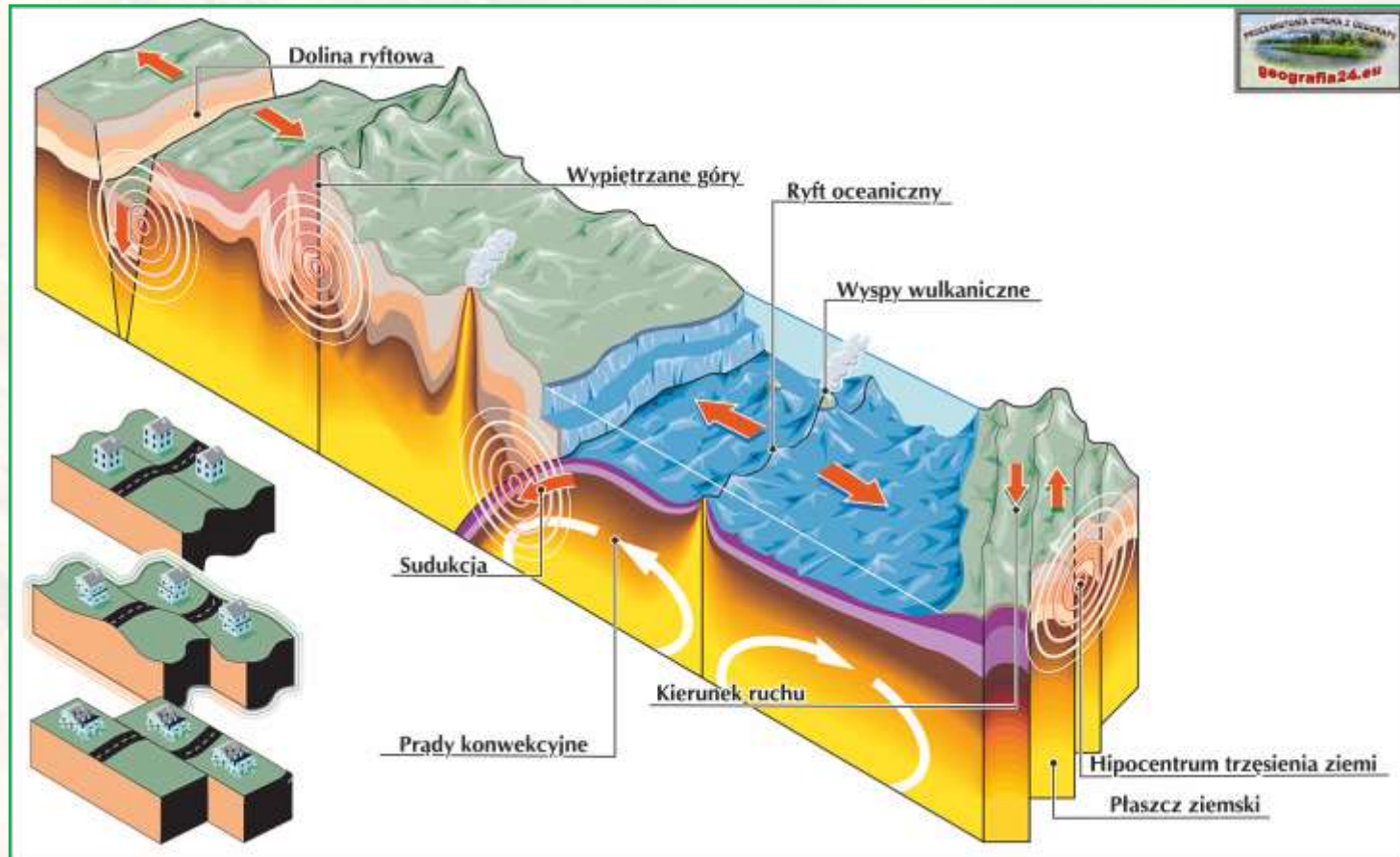
Siła wstrząsów według skali Mercallego i Richtera

Charakterystyka trzęsienia wg skali Mercallego	Stopnie w skali		Wyzwolona energia (w J)
	MERCALLEGRO	RICHTERA	
Wykrywają je tylko seismografy.	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 wyzwolania 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:

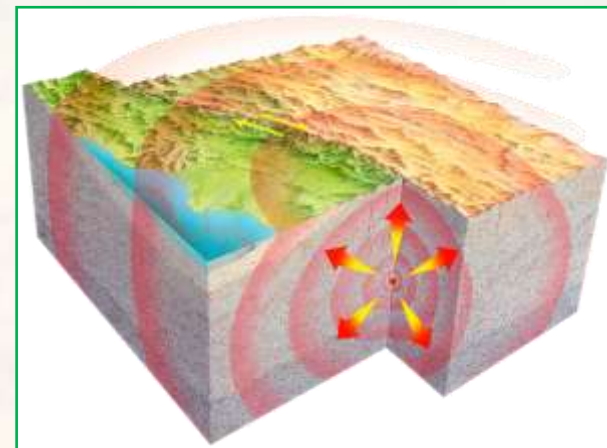
- zdecydowanie słabsze od tektonicznych i mniej rozpowszechnione,
- stanowią tylko około 7% ogółu trzęsień,
- związane są z:
 - gwałtowną erupcją wulkanów eksplozywnych (np. superwulkanów),
 - przemieszczeniem się magmy przez litosferę,
 - zapadaniem się stropów opróżnionych komór magmowych;

→ 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);

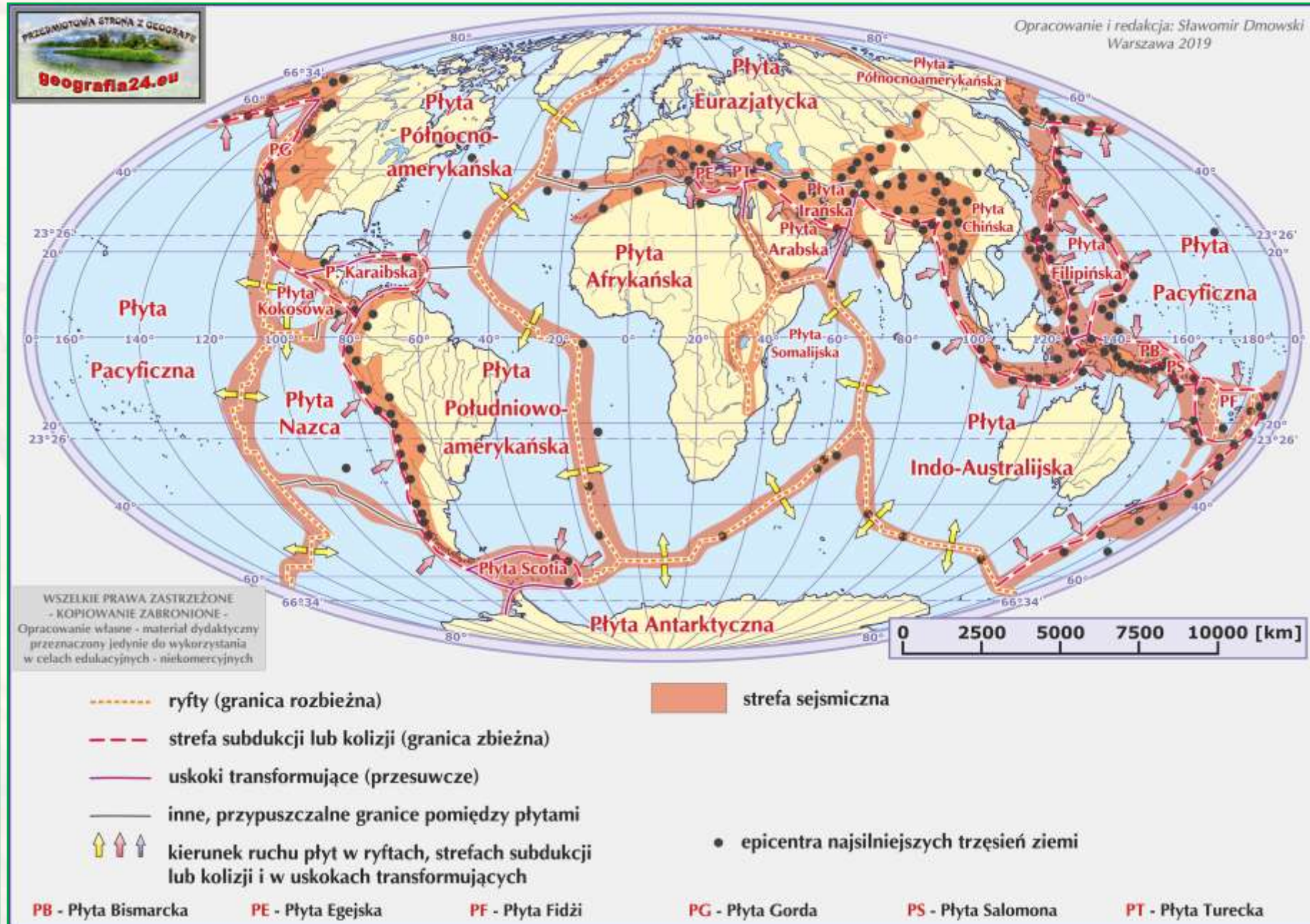
→ antropogeniczne:

- 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.



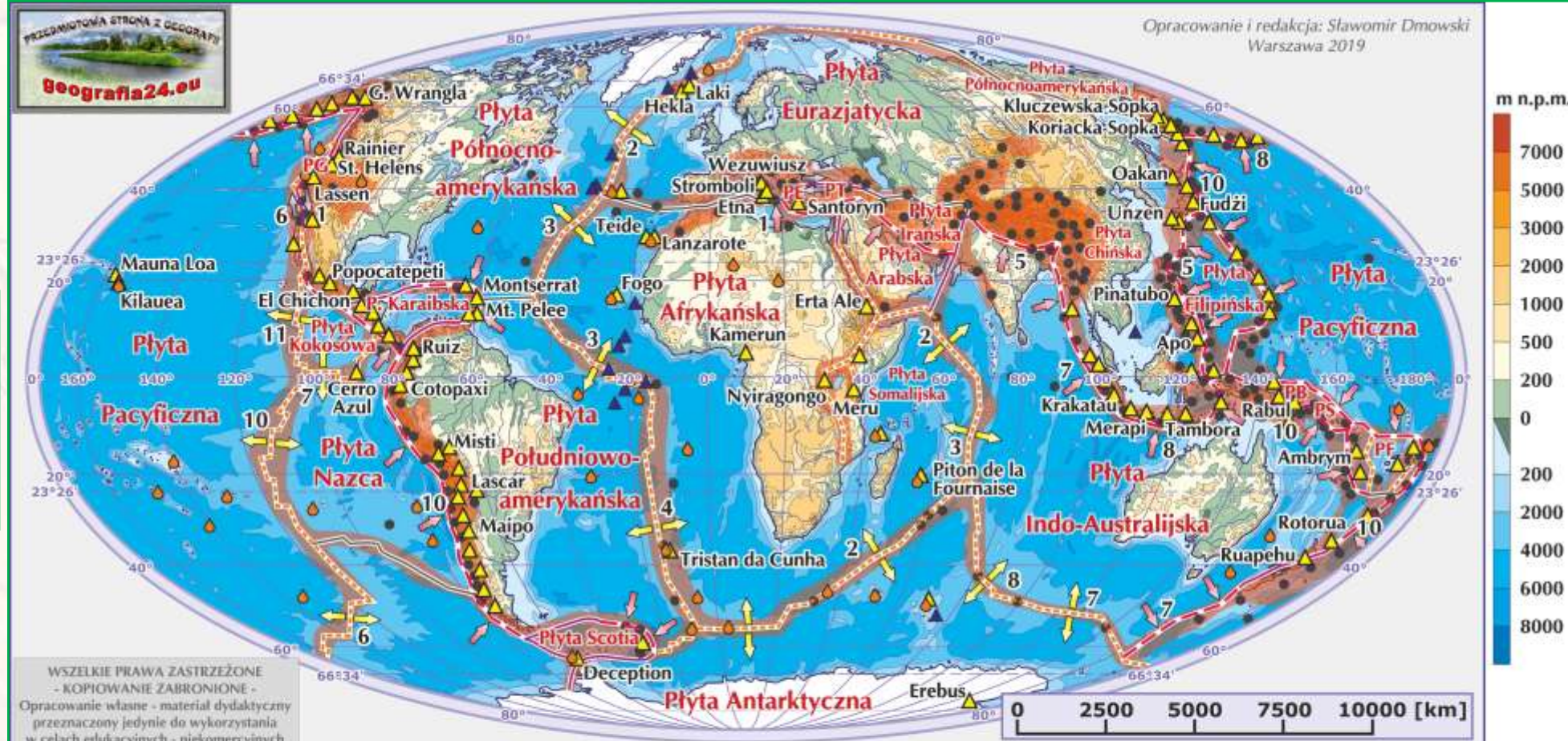
Rejony występowania trzęsień ziemi

- 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.



- 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



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 około 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



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)

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,

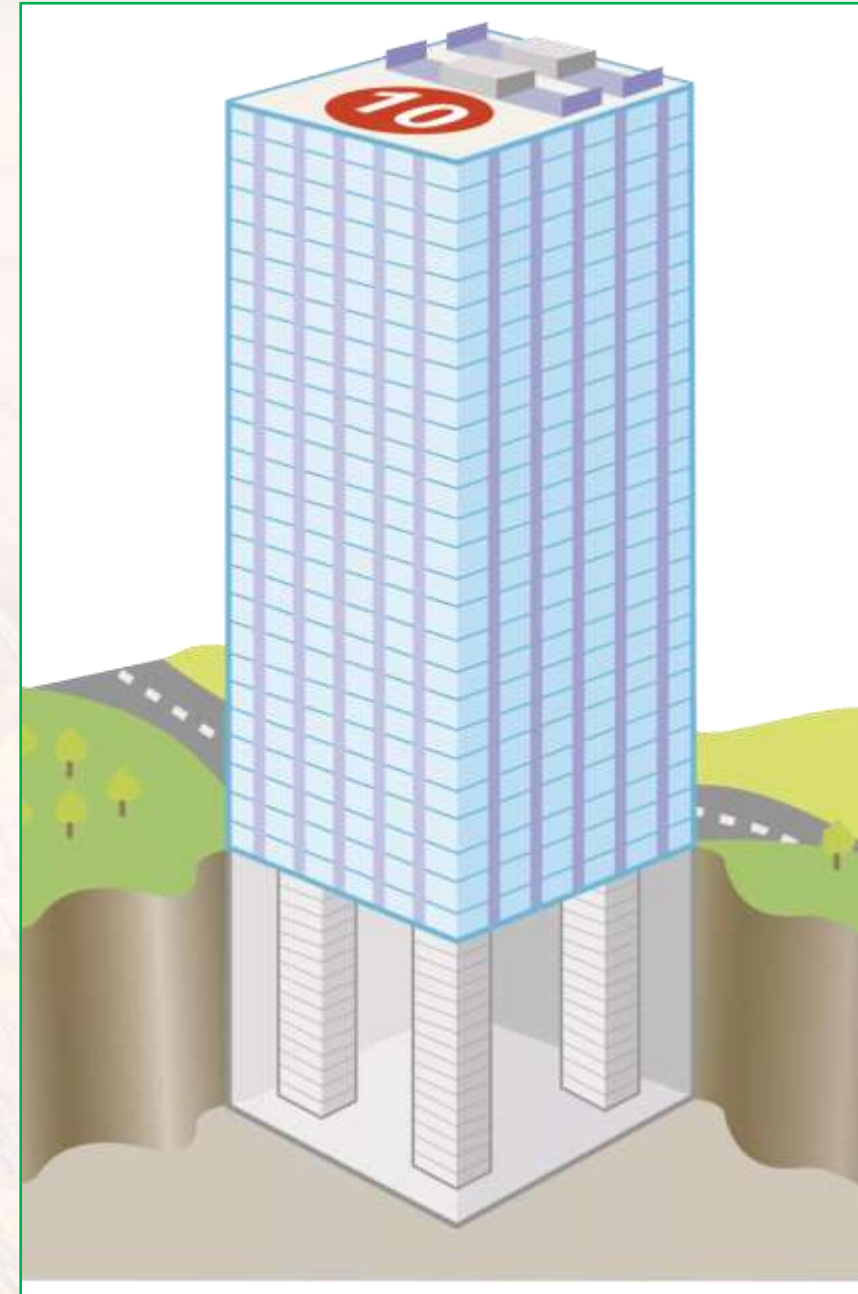
→ analizach naprężeń w skorupie ziemskiej,

→ 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.

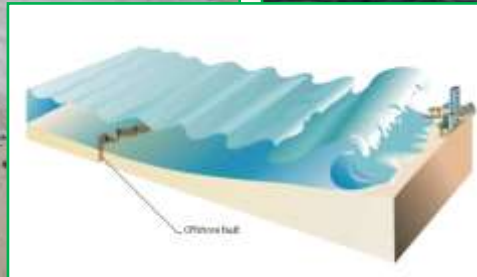




Tsunami

B. Tsunami

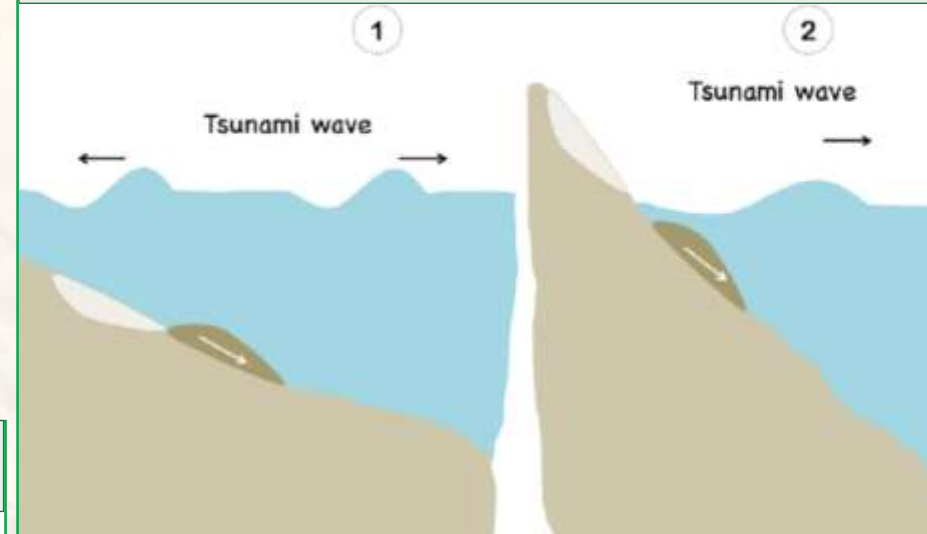
- **Tsunami (fale sejsmiczne)** – bardzo długie fale swobodne (o długości do 200 km) o olbrzymiej energii, przemieszczające się na duże odległości (nawet tysięcy km).
- Na otwartym oceanie mogą one osiągać prędkość do 1000 km/h, ale ich olbrzymia długość powoduje, że są prawie niezauważalne (mają do 2 m wysokości).
- Dopiero na obszarach przybrzeżnych tsunami wyhamowuje na skutek tarcia o dno i spiętrza się, osiągając wysokość do 40 metrów (największe w małych i wąskich zatokach).
- Najwyższa fala tsunami posiadała około 66 m (źródła podają różne wartości) – zaobserwowano ją w Zatoce Alaska (Lituya Bay) po oberwaniu się olbrzymiej góry lodowej (zalała ona obszar wybrzeża do wysokości 524 m n.p.m.).



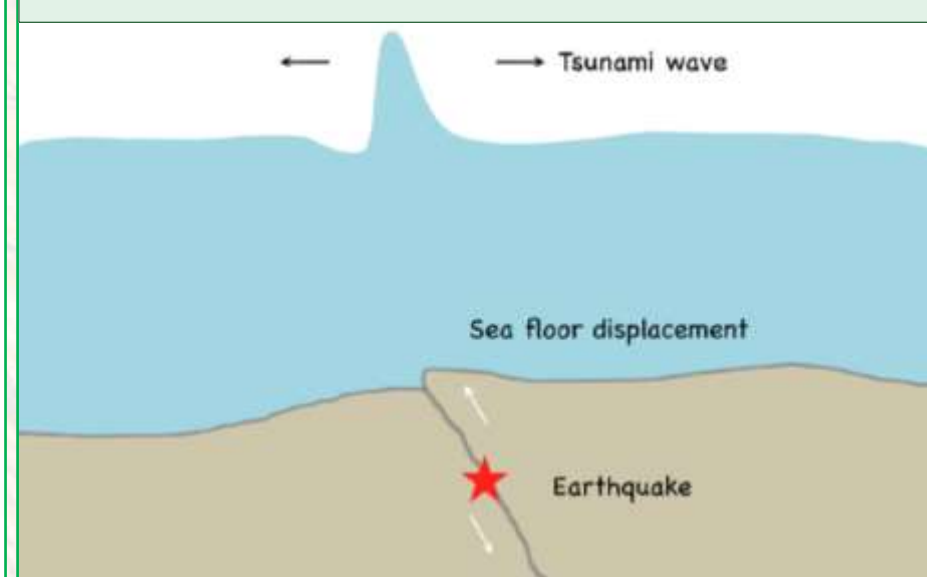
Przyczyny powstawania fal tsunami

- **Tsunami** tworzą się najczęściej w wyniku podmorskich trzęsień ziemi lub też podwodnych wybuchów wulkanów.
- Wśród innych przyczyn tsunami najczęściej występują:
 - podwodne osuwiska,
 - obrywy w obrębie klifów morskich lub gór lodowych oddzielających się z lądowców (spadające bezpośrednio do mórz),
 - eksplozji wzbudzanych przez człowieka (np. wskutek wybuchów atomowych),
 - upadki dużych meteorytów.

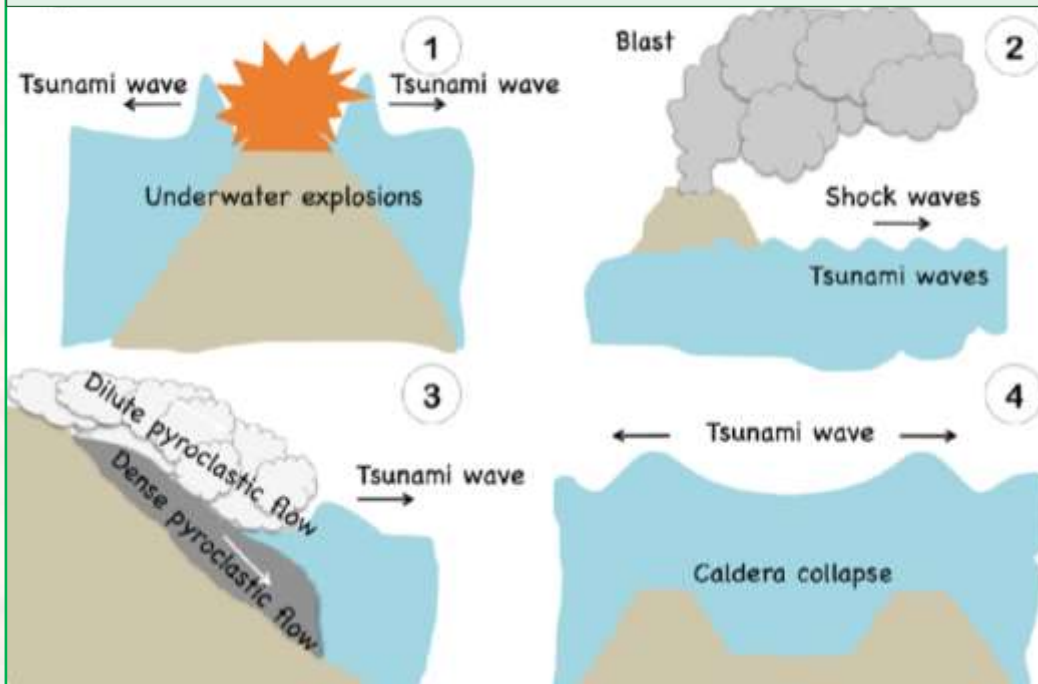
Przyczyny tsunami: podwodne osuwiska lub obrywy w obrębie klifów morskich lub gór lodowych



Przyczyny tsunami: trzęsienia ziemi

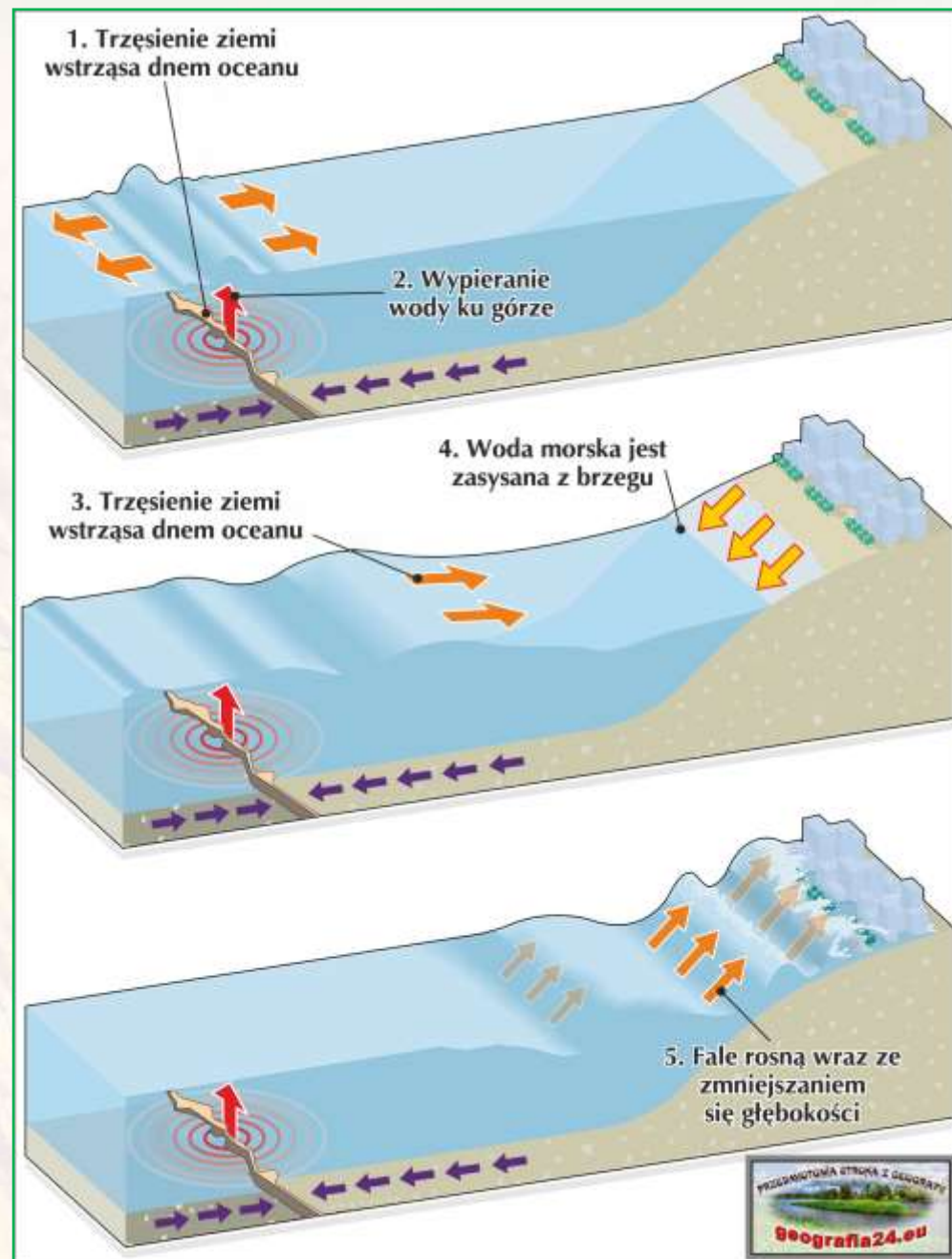


Przyczyny tsunami: upadki meteorytów



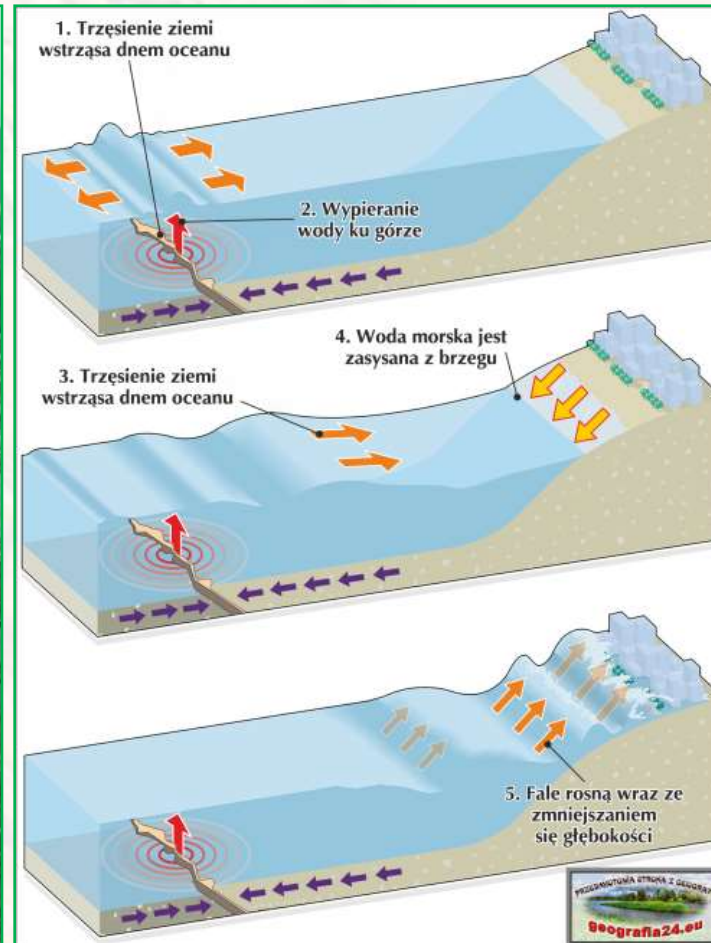
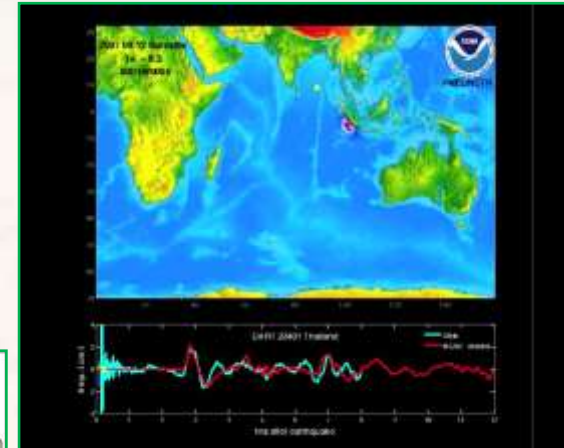
Co zapowiada tsunami

- Nadejście tsunami można czasem rozpoznać po trwającym od kilku do kilkunastu minut **niewielkim obniżeniu poziomu lustra wody**, które wynosi do 4 metrów.
- Powstaje wtedy przemieszczający się dół fali – to on dochodzi jako pierwszy (morze cofa się bardziej niż w czasie odpływu), przed właściwą falą tsunami.
- Niestety zwykle ludzie nie zwracają na to uwagi, a jest to o tyle ważne, że to zwykle pierwsza nadchodząca fala jest najwyższa.
- Po niej zwykle nadchodzi jeszcze kilka fal – ale już coraz niższych.



Skutki tsunami

- 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.



Największe tsunami z ostatnich kilku, kilkunastu lat

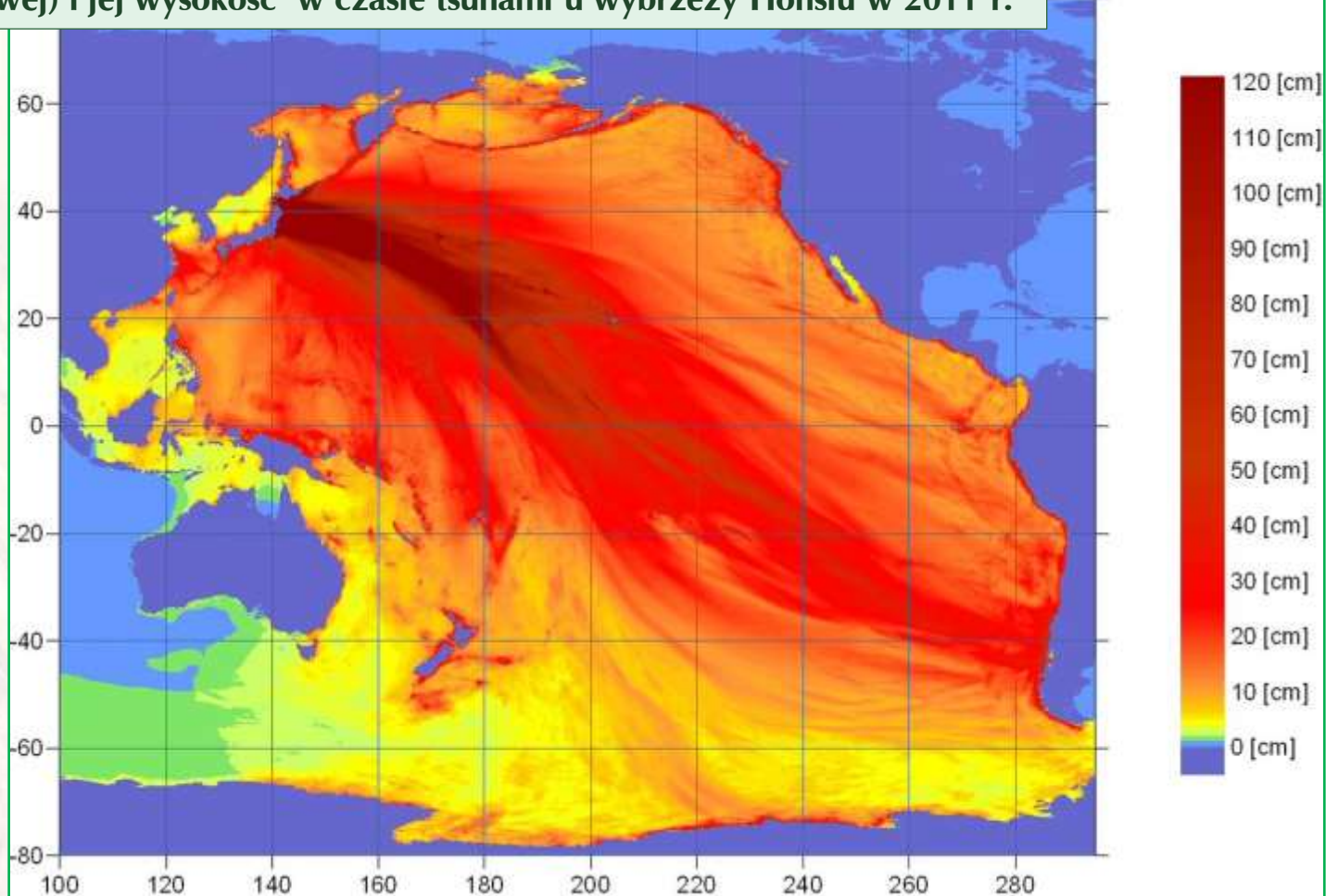
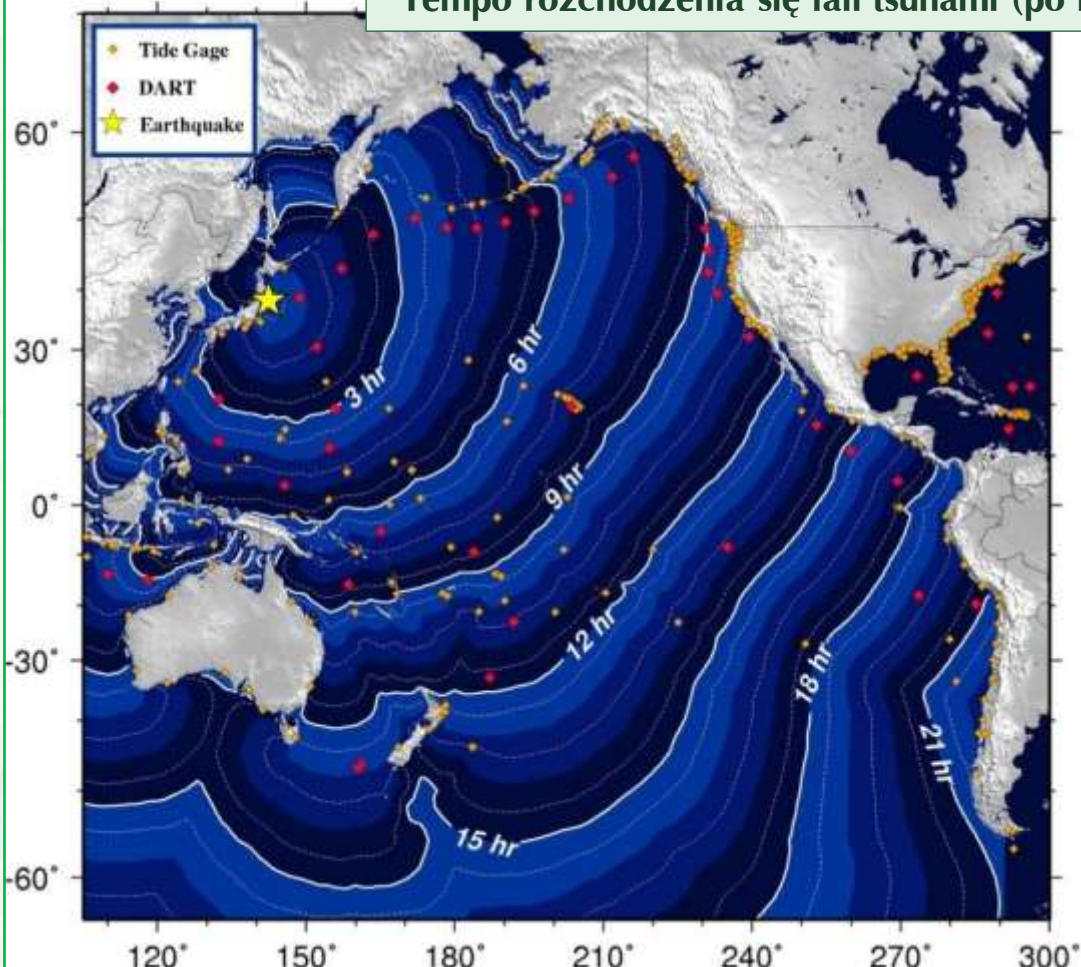
→ I tak najtragiczniejszymi w skutkach były m.in. tsunami powstałe:

→ 27 sierpnia 1883 roku – będące skutkiem wybuchu wulkanu Krakatau w Indonezji,

→ 26 grudnia 2004 roku u wybrzeża Indonezji, Sri Lanki, Indii i Somalii,

→ 11 marca 2011 roku u wybrzeży Honsiu (ponad 15 tys. ofiar śmiertelnych, awaria elektrowni atomowej w Fukushima i duże straty finansowe – tsunami objęło teren rozwinięty gospodarczo i mocno zurbanizowany).

Tempo rozchodzenia się fali tsunami (po lewej) i jej wysokość w czasie tsunami u wybrzeży Honsiu w 2011 r.



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 (byłyby wielokrotnie wyższe gdyby dotknęły bogate kraje).





Wulkanizm

Definicja wulkanizmu

→ **Wulkanizm** – oznacza ogół procesów i zjawisk związanych z wydobywaniem się magmy na powierzchnię Ziemi.

→ Taką magmę wylaną na powierzchnię Ziemi nazywamy **lawą**.

→ Wulkanizm powoduje powstanie wielu charakterystycznych form terenu, takich jak chociażby **stożki wulkanów**.

→ Jest też potężną siłą **niszczącą**.



Wpływ zjawisk wulkanicznych na środowisko przyrodnicze i działalność człowieka

- **Pozytywny wpływ wulkanizmu** na przyrodę i działalność człowieka, polega na tym, że:
 - na skałach i pyłach wulkanicznych tworzą się bardzo **urodzajne gleby**,
 - niektóre skały (np. granity – na nagrobki i bazalty – a dokładniej grys bazaltowy jest najlepszym wypełniaczem mas asfaltowych) są **wykorzystywane w budownictwie** oraz **stanowią ozdoby**,
 - w skałach magmowych **tworzą się liczne złoża**:
 - rudy miedzi, cynku, ołowiu i uranu,
 - na terenach wulkanicznych obecne są **wody termalne** oraz **wody mineralne**,
 - wulkany są ważną **atrakcją turystyczną** (wpływ na rozwój turystyki).



Wpływ zjawisk wulkanicznych na środowisko przyrodnicze i działalność człowieka

- **Negatywny wpływ wulkanizmu** na przyrodę i działalność człowieka, polega na tym, że:
 - jest to żywioł cechujący się niezwykle **dużą siłą niszczącą** (wybuchy wulkanów, mimo rozwoju nauki i techniki są często dla nas dalej zagadką nie do końca rozpoznaną), przyczyniająca się do:
 - **niszczenia dorobku ludzkiego** (budynków, infrastruktury, pól uprawnych, lasów),
 - **występowania rannych i ofiar śmiertelnych** (wskutek uderzenia odłamkiem, zapylenia lub wskutek pośredni, np. pożaru wywołanego przez płynącą lawę i szybko rozprzestrzeniającego się przy silnym wietrze),
 - **zmian w rzeźbie terenu** (powstają wulkany, mogą one eksplodować),
 - **zmian w klimacie** (zapylenie przyczynia się do ograniczenia dostępu promieni słonecznych – w efekcie spadek temperatur),
 - **tsunami** (szczególnie wskutek wybuchów wulkanów podmorskich),
 - **paraliżu w gospodarce** (pyły wulkaniczne co jakiś czas dezorganizują ruch lotniczy);
 - negatywnie oddziałują na życie człowieka poprzez **życie w stanie nieustannego zagrożenia**.

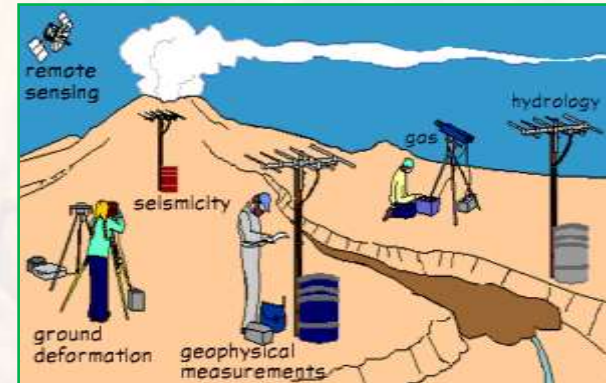


Co możemy zrobić – jak zapobiegać/minimalizować skutki negatywne wulkanizmu

- Wulkanizm, choć cechuje się negatywnymi skutkami trudnymi do wyeliminowania, to człowiek próbuje coraz skuteczniej z nimi walczyć, starając się przede wszystkim minimalizować jego negatywny wpływ poprzez:
 - **monitoring** w obrębie obszarów na których występuje wulkanizm, m.in. z wykorzystaniem badań geofizycznych i geochemicznych, przyczyniający się do wczesnego ostrzegania;
 - **działania profilaktyczne**:
 - **edukowanie i uświadamianie zagrożenia** chętnym do zamieszkania na terenach najbardziej narażonych na negatywne oddziaływanie wulkanów,
 - **szkolenia ludzi na wypadek wystąpienia różnych rodzajów zagrożeń** (co ludzie powinni po kolei robić, jak reagować),
 - **budowanie zabezpieczeń** dla miejscowości, np. osłon w postaci wałów i murów.



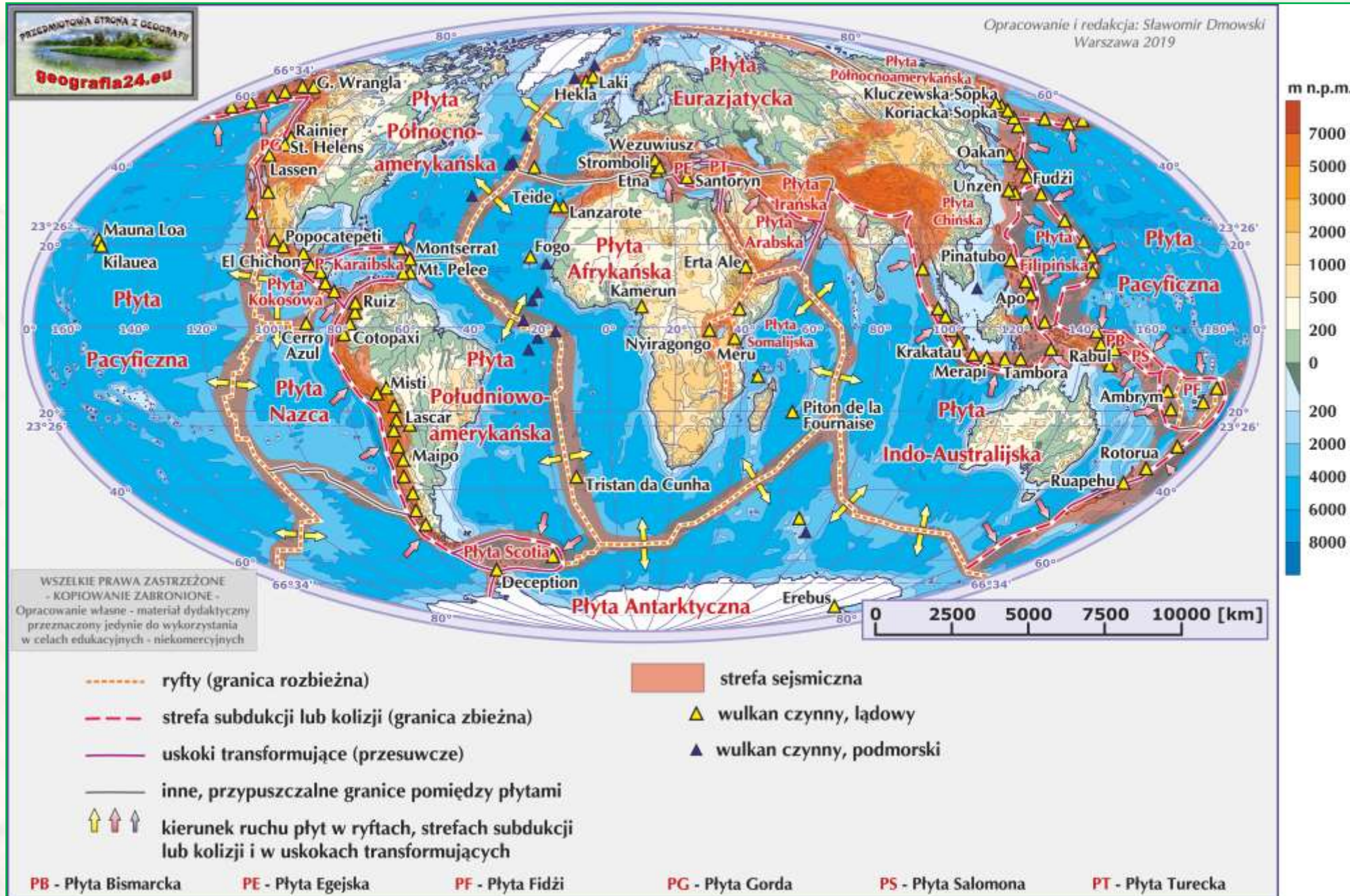
Image Courtesy of USGS KILAUEA VOLCANO Photograph by J.D. Diggs on June 11, 1991



Rozmieszczenie wulkanów na Ziemi

→ Na świecie na obszarach lądowych obecnie czynnych jest **ponad 600 wulkanów**.

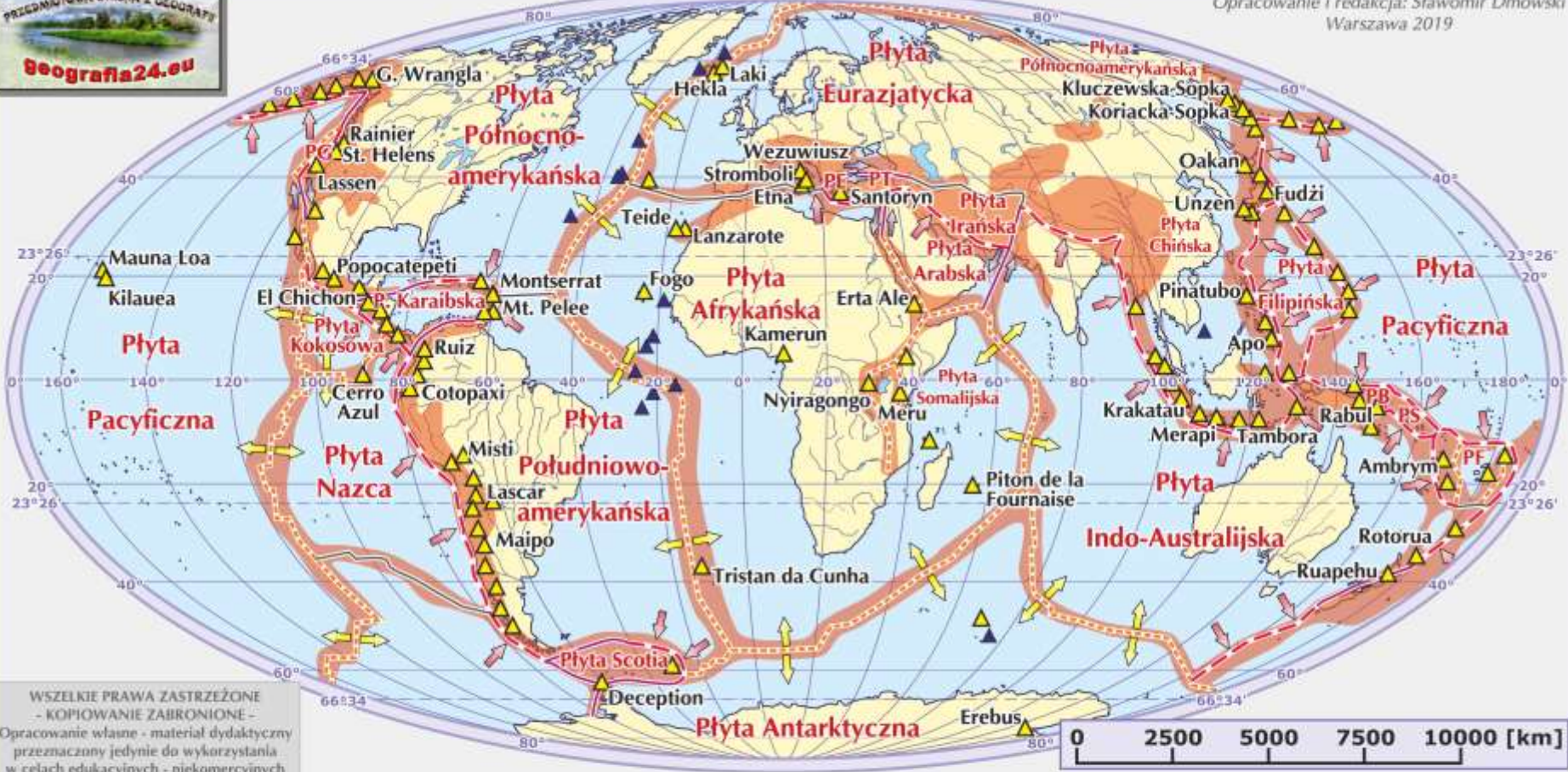
→ Największe nagromadzenie wulkanów występuje na **granicach płyt litosfery** (w strefach subdukcji, kolizji i ryftowych) oraz w obrębie tzw. **plam gorąca**.



Rozmieszczenie wulkanów na Ziemi



Opracowanie i redakcja: Sławomir Dmowski
Warszawa 2019



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

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

Ilościowo – zdecydowana większość z nich występuje w **obrębie dna oceanicznego** – stanowią je głównie małe i stosunkowo mało groźne wulkany podmorskie występujące w obrębie grzbietów śródoceanicznych (**strefa ryftowa**) – tylko nieliczne z nich wystają ponad powierzchnię oceanu (np. w obrębie Islandii: Hekla).

Jakościowo – największe skupisko najaktywniejszych i najgroźniejszych wulkanów znajduje się **na wybrzeżach w strefach subdukcji**, szczególnie w obrębie **Oceanu Spokojnego** w obrębie tzw. **Pacyficznego Pierścienia Ognia** (Ognistego Pierścienia Pacyfiku, Okołopacyficznego Pasa Sejsmicznego).

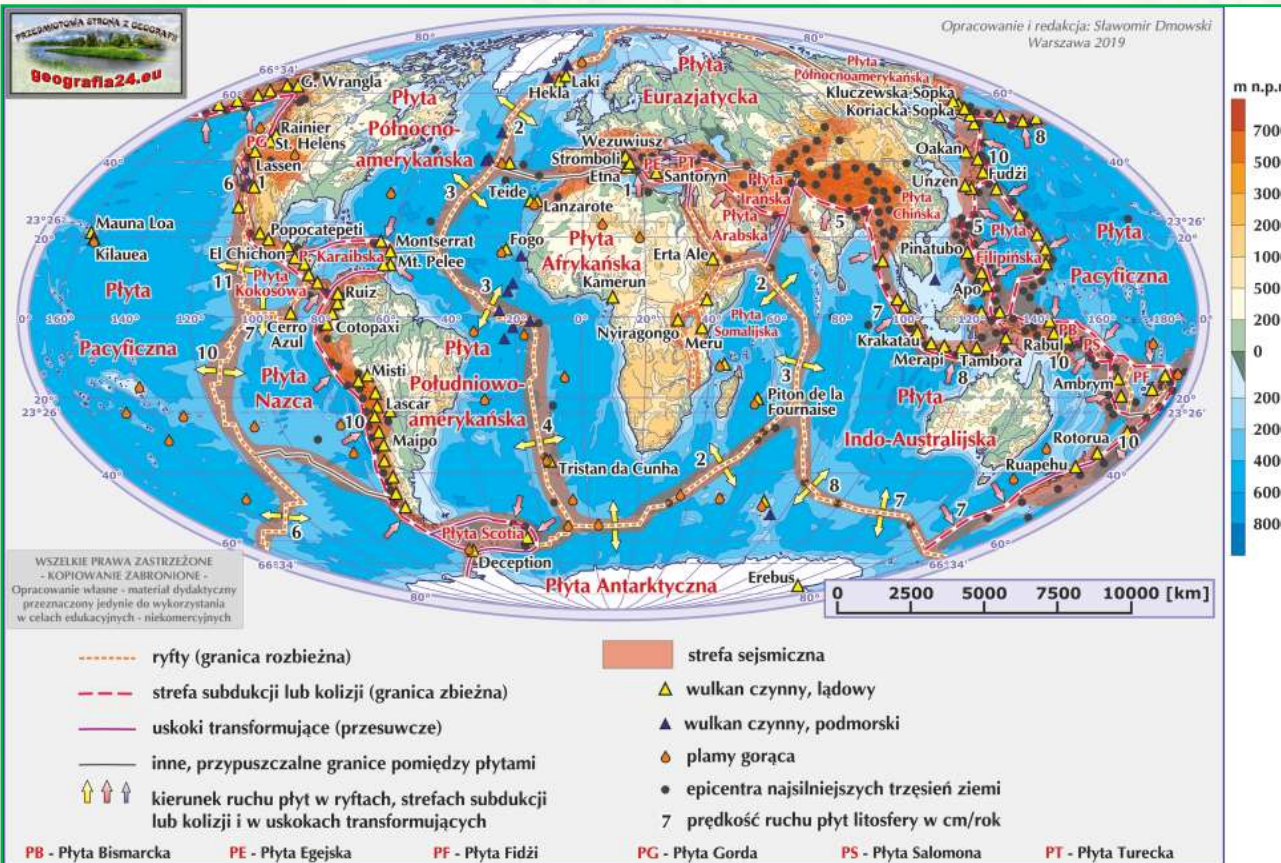
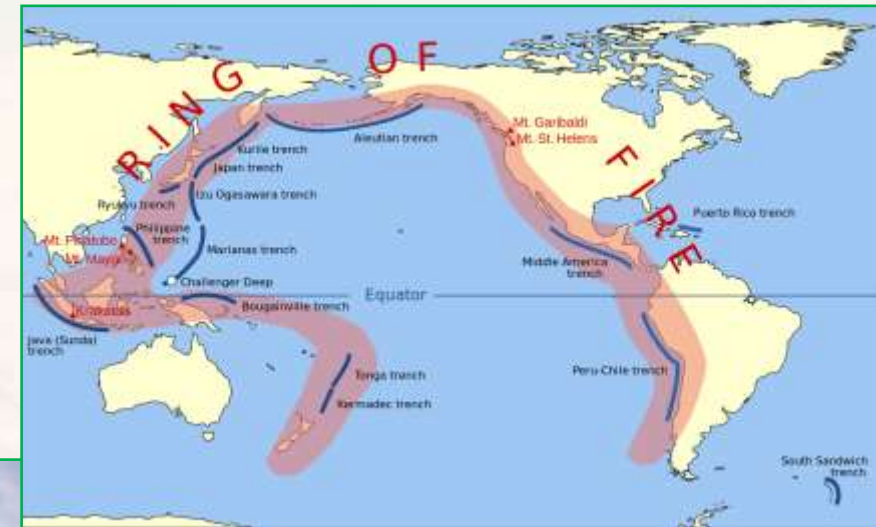
Pacyficzny Pierścień Ognia (Ognisty Pierścień Pacyfiku, Okołopacyficzny Pas Seismiczny)

→ **Pacyficzny Pierścień Ognia** – to strefa w której występuje najwięcej erupcji wulkanicznych (i trzęsień ziemi).

→ Szacuje się, że znajduje się tu 90% czynnych wulkanów lądowych.

→ Ciągnie się ona wzdłuż granic płyt litosfery przy zachodnich wybrzeżach brzegach obu Ameryk, wzdłuż łańcucha wysp Aleuty, wschodniego wybrzeża Azji i Oceanii.

→ Tym samym otacza ona Ocean Spokojny.



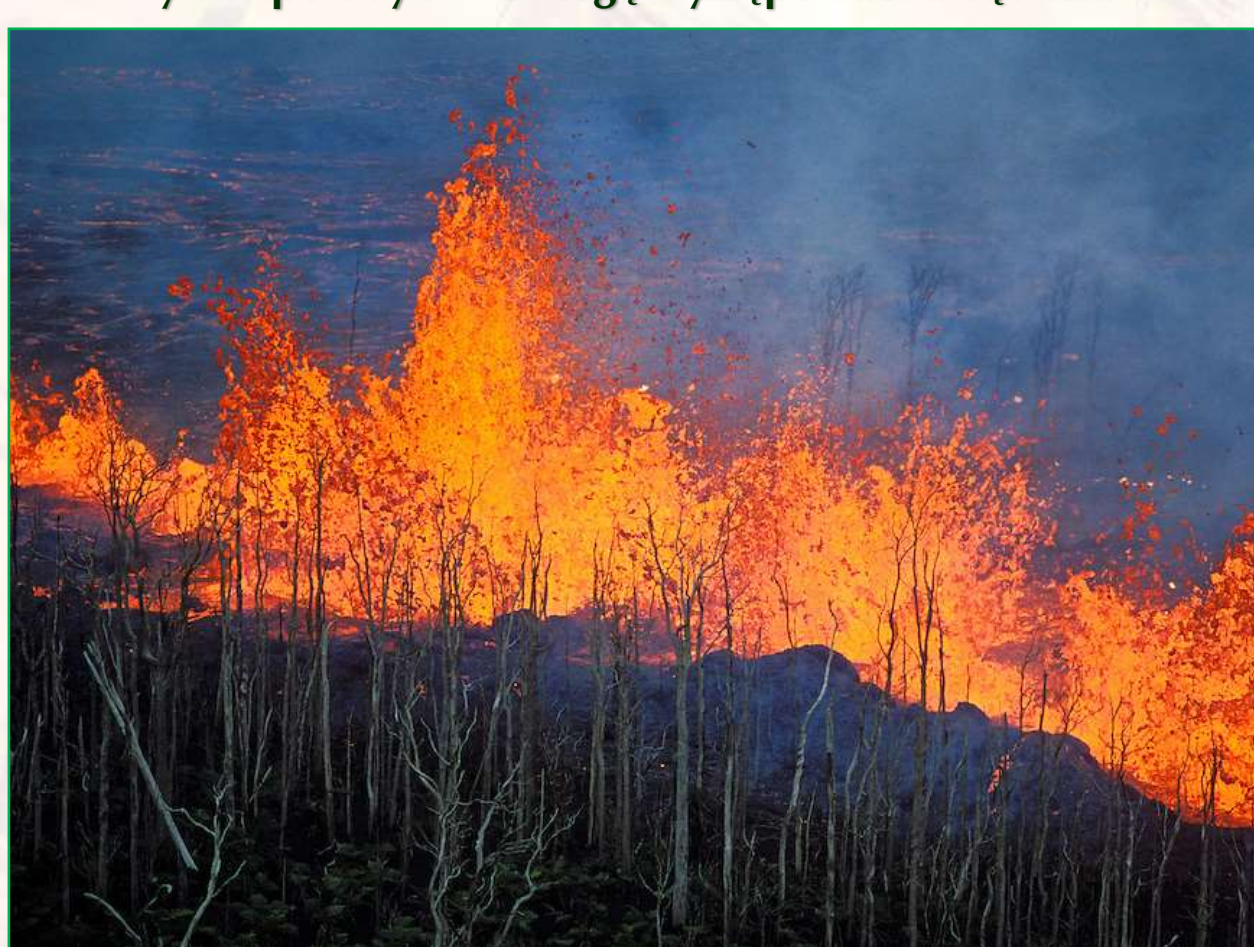
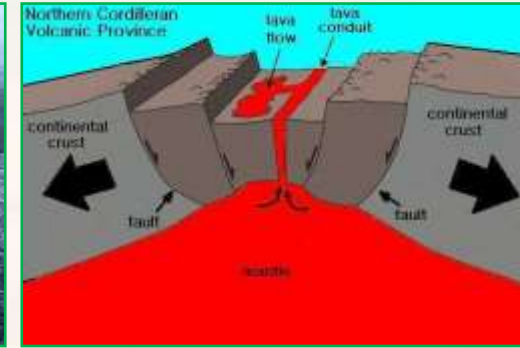
W jaki sposób wydostaje się lava z wulkanu. Typy erupcji

- Wulkanizm bezpośrednio wiąże się z ruchami i budową litosfery.
- Liczne i głębokie pęknięcia w skorupie ziemskiej umożliwiają dość swobodną migrację lawy z tzw. ognisk wulkanicznych w kierunku powierzchni Ziemi, i w rezultacie powstanie wulkanu.
- **Lawa wydostaje się** na powierzchnię poprzez:
 - **wulkanizm centralny** – lava wydobywa się punktowo z komina wulkanicznego zakończonego kraterem,
 - **wulkanizm linijny (szczelinowy)** – lava wydobywa się przez podłużne szczeliny (występuje w strefach ryftowych).



A. Erupcje szczelinowe, linearne lub linijne (wulkanizm szczelinowy)

- **Erupcje szczelinowe (linijne, linearne)** mają zazwyczaj spokojny przebieg i dostarczają ponad 80% materiału wulkanicznego, jaki rocznie trafia na powierzchnię Ziemi.
- Większość wylewów szczelinowych ma miejsce **w strefach ryftowych grzbietów oceanicznych**.
- Tylko sporadycznie mogą występować na lądach.

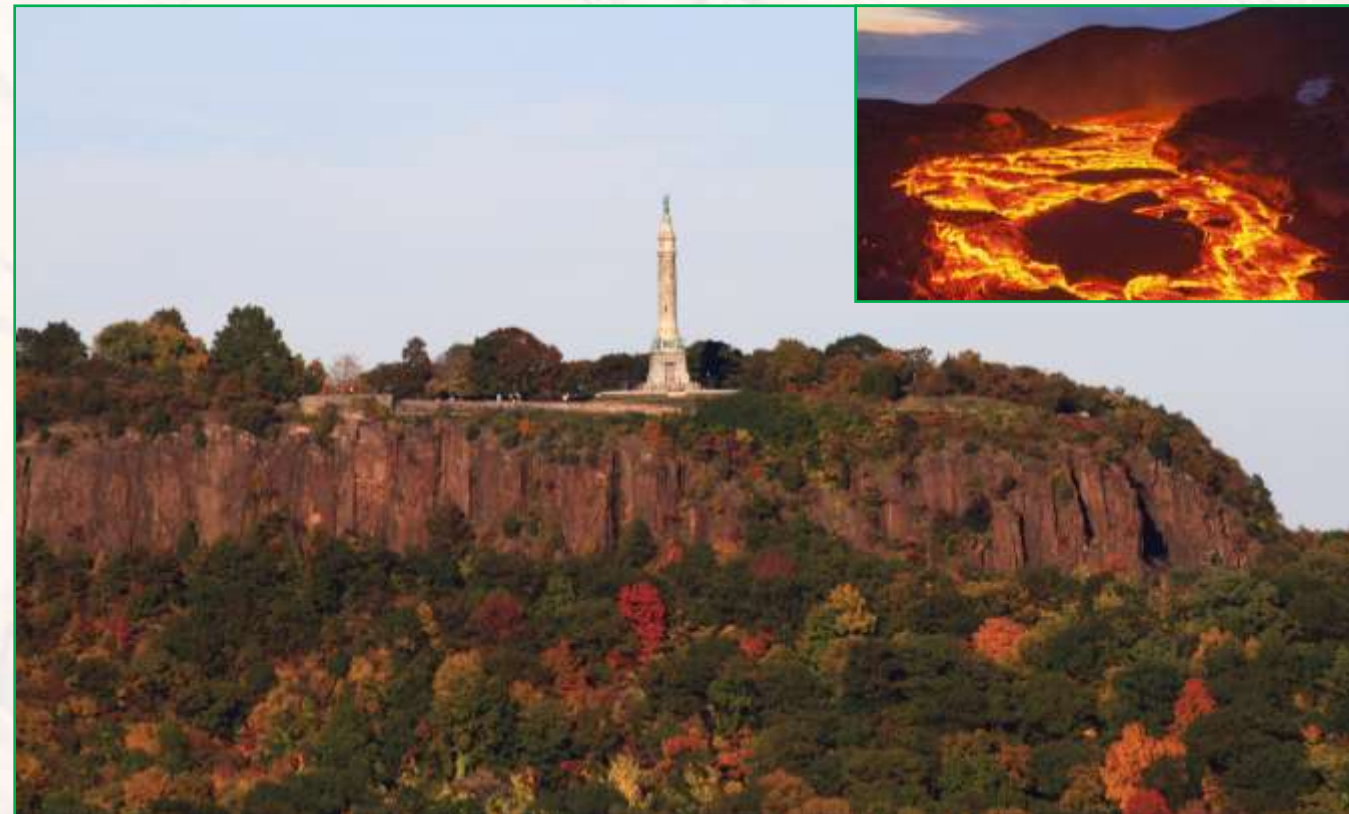


Trapy wulkaniczne – pokrywy lawowe

- Obecnie erupcje linijne (szczelinowe, linearne) występują m.in.: na Islandii, Wyspach Kanaryjskich i Azorach, stanowiących wynurzony wierzchołek Grzbietu Śródatlantyckiego.
- Częściej erupcje szczelinowe występowały w bardziej odległej przeszłości.
 - Zachowały się po nich tylko olbrzymie **płaskowyzę – pokrywy lawowe**, tzw. **trapy wulkaniczne** – historyczne pokrywy lawowe występują m.in. w: Rosji (Trap Syberyjski – największy na świecie), Indiach (Trap Dekański), Brazylii (Trap Parana), USA (Trap Kolumbia) i Etiopii (Trap Wschodnioafrykański).

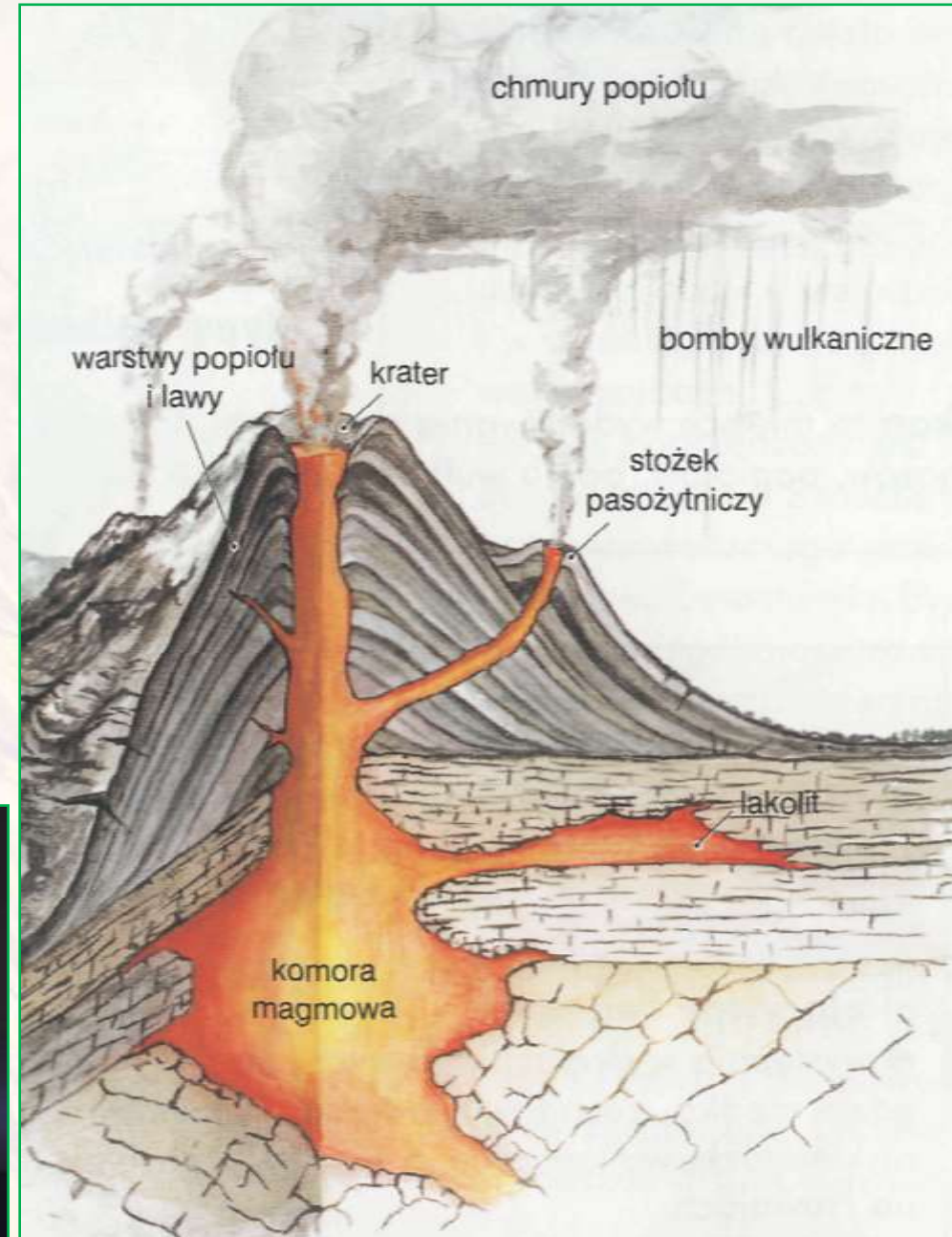


Skutek wulkanizmu linijnego – trap znajdujący się na Półwyspie Indyjskim na wyżynie Dekan (na górze) i na Syberii (na dole)



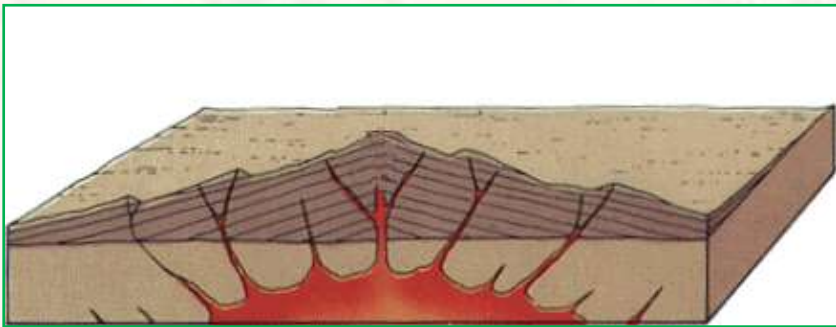
B. Erupcje centralne (wulkanizm centralny)

- **Erupcje centralne** przebiegają punktowo.
- Materiał nagromadzony w **ognisku magmowym** wydostaje się na powierzchnię **kominem wulkanicznym** o różnej długości, zakończonym **kraterem**.
- Wulkany centralne przyczyniają się do powstania:
 - **stożków wulkanicznych** – wzniesień utworzonych z wydobywanej na powierzchnię Ziemi law i innego materiału wulkanicznego (pyłu, piasku);
 - **stożków pasożytniczych** – mniejszych wzniesień, powstających na stokach głównego stożka wulkanicznego, także wskutek erupcji wulkanicznej,
 - czasem zdarza się, że siła ich erupcji może być większa od siły erupcji stożków głównych i po latach stożek pasożytniczy, może przekształcić się w stożek główny.



Kaldera

- Zamiast typowego stożka wulkanicznego w wielu przypadkach występuje rozległe obniżenie, określane jako **kaldera**.
- Kaldery powstają na skutek:
 - zapadnięcia się wulkanu do komory magmowej, w której zmalało ciśnienie,
 - m.in. Krakatau w Indonezji, Crater Lake w stanie Oregon w USA;
 - wysadzenia szczytowej części stożka,
 - np. na skutek wtargnięcia wody morskiej lub jeziornej do komory magmowej.



Fazy aktywności wulkanicznej

→ Wulkanizm charakteryzuje się **fazami różnej aktywności**, które przeplatają okresy długiego spokoju – wulkan przechodzi w stan uśpienia lub wygasa.

→ Poszczególne fazy wynikają np.:

- ze spadku ciśnienia lawy w ognisku,
- ze zmiany położenia wulkanu względem plamy gorąca.

Podział wulkanów ze względu na stan aktywności

CZYNNE	<ul style="list-style-type: none">➤ ciągle lub sporadycznie przejawiają aktywność (wybuchwały one stosunkowo niedawno i ich wybuch został odnotowany w dokumentach)➤ jest ich na świecie ponad 600 (każdego roku około 50 z tej liczby jest w stanie aktywności)	Etna, Wezuwiusz i Stromboli we Włoszech, Hekla w Islandii, Kluczewska Sopka w Rosji, Ruiz w Kolumbii, St. Helens w USA, Mauna Loa i Kilauea na Hawajach, Kamerun w Kamerunie, Cotopaxi w Ekwadorze, Merapi w Indonezji, Pagan (Mariany)
DRZEMIĄCE LUB UŚPIONE	<ul style="list-style-type: none">➤ to wulkany będące w stanie uśpienia➤ działały w historycznych czasach➤ od dłuższego czasu nie przejawiają aktywności, choć w ich obrębie mogą występować wyziewy gazów wulkanicznych (tzw. ekshalacje)➤ potrafią się one uaktywnić nawet po tysiącach lat uśpienia (wtedy ich erupcja zwykle jest stosunkowo gwałtowna)	Fudzi w Japonii, Mauna Kea na Hawajach, Orizaba w Meksyku, Tambora w Indonezji
WYGASŁE	<ul style="list-style-type: none">➤ w czasach historycznych nie były aktywne, co nie oznacza, że nie może dojść w nich do erupcji wulkanicznej (choć już nie powinno)	Kilimandżaro w Tanzanii, Ślęza i Góra Św. Anny w Polsce, Zuidwal w Holandii, Ararat w Turcji i Elbrus w Rosji

Wulkany wygasłe

- **Góra Ararat** – stosunkowo wysoki masyw wulkaniczny, od dłuższego czasu nieaktywny (wysokość bezwzględna: 5137 m n.p.m.), leżący na Wyżynie Armeńskiej w Turcji (blisko granicy z Armenią i Iranem).
 - Wysokość względna (liczona od podnóża góry) wynosi ponad 3000 m.
 - Obecnie Ararat, a w zasadzie dwie złączone góry (Mały i Wielki Ararat), są w górnej części pokryty lodowcem.

Góra Ararat – wygasły masyw wulkaniczny (Turcja)



Wulkany czynne

- **Augustine** – czynny stratowulkan, leżący na wyspie Augustine w Zatoce Cooka na Alasce (blisko Anchorage).
- Wysokość stożka wulkanicznego obecnie wynosi około 1260 m n.p.m.
- Wulkan ten raz na kilkanaście lat “ożywa” i przechodzi wzrost aktywności.
- Ostatnie erupcje były notowane w 1976, 1986, 1994 i 2006 roku.

Augustine – czynny wulkan (Alaska w USA)



Najaktywniejszy wulkan w Europie

- **Etna** – jest obecnie najaktywniejszym wulkanem w Europie.
- Jest to także najwyższy z wulkanów w Europie (wysokość około 3340 m n.p.m.), zaliczany do stratowulkanów.
- Posiada bardzo liczne kratery boczne (stożki pasożytnicze).
- Wulkan ten powstał około 0,5 mln lat temu i począwszy od 2001 roku przechodzi on znaczny wzrost swojej aktywności (od chwili powstania szacuje się, że przeszedł on co najmniej 200 wybuchów).
- Erupcje wystąpiły np.: styczniu 2011 r., grudniu 2015 r., styczniu 2017 r., czerwcu 2019 r. i w lutym 2021 r.



Etna – czynny wulkan (Włochy – Sycylia)

Rodzaje materiału wulkanicznego

- Podczas aktywności wulkanicznej na powierzchnię ziemi wydobywają się cztery podstawowe **rodzaje materiału**:
 - **lawy**,
 - **gazy**,
 - **utwory piroklastyczne**,
 - **porwaki**.



1. Lawa

- **Lawa**, czyli stopiona krzemionka, minerały krzemianowe i tlenki metali.
 - Zawiera ona także gazy wulkaniczne.
- Ze względu na zróżnicowany **skład chemiczny** wyróżnia się kilka **rodzajów law**:
 - **lawa kwaśna** – zawiera dużo krzemionki ($> 65\% \text{SiO}_2$),
 - jest lekka, lecz na tyle lepka, że tworzy czop w kominie wulkanicznym,
 - ciśnienie magmy rośnie wtedy aż do momentu, kiedy zostanie ona uwolniona w gwałtownej erupcji,
 - zazwyczaj płynie bardzo wolno i tworzy krótkie strumienie,
 - powstają stożki o wysokich brzegach;
 - **lawa zasadowa** – zawiera natomiast dużo ciemnych, metalicznych minerałów i dość mało krzemionki ($< 53\% \text{SiO}_2$),
 - jest więc cięższa od lawy kwaśnej, ale bardziej płynna i mniej lepka,
 - tego typu lawa wypływa łagodnie, bez gwałtownych erupcji,
 - może się rozlewać na bardzo dużych powierzchniach, w znacznej odległości od krateru;
 - **lawa obojętna** – posiada cechy pośrednie.



Eksplzja wulkaniczna – **lawa kwaśna**



Eksplzja wulkaniczna – **lawa zasadowa**

2. Gazy

- **Gazy**, głównie para wodna, dwutlenek i tlenek węgla, chlor, wodór oraz związki siarki (dwutlenek siarki, siarkowodór).
- Emisję gazów bez udziału innego materiału określa się jako **ekshalacje wulkaniczne** i w zależności od temperatury wyróżnia się:
 - **fumarole** – obecne na obszarach czynnego wulkanizmu, wyziewy pary wodnej o temperaturze 200-800°C i gazów wulkanicznych m.in.: CO_2 , F_2 , Cl_2 , S_2 , H_2 , N_2 oraz H_2S , HCl , SO_2 i in.;
 - **solfatary** – wulkaniczne wyziewy w obrębie drzemiących wulkanów składające się z przegrzanej pary wodnej o temperaturze 100-200°C, zawierającej związki siarki;
 - **mofety** – ujścia chłodnych gazów wulkanicznych (poniżej 100°C), przeważnie dwutlenku węgla.



Fumarole



Solfatary



Mofety

3. Utwory piroklastyczne

- **Utwory piroklastyczne**, czyli luźne okruchy skalne.
- Ich nazewnictwo odzwierciedla wielkość **odłamków skalnych**:
 - **bomby** (owalne i kuliste) i **bloki wulkaniczne** (kanciaste) – długości przynajmniej 5 cm, są to duże strzępy lawy zastygłe w powietrzu i osiągające rozmiary ponad 1 metra;
 - **lapille** – tzw. małe kamyki, czyli fragmenty o długości od 2 mm do 5 cm, na ogół o pokroju kulistym, bryłki zastygłej lawy wyrzucanej w powietrze podczas erupcji wulkanu;
 - **piasek** (0,1-2 mm) i **pył wulkaniczny** (< 0,1 mm) – tworzący tzw. **popiół wulkaniczny**, który może być:
 - **tufem** – jeżeli został osadzony na lądzie,
 - **tufitem** – jeżeli został osadzony w środowisku wodnym (np. w morzu);
 - pył wulkaniczny może być przenoszony na bardzo duże odległości;
 - **pumeks** – utwór bardzo silnie porowaty i lekki, powstający ze strzępów gorącej i pieniającej się lawy, zawierającej dużą ilość gazów,
 - stąd obecność wielu pęcherzyków powietrza przyczyniających się do stosunkowo małej gęstości pumeksu, mniejszej niż np. samej wody.



Bomba wulkaniczna



Bomba wulkaniczna – długości przynajmniej 5 cm, są to duże strzępy lawy zastygłe w powietrzu i osiągające rozmiary ponad 1 metra.

Lapille



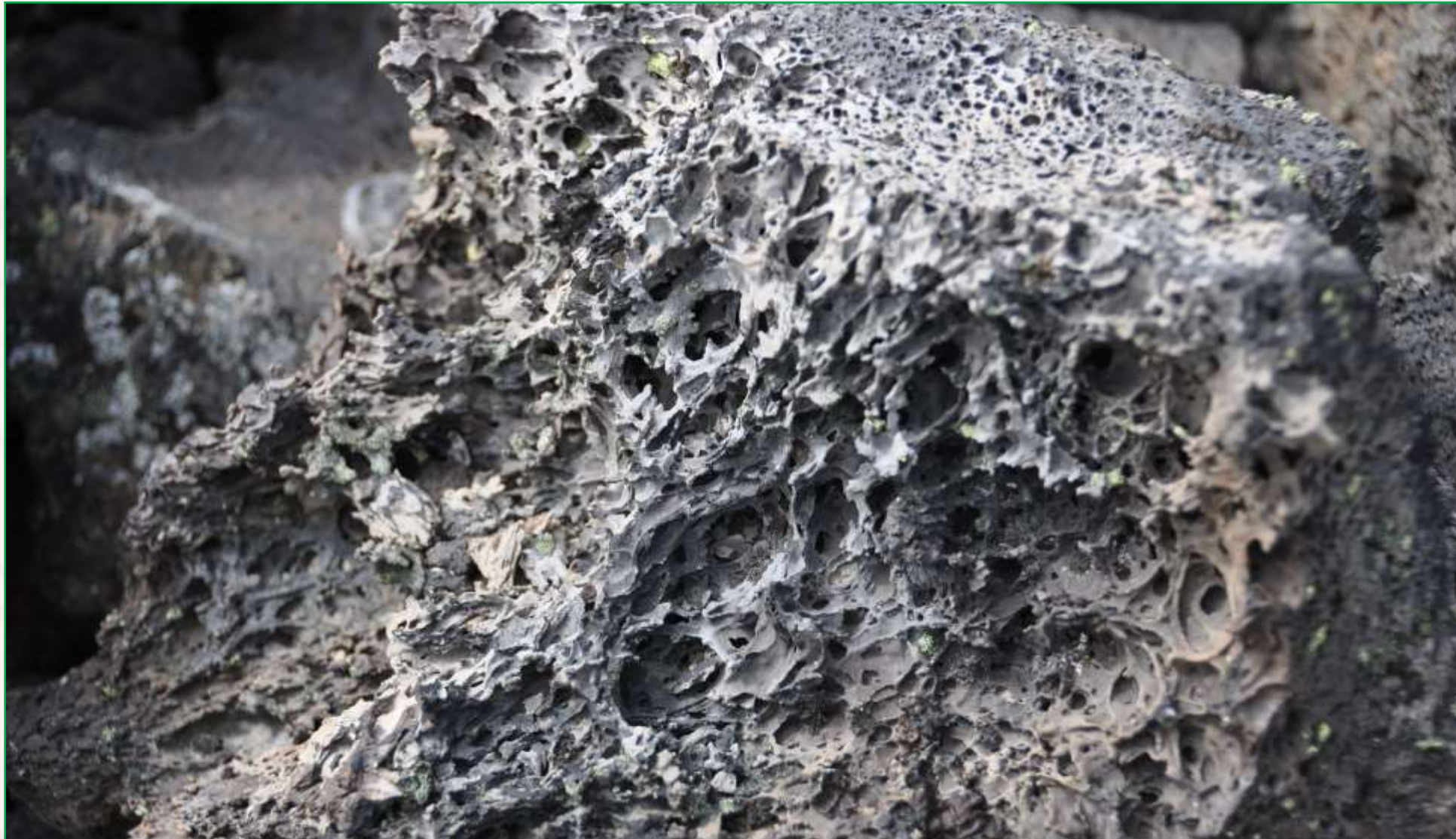
Lapille – tzw. małe kamyki, czyli fragmenty o długości od 2 mm do 5 cm, na ogół o pokroju kulistym, bryłki zastygłej lawy wyrzucanej w powietrze podczas erupcji wulkanu.

Piasek i pył wulkaniczny



Czarna plaża wulkaniczna
Plaża zawiera **piasek wulkaniczny** (0,1-2 mm) i **pył wulkaniczny** (< 0,1 mm) – tworząc popiół wulkaniczny, który może być:
tufem – jeżeli został osadzony na lądzie,
tufitem – jeżeli został osadzony w środowisku wodnym (np. w morzu).

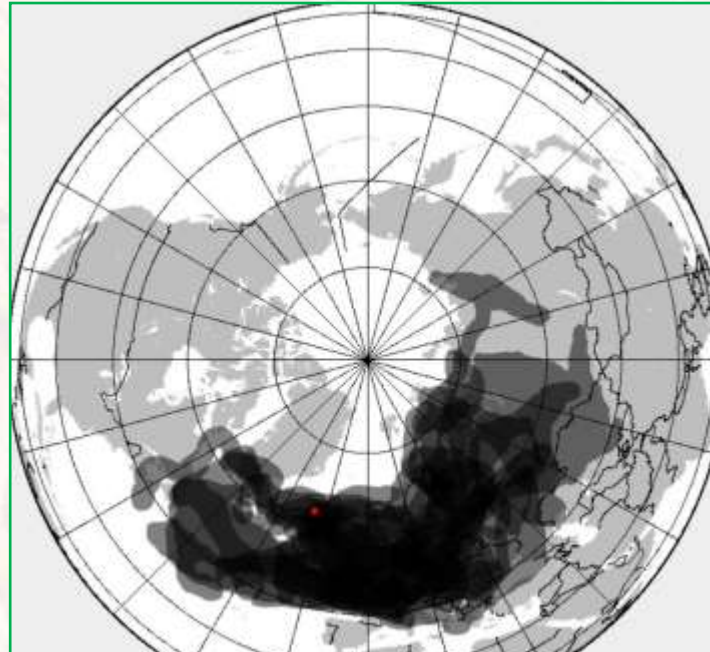
Pumeks



Pumeks – utwór bardzo silnie porowaty i lekki, powstający ze strzępów gorącej i pieniającej się lawy, zawierającej dużą ilość gazów, stąd obecność wielu pęcherzyków powietrza przyczyniających się do stosunkowo małej gęstości pumeksu, mniejszej niż np. samej wody (materiał w czasie pienia się stygnie i przemienia się w skałę).

Jakie mogą być skutki wydobywającego się pyłowego materiału wulkanicznego

- Wiemy już, że wydobywający się materiał wulkaniczny może mieć różne właściwości.
- Może on także przyczynić się do bardzo niekorzystnych skutków dla człowieka.
- I tak właśnie było po erupcji wulkanu Eyjafjallajökull na Islandii o którym tygodniami mówił cały świat.
- Wtedy właśnie ruch lotniczy musiał zostać wstrzymany, ponieważ pyły wydostające się z wulkanu z chmurami przykryły znaczną część nieba nad Europą.
- Pył stanowił zagrożenie dla silników samolotów (podróże samolotami przez chmury zawierające pył groziły katastrofą) – dla bezpieczeństwa wszystkich nikt nie chciał ryzykować dopuszczając ruch lotniczy nad Europą.
- Ten dość mały wulkan był w stanie wyrzucać w powietrze aż 400 ton pyłów na sekundę!



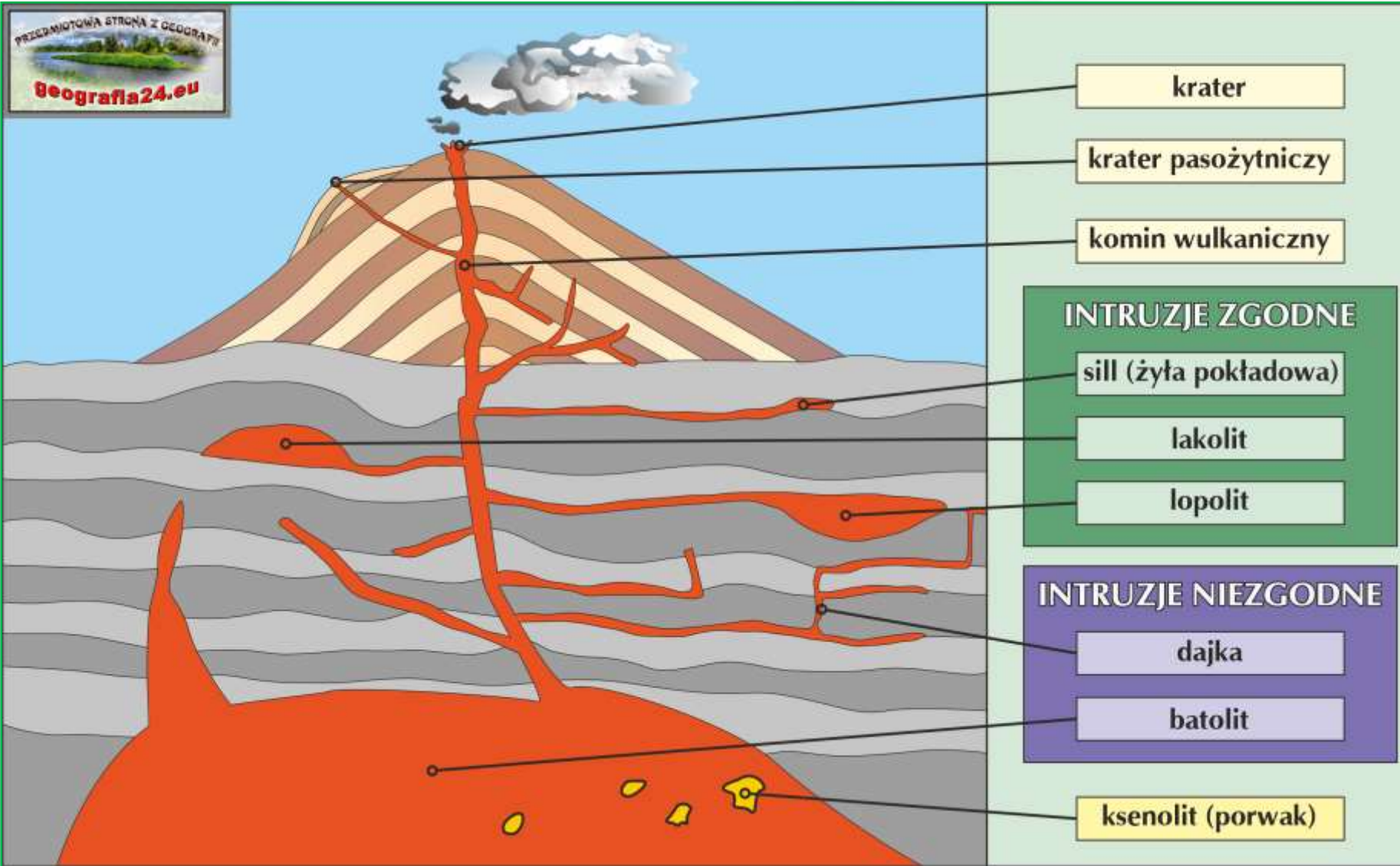
Chmura pyłowa na półkuli północnej (po lewej) i jej zasięg (na mapie po środku) oraz samochody na Islandii pokryte pyłem po erupcji wulkanu Eyjafjallajökull w kwietniu 2010 roku

4. Porwaki (ksenolity)

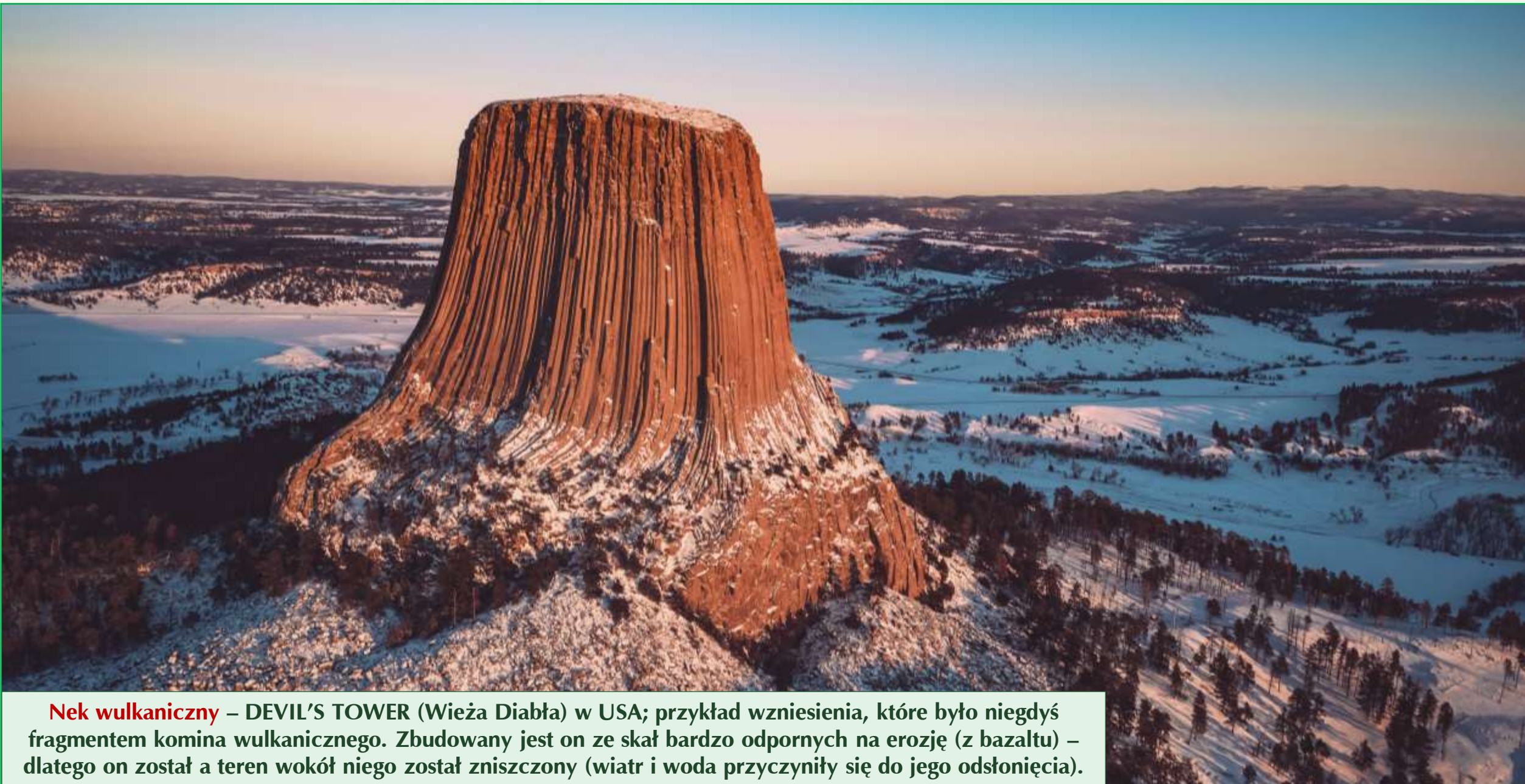
- **Porwaki (ksenolity)** są to oderwane fragmenty skał budujących ściany komina wulkanicznego:
 - odrywane przez przemieszczającą się ku powierzchni lawę i następnie wyrzucane z wulkanu.



Porwak (ksenolit)



Jak jeszcze może wyglądać materiał wulkaniczny ???



Nek wulkaniczny – DEVIL'S TOWER (Wieża Diabła) w USA; przykład wzniesienia, które było niegdyś fragmentem komina wulkanicznego. Zbudowany jest on ze skał bardzo odpornych na erozję (z bazaltu) – dlatego on został a teren wokół niego został zniszczony (wiatr i woda przyczyniły się do jego odświeżenia).

Podział wulkanów ze względu na rodzaj materiału dominującego w erupcji wulkanicznej

→ Na podstawie rodzaju materiału dominującego w erupcji wulkany dzieli się na:

→ **wulkany efuzywne (lawowe, hawajskie):**

→ wydobywa się z nich głównie lawa;

→ należą do nich ze względu na kształt wulkanu:

→ wulkany tarczowe,

→ wulkany linijne (szczelinowe);

→ **wulkany eksplozywne:**

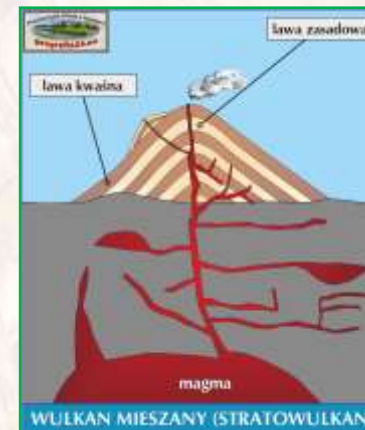
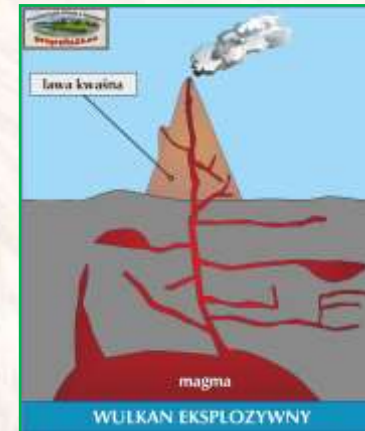
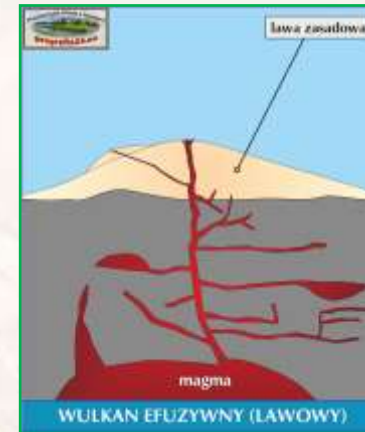
→ wyrzucają gazy, pyły i popioły wulkaniczne;

→ należą do nich ze względu na kształt wulkanu:

→ wulkany stożkowe;

→ **stratowulkany (tzw. wulkany mieszane):**

→ u których gwałtowne erupcje przeplatane są spokojnymi wylewami lawy.



1. Wulkany efuzywne (lawowe) (hawajskie)

→ **Wulkany efuzywne (lawowe, hawajskie)** – powstają najczęściej wskutek powolnego krzepnięcia, szybko płynącej, rzadkiej lawy zasadowej, pozbawionej niemal gazów wulkanicznych, przyczyniając się do tworzenia rozległych i płaskich wzniesień, będących **wulkanami tarczowymi** (np. Mauna Loa na Hawajach).

→ W przypadku gdy z wulkanu efuzywnego wydobywa się lava kwaśna powstają tzw. **kopuły lawowe** (np. wulkan Merapi na Jawie).

→ Wybuchają one dość często i cechują się spokojnym przebiegiem erupcji.

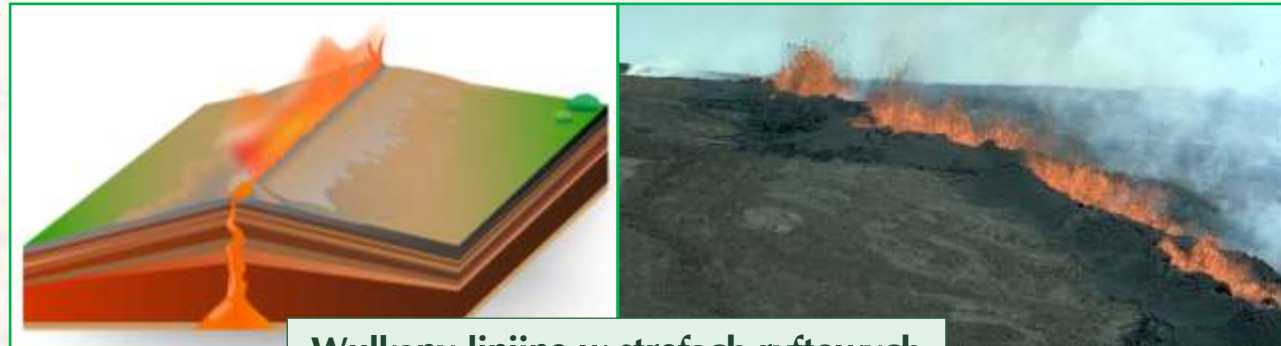
→ Występują one najczęściej:

→ w **strefach ryftowych**, w których tworzą się głównie **wulkany linijne (szczelinowe, linearne)**:

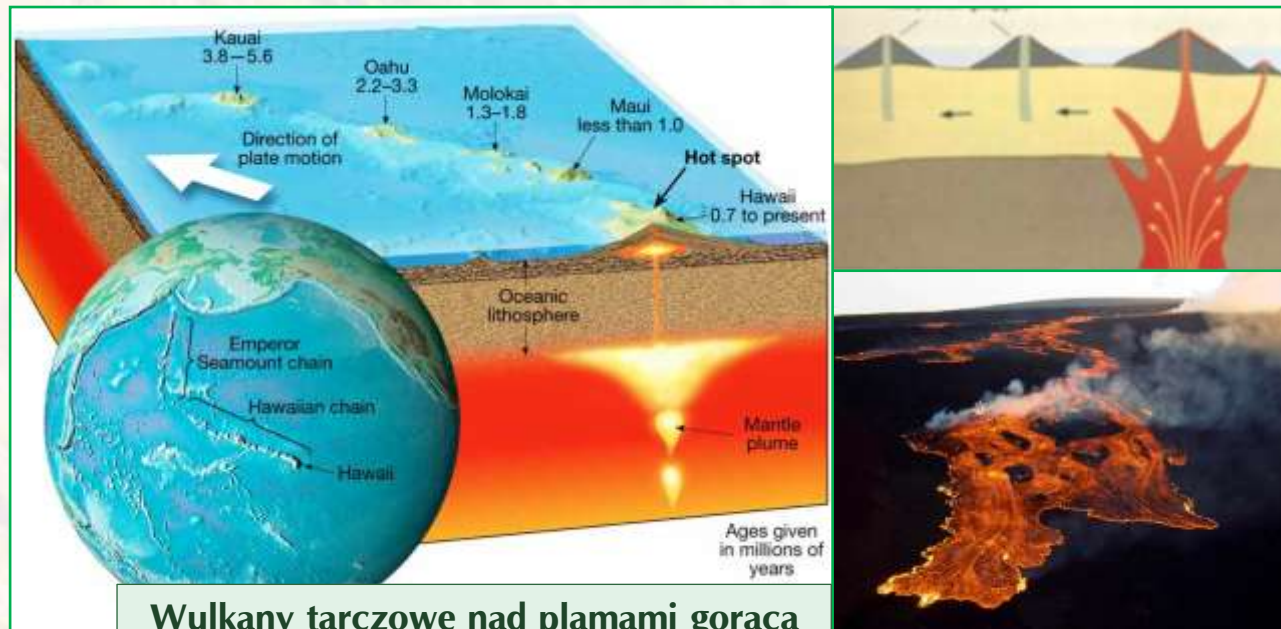
→ np. Hekla na Islandii;

→ nad **plamami gorącymi** w obrębie tzw. **pióropuszy ciepła**, nad którymi powstają głównie **wulkany tarczowe**:

→ Mauna Loa i Kilauea na Hawajach.

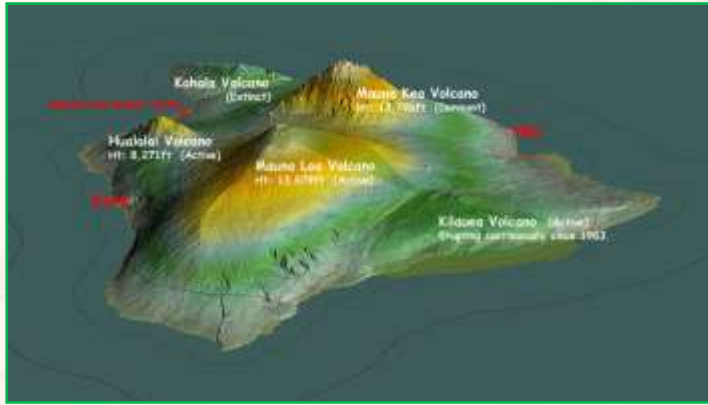


Wulkany linijne w strefach ryftowych



Wulkany tarczowe nad plamami gorącymi

Wulkany efuzywne (lawowe) (hawajskie) – wulkan tarczowy na plamie gorąca



Mauna Loa i leżąca obok **Mauna Kea** (Hawaje) – najwyższe na świecie wulkany tarczowe, wynurzające się z oceanu:

- na wysokość 4169 m n.p.m. (+ 4975 m ukrytych pod wodą) w przypadku Mauna Loa,
- na wysokość 4205 m n.p.m. (+ 5998 m ukrytych pod wodą) w przypadku Mauna Kea – dlatego często zwana jest największą górą na świecie.

Z daleka wyglądają na niskie – ale są one bardzo rozległe ze względu na daleko rozplywające się potoki law zasadowych.

Wulkany te położone są nad plamą gorącą, w obrębie tzw. pióropusza ciepła.

Wulkany efuzywne (lawowe) – wulkan linijny w strefie ryftowej

Hekla (Islandia)



Holuhraun (Islandia)



2. Wulkany eksplozywne

- **Wulkany eksplozywne** – wyrzucają niemal tylko materiał piroklastyczny.
- Ich stożki są stosunkowo strome.
- Na świecie jest ich stosunkowo niewiele – występują najczęściej w **strefach subdukcji**.
- Budująca je głównie kwaśna, gęsta lava, która często zatyka komin wulkaniczny, powoduje gwałtowne wtórne erupcje, np. Kluczewska Sopka (Kamczatka, Rosja), Aqua (Gwatemala), Mayon (Filipiny), Mt. Pele (Martynika).
- Z wulkanów tych po wielu latach ich nieaktywności pozostają tzw. **maary** – będące lejkowatymi zagłębieniami otoczonymi wałem tworzonym przez popioły wulkaniczne.



Kluczewska Sopka (Rosja)



Aqua (Gwatemala)



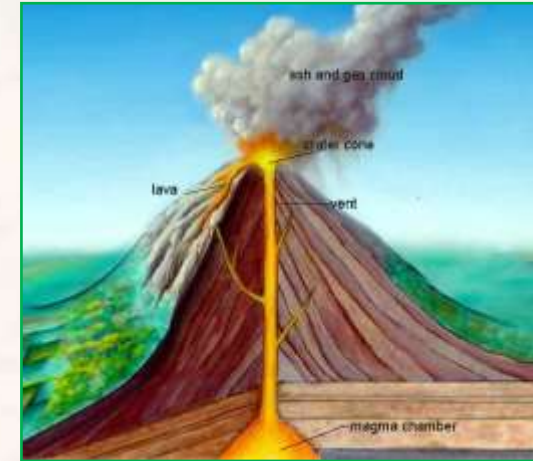
Maary w Górach Eifel (Niemcy)

3. Stratowulkany (wulkany mieszane)

→ **Stratowulkany** – są najczęściej występującymi na Ziemi wulkanami w których gwałtowne erupcje przeplatane są spokojnymi wylewami lawy, co powoduje, że stożek wulkaniczny składa się z ułożonych na przemian:

- materiałów piroklastycznych (popiołów i pyłów wulkanicznych),
- warstw zastygłej lawy.

→ Do stratowulkanów należą: Etna, Wezuwiusz i Stromboli we Włoszech, Misti w Peru, Pinatubo w Filipinach, Fudzi w Japonii, Pico de Teide w Hiszpanii (Wyspy Kanaryjskie), Cotopaxi w Ekwadorze i Erebus na Antarktydzie.



Etna (Włochy)



Fudzi (Japonia)

Stratowulkany (wulkany mieszane)

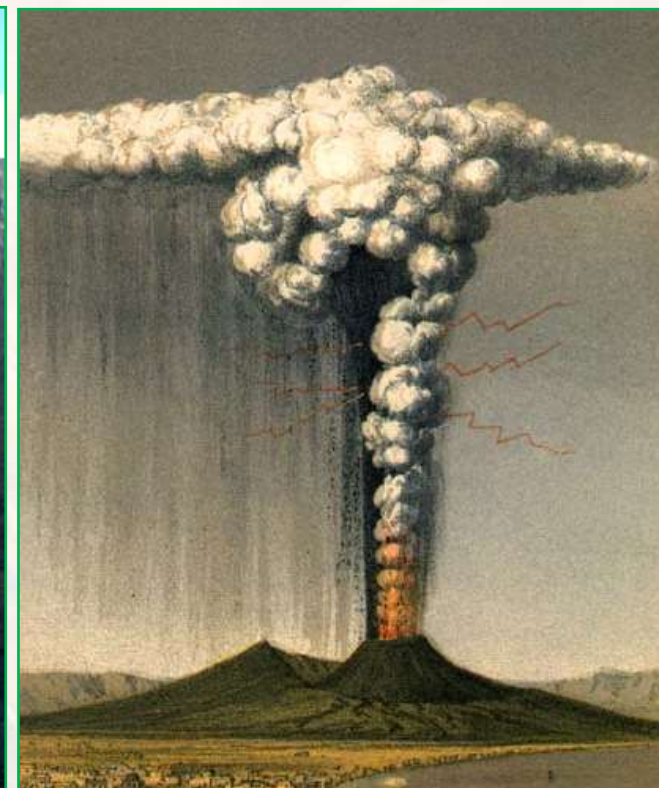
- **Wezuwiusz** (Włochy) – stratowulkan o wysokości 1281 m n.p.m., leżący nad Zatoką Neapolitańską we Włoszech.
- Od około 16 tys. lat przejawia on okresowo przejawy wzmożonej aktywności (ostatnio szczególnie w XVII-XIX wieku).
- Obecny stożek wulkaniczny leży w obrębie kaldery powstałej w czasie wybuchu z 79 roku n.e. (skutkiem było słynne zniszczenie Pompei).
- W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat nie odnotowano żadnego większego wybuchu (ostatni wybuch większy miał miejsce w 1944 roku).



Widok na Wezuwiusza z Pompejów



Wezuwiusz wewnątrz



Rekonstrukcja 14-kilometrowego słupa erupcji Wezuwiusza w 1822 r.



Widok na Wezuwiusza



Leje krasowe

Leje krasowe

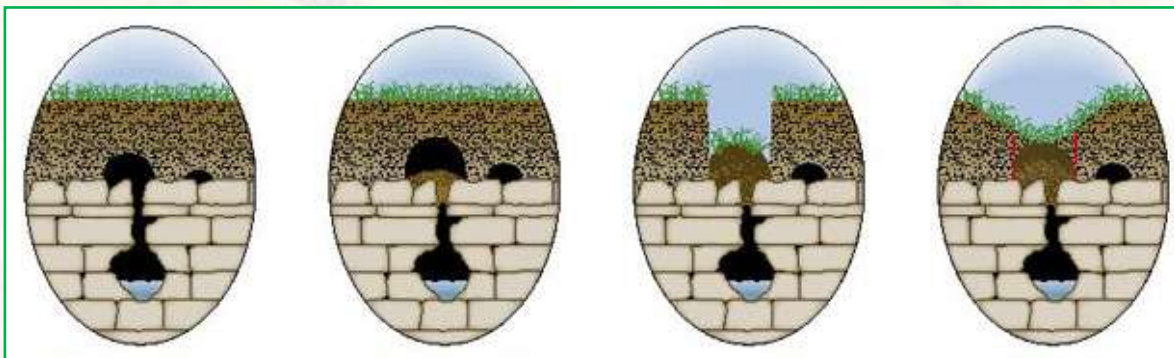
- **Leje krasowe (lejki krasowe)** – są formami charakterystycznymi dla krajobrazów krasowych.
- Powstają na powierzchniach zbudowanych ze skał węglanowych, gipsowych lub siarczanowych (wapień, dolomit, gips czy halit).
- Od rodzaju tych skał zależy tempo formowania się oraz rozmiary lejów.
- Mają kolisty lub owalny zarys i zwykle występują w skupiskach.
- Najczęściej spotykanymi lejami są te o łagodnie nachylonych zboczach i średnicy do kilkudziesięciu metrów.



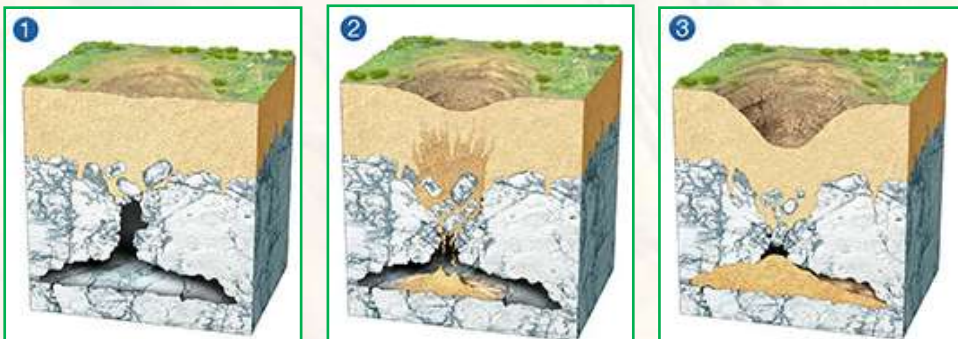
Powstawanie lejów krasowych

→ Leje krasowe powstają i rozwijają się nieco odmiennie w zależności od charakteru podłoża skalnego.

→ Często powstawaniu lejów krasowych (zjawisku krasowienia) towarzyszy proces sufozji polegający na wymywaniu drobnego materiału skalnego przez przemieszczającą się wodę spękaniem w skałach.



1. Wskutek rozpuszczania skał węglanowych (np. wapieni) – następuje powiększanie się podziemnych komór do których z kolei dostają się nierozpuszczalne osady (np. piaski, ropy i inne) – powoduje to osiadanie warstwy powierzchniowej (powstaje typowy dość łagodny i symetryczny w przekroju lej, porośnięty trawą lub/i lasem).



2. Wskutek rozpuszczania skał węglanowych (np. wapieni) – następuje jednak powiększanie się podziemnych komór, które z kolei się zapadają i tworzą znacznie większe formy (nawet do 100 m głębokości) o bardziej nierównomiernych zboczach.

Leje krasowe

- Występowanie lejów krasowych urozmaica krajobraz, zwykle nie stanowiąc zagrożenia.
- Jednak w niektórych miejscach na Ziemi mogą tworzyć się **megaleje krasowe**, których średnica oraz głębokość osiągnęły nawet po kilkaset metrów.
- Ich nagłe pojawienie się może mieć katastrofalne skutki i zaliczane jest do geozagrożeń.



Występowanie lejów krasowych

- Procesy krasowe są zjawiskiem dość powszechnym, dlatego leje występują w wielu regionach świata.
- Są jednak takie miejsca, gdzie formy te powstają wyjątkowo często lub wyróżniają się swoimi gigantycznymi rozmiarami (powstają one czasem w ściśle określonych momentach roku, np. po dużych opadach deszczu).
- Najbardziej spektakularne formy spotkać możemy w Brazylii, Wenezueli, Belize, Meksyku, Stanach Zjednoczonych, a także w Indonezji, Chinach czy Japonii.
- Mniejsze formy powstają także w Polsce, np.: w Tatrach (w skałach wapiennych), na Wyżynie Lubelskiej i Polesiu Lubelskim (w skałach kredowych) oraz Niece Nidziańskiej (w skałach gipsowych).



Skąły ulegające krasowieniu/potencjalne występowanie krasu

nieodslonięty/odsłonięty kras	warstwy nieciągłe/nieciągłości skał węglanowych	warstwy nieciągłe/nieciągłości ewaporatów
warstwy ciągłe skał węglanowych	warstwy ciągłe ewaporatów	skały ewaporatowe i węglanowe





Ograniczanie skutków geozagrożeń geologicznych

Ograniczanie skutków zagrożeń geologicznych

- O ograniczaniu skutków zagrożeń geologicznych mówiliśmy już wcześniej przy omawianiu niektórych zagrożeń geologicznych.
- Obejmowały one następujące formy działań:
 - działania związane z **prognozowaniem katastrof** oraz **sprawną ewakuacją i edukowaniem** mieszkańców zagrożonych terenach (różnorodne działania edukacyjne uczące właściwych zachowań, prowadzone nawet już w przedszkolach),
 - **monitorowanie fal sejsmicznych** (za pomocą seismografów) w regionach występowania trzęsień ziemi,
 - **kontrowanie aktywności wulkanicznej** przez bezpośrednią obserwację i specjalistyczne czujniki,
 - **monitorowanie sieci czujników** umieszczanych na specjalnych bojach i na dnach oceanów w regionach występowania tsunami.



KONIEC



Materiały pomocnicze do nauki
Opracowane w celach edukacyjnych (niekomercyjnych)

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

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE
- KOPIOWANIE ZABRONIONE -