



V. Litosfera. Procesy wewnętrzne

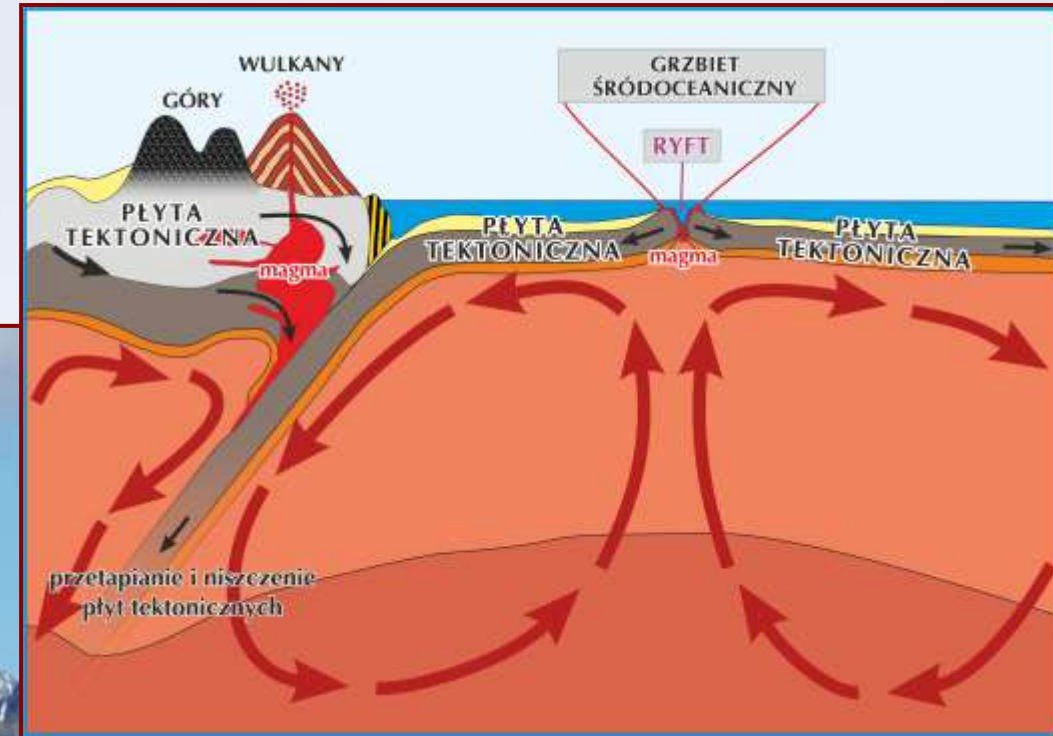
3. Plutonizm, wulkanizm i trzęsienia ziemi



Plutonizm jako proces endogeniczny

Plutonizm i efekty jego działania

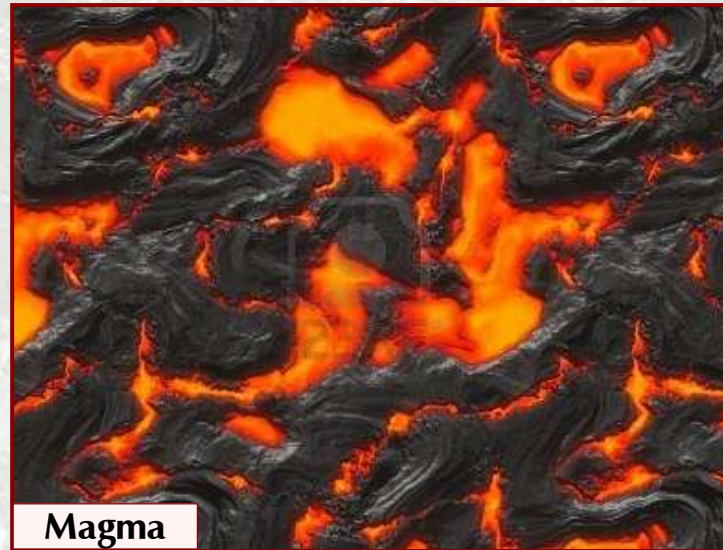
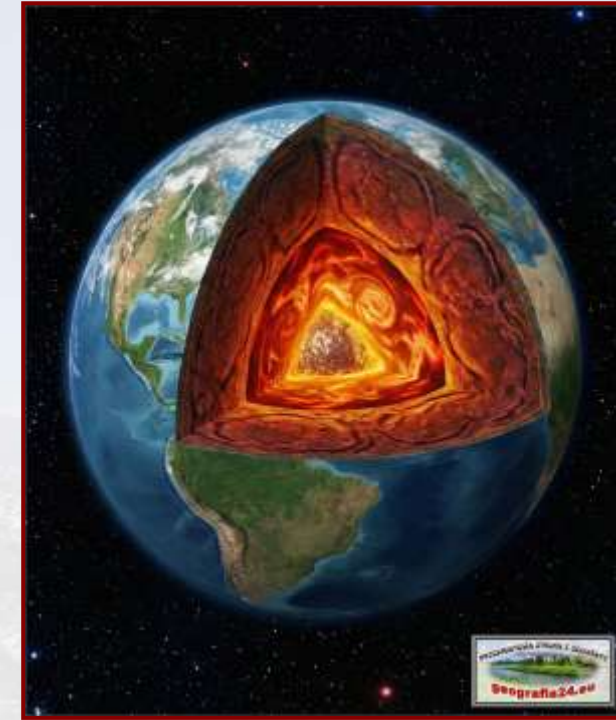
- 🌐 **Skąły plutoniczne**, powstałe w wyniku **powolnego zastygania magmy**, czasem tworzą **masywy górskie**.
- 🌐 Zastygłe pod powierzchnią Ziemi skały, zbudowane najczęściej z **granitu**, w wyniku **ruchów górotwórczych** zostają **wypiętrzone**.
- 🌐 W Polsce proces taki przeszedł **Tatry Wysokie**.



Magma

🌐 **Magma** – płynny stop występujący pod powierzchnią Ziemi, zawierający m.in.:

- 🌐 **krzemionkę** (SiO_2) – najważniejszy składnik,
- 🌐 **tlenki glinu, żelaza, magnezu, wapnia,**
- 🌐 **wiele innych związków chemicznych.**
- 🌐 Często magma zawiera wiele **składników lotnych**, m.in.:
 - 🌐 **parę wodną i tlenki węgla.**
- 🌐 Temperatura magmy wynosi zwykle $700\text{-}900^\circ\text{C}$, a czasem nawet potrafi przekraczać 1200°C .
- 🌐 Magma krzepnie w pewnym przedziale temperatury uzależnionym od temperatury krystalizacji poszczególnych minerałów.
- 🌐 W skałach bogatych w krzemionkę krystalizację kończy zwykle kwarc.



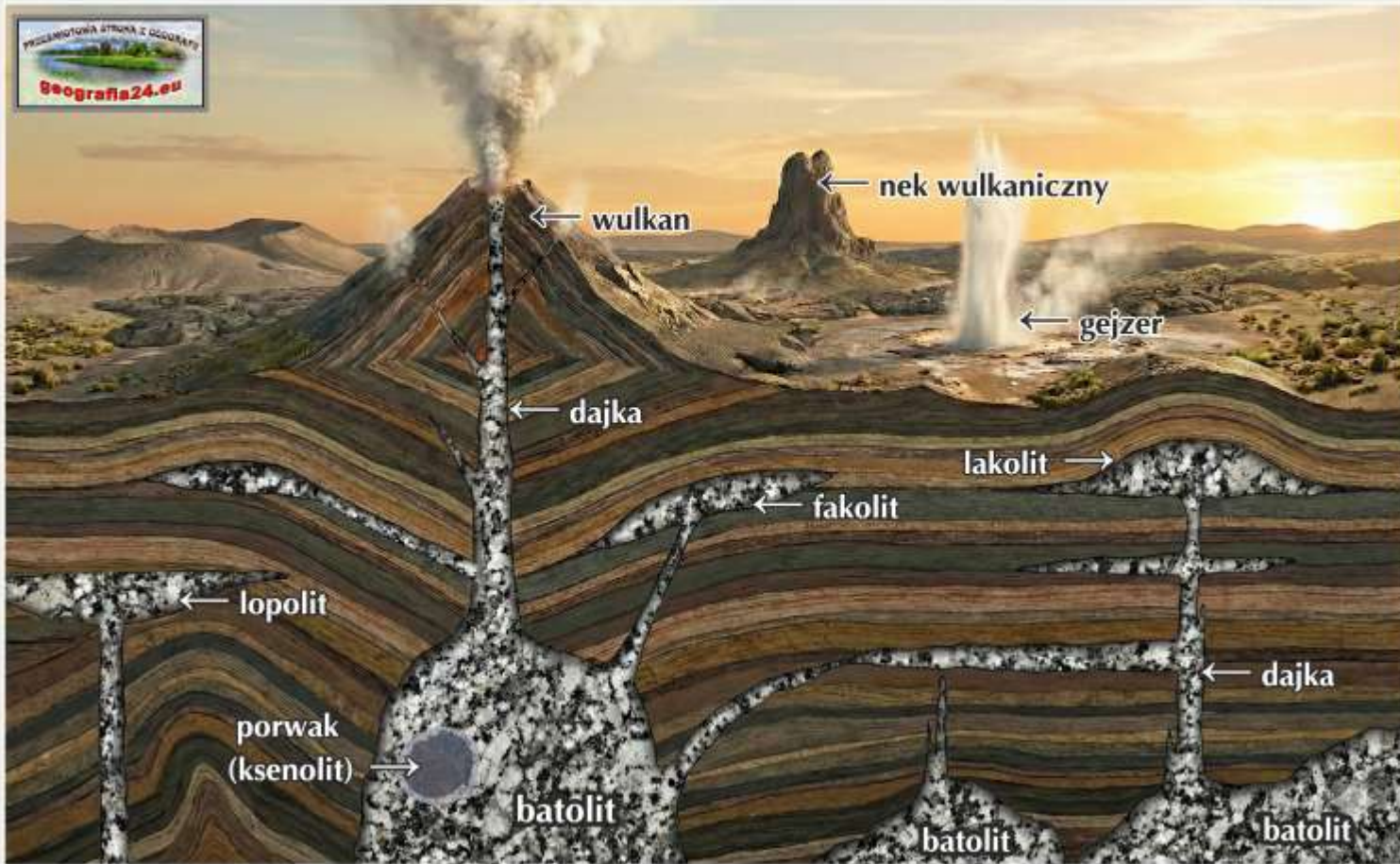
Magma



Intruzje magmatyczne i ich główne rodzaje

- 🌐 **Krzepnięcie magmy w otoczeniu istniejących już skał** prowadzi do powstawania **intruzji magmatycznych**, czyli ciał skalnych występujących w obrębie skał starszych.
- 🌐 **Intruzja** inaczej jest to wdarcie się magmy w obręb skorupy ziemskiej bez wydostania się na powierzchnię Ziemi.
- 🌐 Ich budowa wewnętrzna informuje o tempie oddawania ciepła i tym samym – **krystalizacji**.

Intruzje magmatyczne i ich główne rodzaje



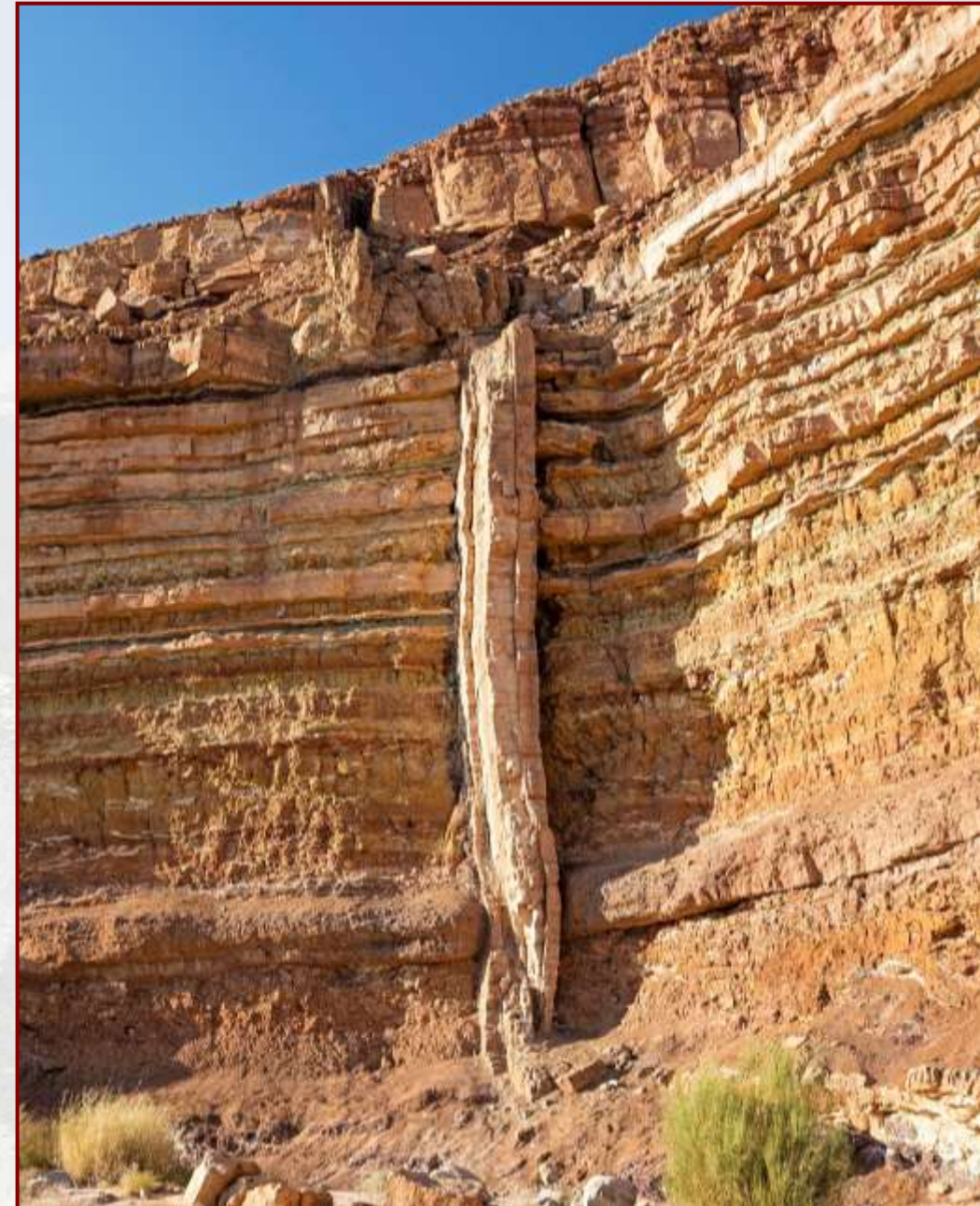
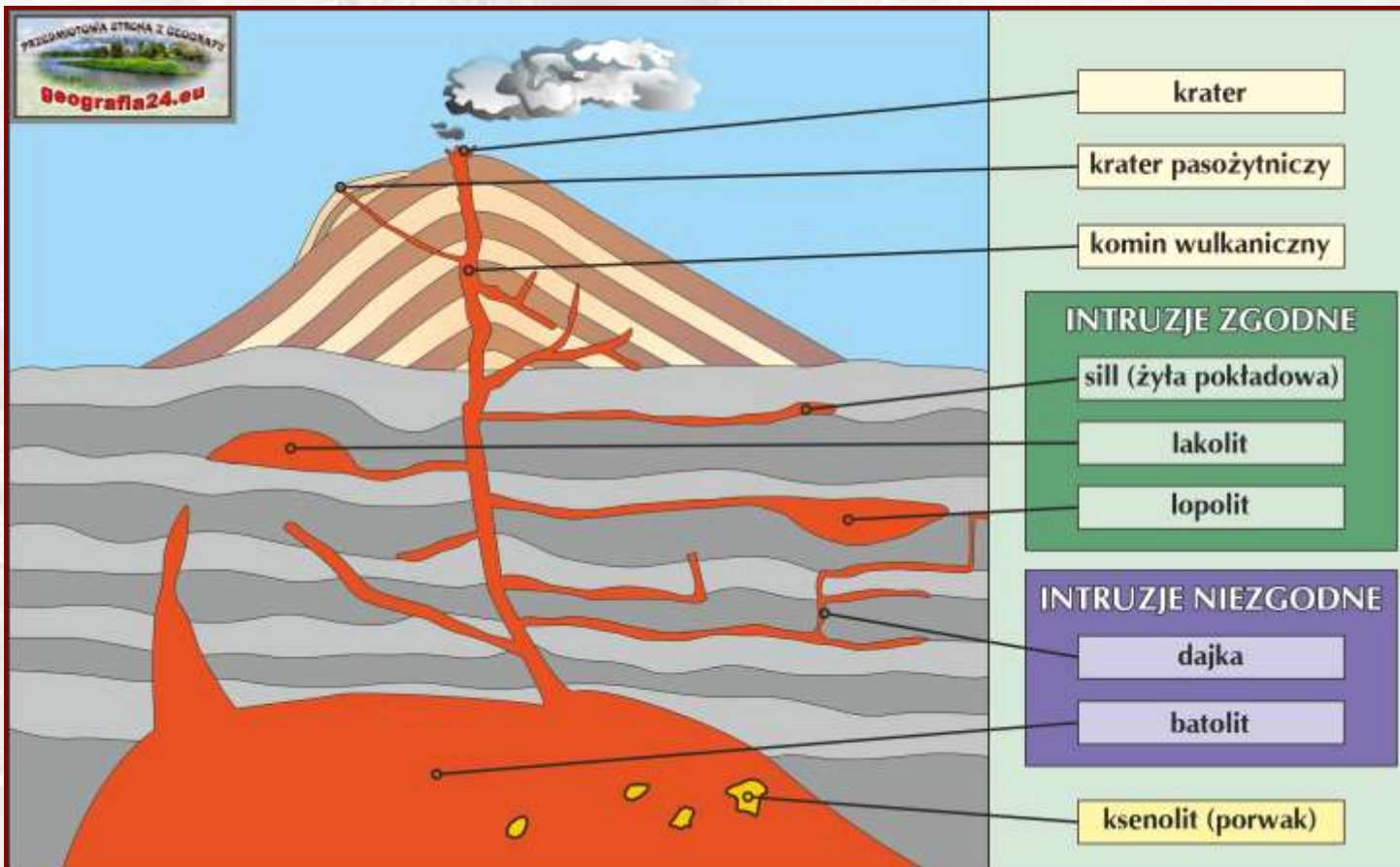
Intruzje i ich główne rodzaje

☛ **Intruzje magmatyczne** tworzą struktury:

- ☛ **zgodne** z pierwotnym układem skał,
- ☛ **niezgodne** z pierwotnym układem skał.

☛ Skały sąsiadujące z intruzjami ulegają z reguły:

- ☛ **deformacjom** – zaburzeniom pierwotnego układu warstw,
- ☛ **przeobrażeniom** – spowodowanym wysoką temperaturą.



Intruzje niezgodne

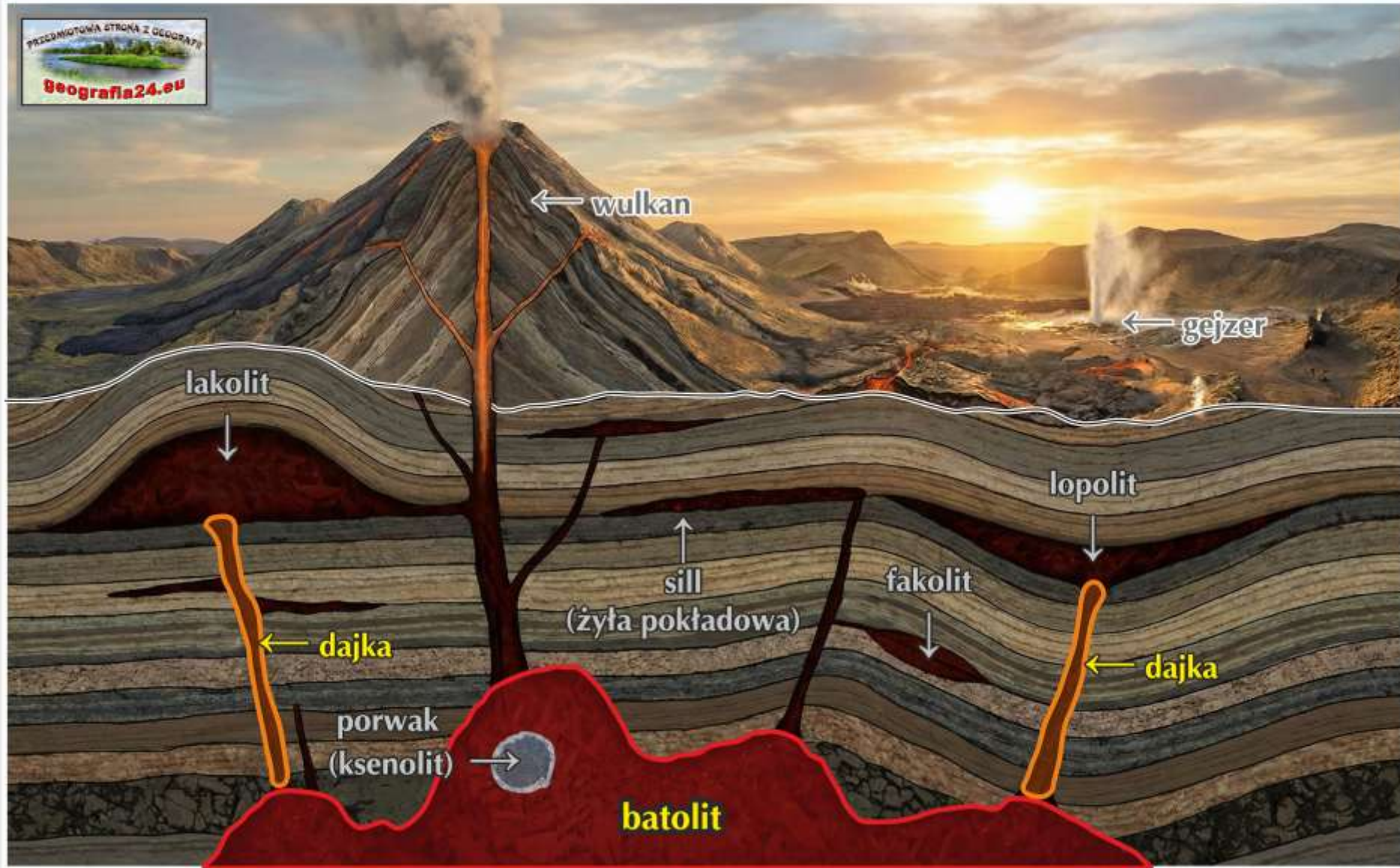
🌐 **Intruzje niezgodne** przecinają pierwotne strukturalne (granice warstw) w skałach.

🌐 Należą do nich **batolity** i **dajki**.

Dajka



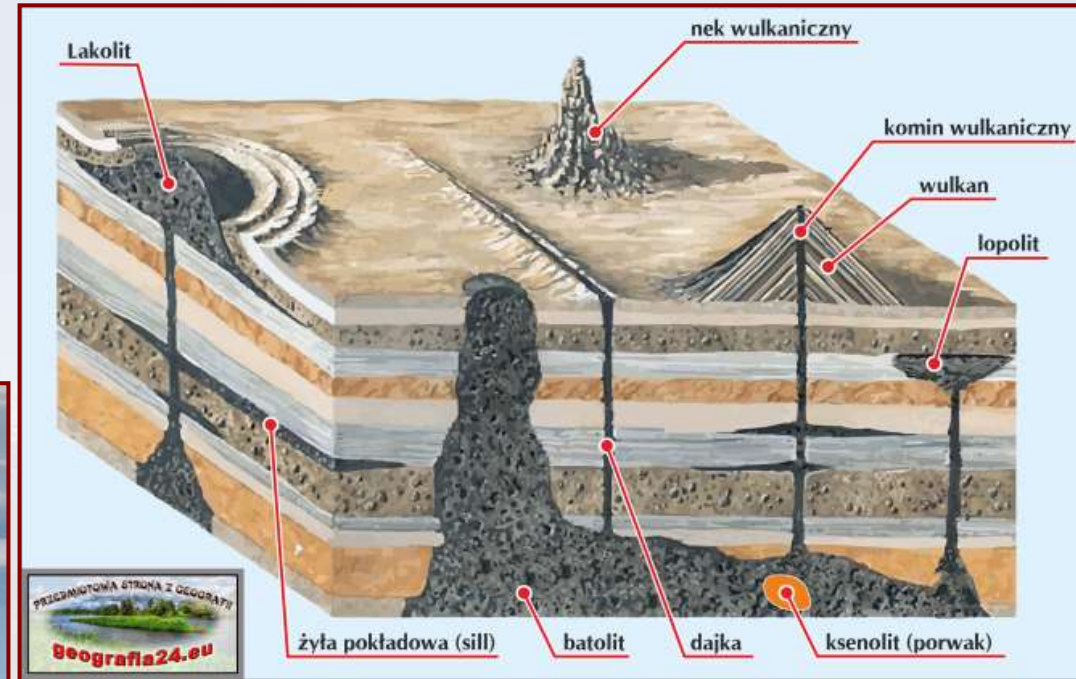
Intruzje magmatyczne niezgodne i ich główne rodzaje



Intruzje niezgodne: **batolity**

- 🌐 **Batolity** – olbrzymie intruzje o nieznanej powierzchni dolnej.
- 🌐 Na terenie Polski batolity powstawały podczas orogenezy waryscyjskiej (hercyńskiej) (masyw strzegomski, karkonoski, tatrzański).
- 🌐 W obrębie batolitów często występują także **kxenolity (porwaki)** – fragmenty skały wyrwane przez magmę ze skał otaczających.

Batolit



Intruzje niezgodne: **dajki**

- 🌐 **Dajki** – intruzje występują w postaci żył przecinających otaczające skały.
- 🌐 Przebiegają one zazwyczaj prostopadle lub ukośnie do powierzchni Ziemi.



Dajka



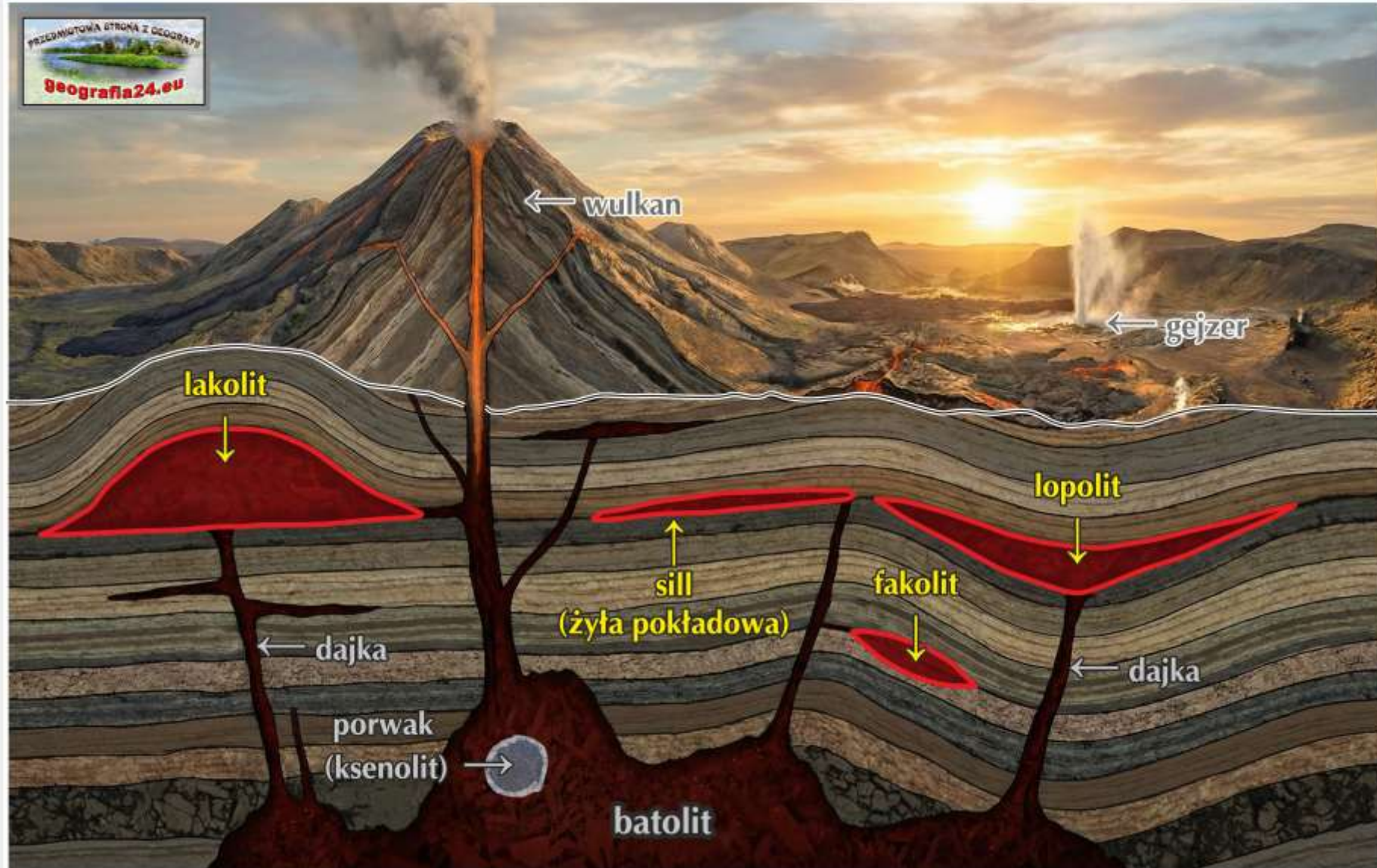
Intruzje zgodne

☛ **Intruzje zgodne** układają się równoległe do powierzchni strukturalnych w skałach.

☛ Należą do nich:

- ☛ żyły pokładowe (sille),
- ☛ lakolity (lakkolity),
- ☛ lopolity,
- ☛ fakolity.

Intruzje magmatyczne zgodne i ich główne rodzaje

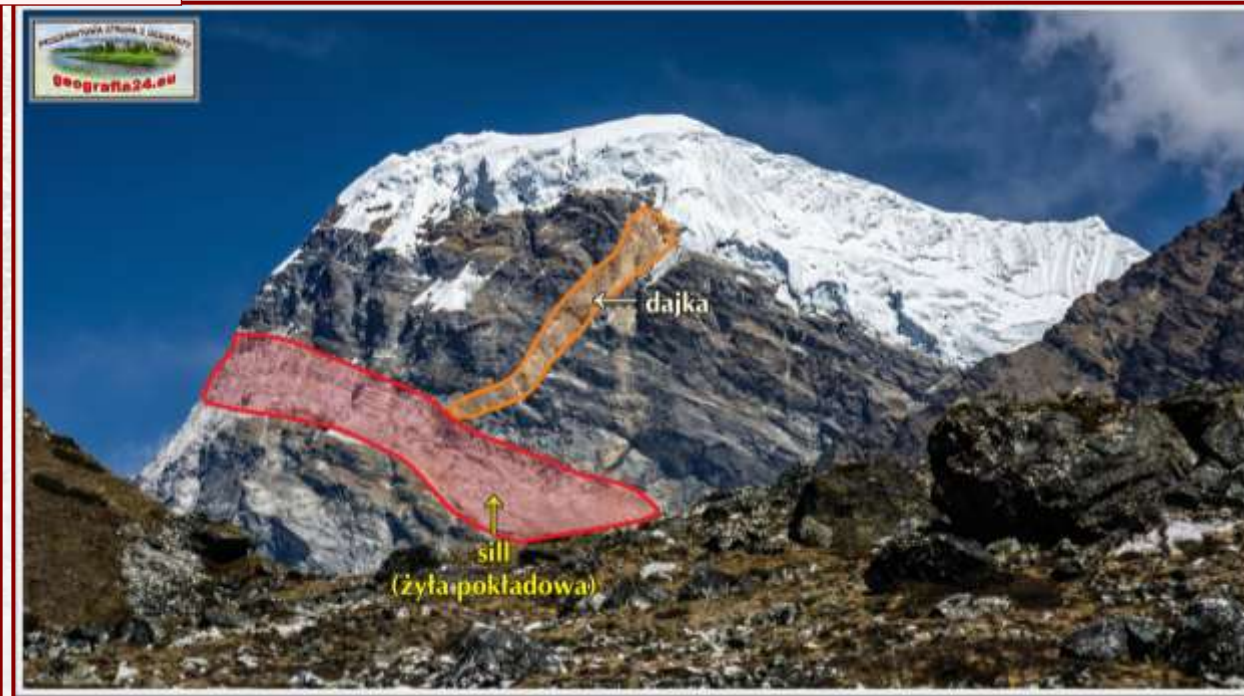


Intruzje zgodne: żyły pokładowe (sille)

- 🌐 **Żyły pokładowe (sille)** – to intruzje, które wciskają się pomiędzy dwie warstwy skał.
- 🌐 Biegają one najczęściej równoległe do powierzchni terenu na długości nawet powyżej 100 km.
- 🌐 Posiadają one od kilku milimetrów do nawet kilkudziesięciu metrów grubości.



Żyły pokładowe (sille)



Intruzje zgodne: **lakolity** (**lakkolity**)

- 🌐 **Lakolity** (**lakkolity**) – powstają bliżej powierzchni Ziemi - formy w kształcie bochenka lub grzyba, w których podstawa jest płaska, natomiast strop kopułowo wygięty.
- 🌐 Czasami, kiedy do intruzji dojdzie stosunkowo płytko, odkształcenie spowodowane przez lakolit ujawnia się na powierzchni Ziemi w postaci wzniesienia.





Wulkanizm jako proces endogeniczny

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 – jest wypełniaczem mas asfaltowych) są **wykorzystywane w budownictwie** oraz **stanowią ozdoby**,
 - 🌐 w skałach magmowych **tworzą się liczne złoża**: rudy miedzi, cynku, ołowiu i uranu (wykorzystanie w przemyśle),
 - 🌐 na terenach wulkanicznych obecne są **wody termalne** (rozwój energetyki geotermalnej) i **wody mineralne**,
 - 🌐 wulkany są **atrakcją turystyczną** (wpływ na rozwój turystyki).

Pozytywny wpływ wulkanizmu na przyrodę i działalność człowieka



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), przyczyniającą 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**.



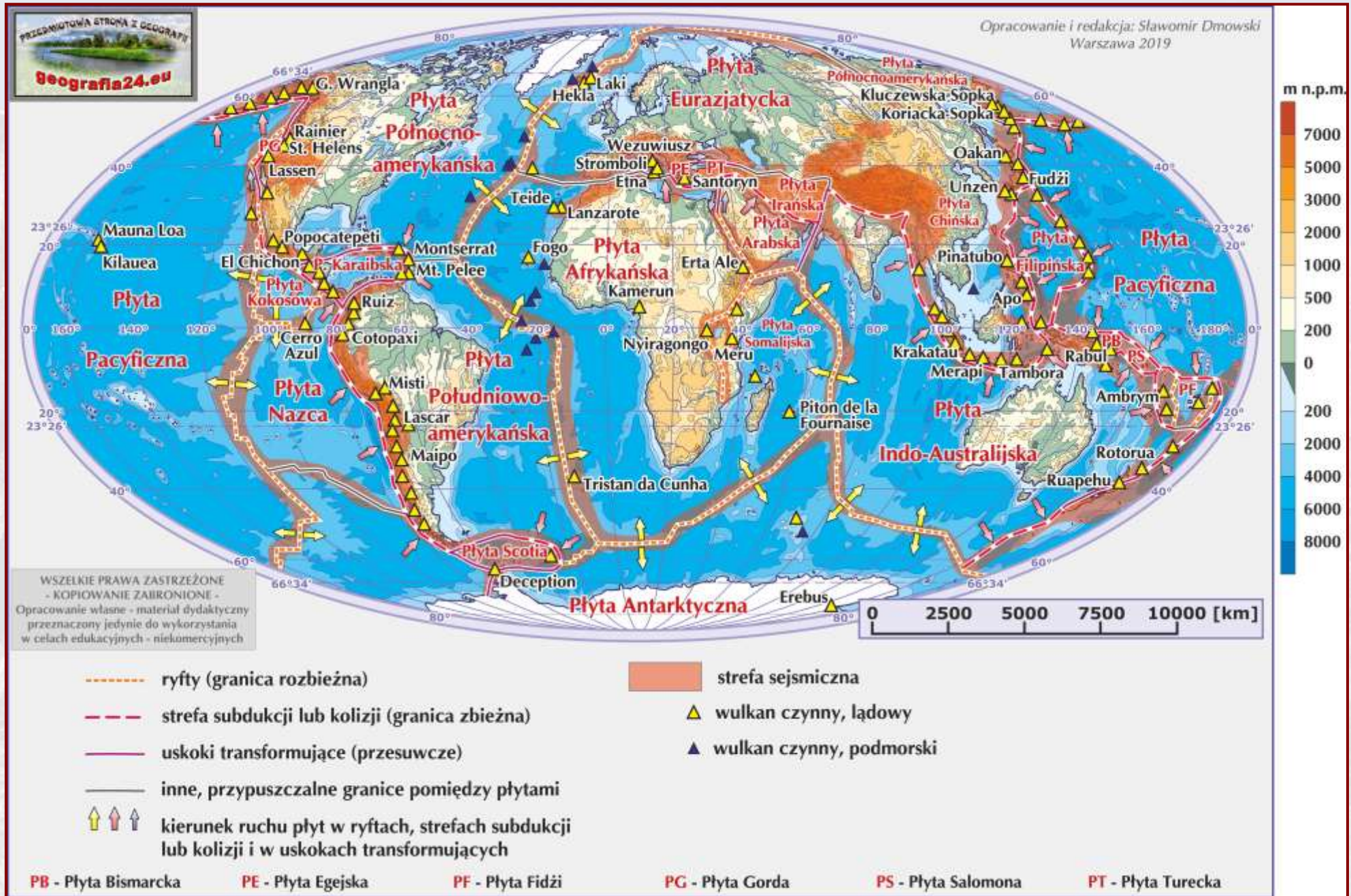
Negatywny wpływ wulkanizmu na przyrodę i działalność człowieka



Rozmieszczenie wulkanów na Ziemi

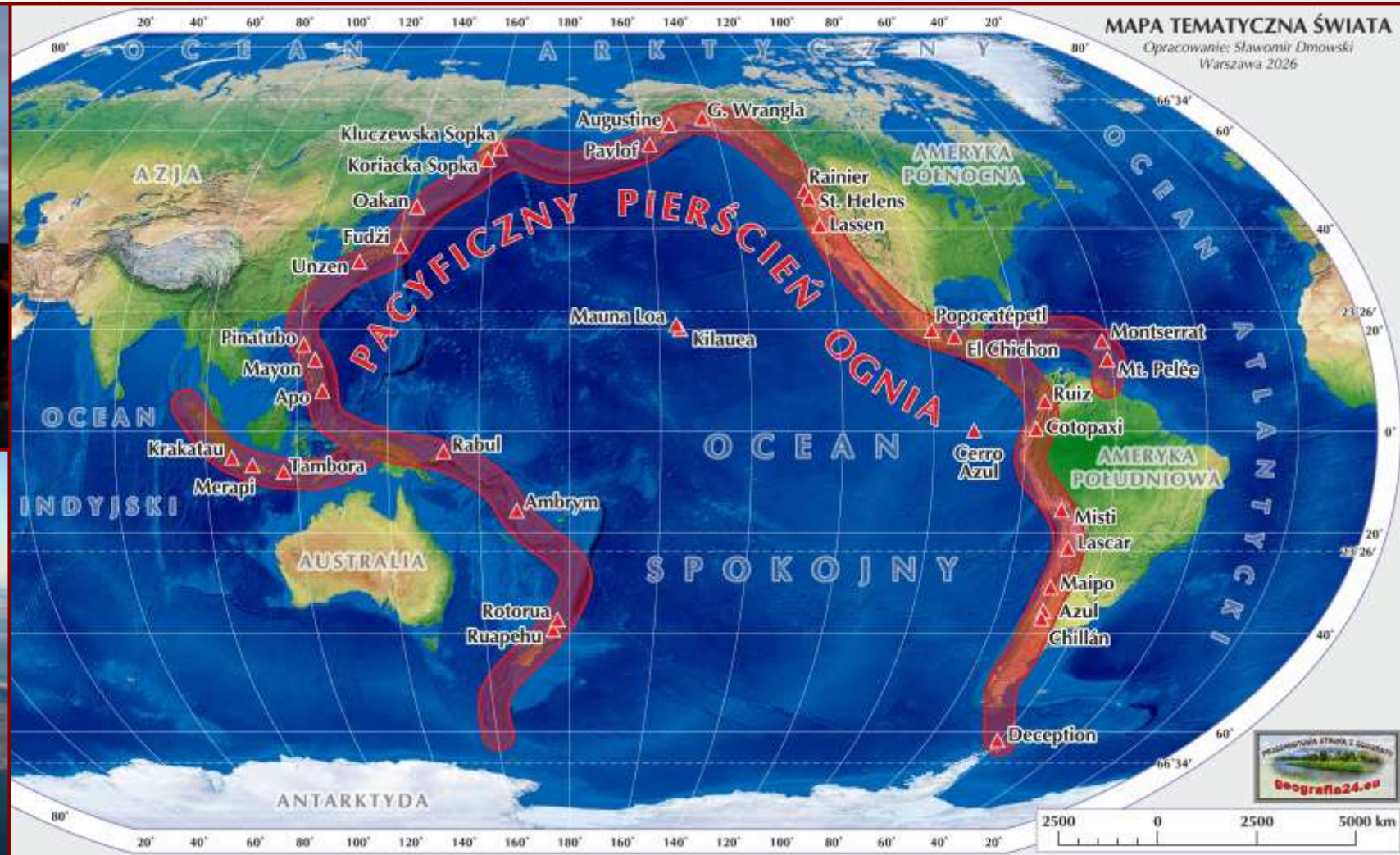
🌐 Na świecie na obszarach lądowych obecnie czynnych jest ponad 600 wulkanów.

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



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 (otacza Ocean Spokojny), wzdłuż łańcucha wysp Aleuty, wschodniego wybrzeża Azji i Oceanii.



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 **magmy** z tzw. **ognisk wulkanicznych** w kierunku powierzchni Ziemi, co w rezultacie prowadzi do powstawania **wulkanów**.
- 🌐 Ze względu na sposób wydostawania się materiału na powierzchnię, wyróżniamy:
 - 🌐 **wulkanizm centralny** – magma (już jako lava) wydobywa się punktowo przez komin wulkaniczny zakończony kraterem,
 - 🌐 **wulkanizm linijny (szczelinowy, linearny)** – lava wypływa powoli przez podłużne pęknięcia (szczeliny) w skorupie ziemskiej (zjawisko to występuje głównie w strefach ryftowych).



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

- 🌐 **Erupcje szczelinowe (linijne, linearne)** – odznaczają się zazwyczaj **spokojnym przebiegiem**.
- 🌐 Corocznie dostarczają **ponad 80% materiału wulkanicznego** trafiającego na powierzchnię Ziemi.
- 🌐 Większość z nich ma miejsce **na dnie oceanów, w strefach ryftowych grzbietów śródoceanicznych**.
- 🌐 Na kontynentach zjawisko to występuje sporadycznie.



B. Erupcje centralne (wulkanizm centralny)

🌐 **Erupcje centralne** przebiegają **punktowo**.

🌐 **Magma** (wraz z zawartymi w niej gazami) nagromadzona w **ognisku magmowym (komorze magmowej)** wydostaje się na powierzchnię przez **komin wulkaniczny**, który jest zakończony **kraterem**.

🌐 W wyniku wulkanizmu centralnego powstają:

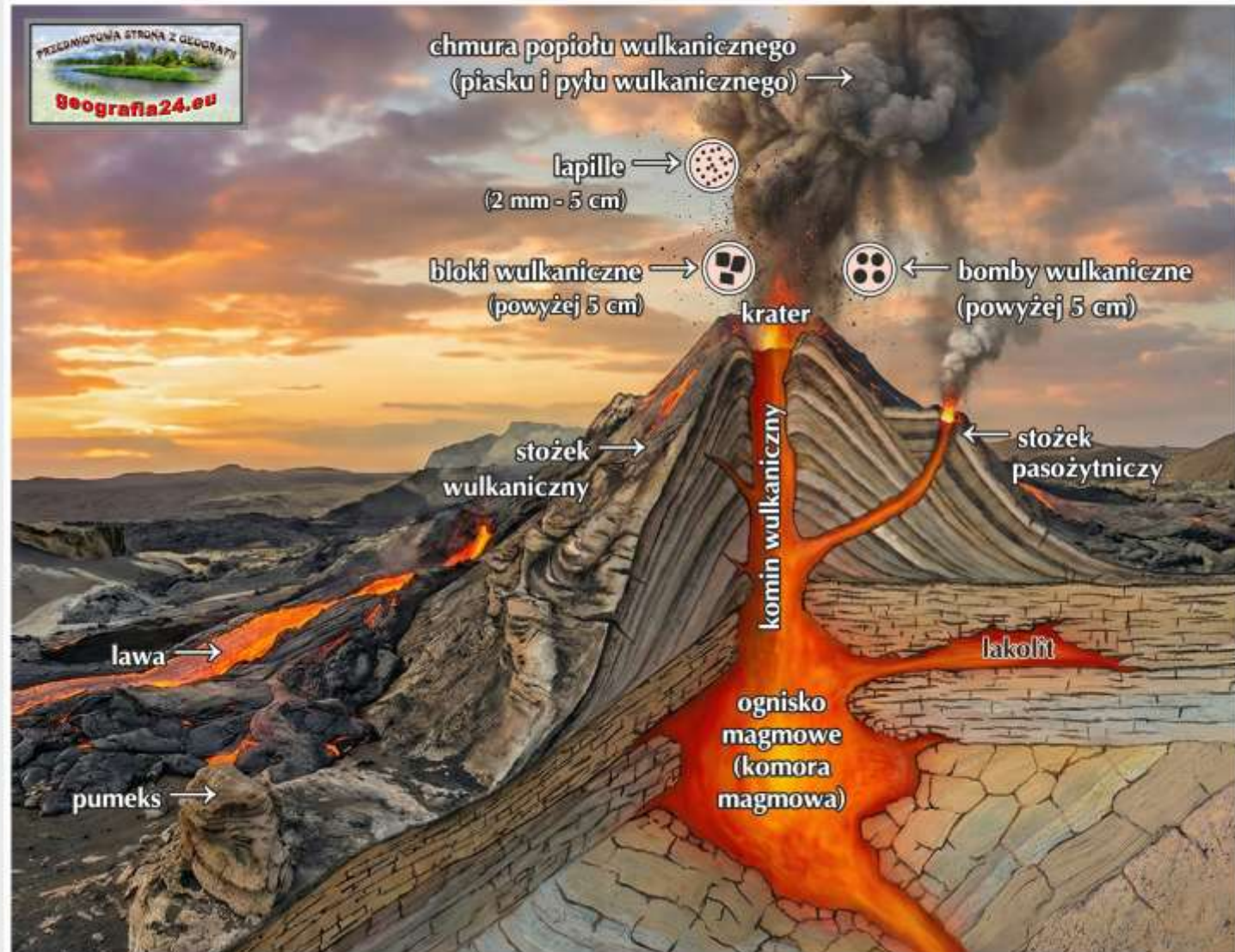
🌐 **stożki wulkaniczne** – na ogół wysokie wzniesienia utworzone z wydobywającej się na powierzchnię **lawy** oraz **materiału piroklastycznego** (popiołów, lapilli, bloków i bomb wulkanicznych);

🌐 **stożki pasożytnicze** – mniejsze wzniesienia powstające na **stokach głównego wulkanu**,

🌐 zdarza się, że z czasem wzrasta w ich obrębie siła erupcji, która w efekcie przewyższa aktywność głównego krateru,

🌐 w takich przypadkach, wraz z upływem czasu, stożek pasożytniczy może się mocno rozbudować i ostatecznie przekształcić w główny stożek wulkanu.

Budowa wulkanu oraz rodzaje materiału wulkanicznego



Rodzaje materiału wulkanicznego

🌐 Podczas aktywności wulkanicznej na powierzchnię Ziemi wydobywają się cztery podstawowe **rodzaje materiału**:

- 🌐 **lawa**,
- 🌐 **gazy wulkaniczne**,
- 🌐 **utwory piroklastyczne**,
- 🌐 **porwaki (ksenolity)**.



1. Lawa

- ☛ **Lawa** – płynna masa skalna powstała z magmy, która po wydostaniu się na powierzchnię ulega odgazowaniu.
 - ☛ Składa się głównie ze stopionych krzemianów i tlenków metali.
- ☛ Ze względu na zróżnicowany skład chemiczny (głównie zawartość krzemionki) wyróżnia się trzy rodzaje law.
- ☛ **Lawa kwaśna** ($> 65\% \text{SiO}_2$) – stosunkowo lekka (ma małą gęstość), ale za to bardzo lepka.
 - ☛ Zwykle płynie bardzo wolno i tworzy krótkie strumienie.
 - ☛ Jej duża lepkość sprawia, że często zastyga i tworzy czop w kominie wulkanicznym (może prowadzić do powstania kalder).
 - ☛ Zablokowane w ten sposób gazy powodują wzrost ciśnienia, które ostatecznie znajduje ujście w gwałtownej erupcji.
 - ☛ Tworzy wzniesienia o stromych zboczach (np. kopuły wulkaniczne i stratowulkany).
- ☛ **Lawa zasadowa** ($< 53\% \text{SiO}_2$) – zawiera dużo metalicznych, ciemnych minerałów oraz jest ciężka, rzadka i bardzo płynna.
 - ☛ Wypływa z krateru lub szczelin łagodnie, bez gwałtownych eksplozji oraz może rozlewać się na ogromnych powierzchniach, docierając na znaczne odległości.
 - ☛ Powstają z niej płaskie wulkany tarczowe i rozległe pokrywy lawowe (trapy wulkaniczne).
- ☛ **Lawa obojętna** ($53\text{--}65\% \text{SiO}_2$) – posiada cechy pośrednie.



Eksplozja wulkaniczna – lawa kwaśna



Eksplozja wulkaniczna – lawa zasadowa

2. Gazy wulkaniczne

- ☛ **Gazy wulkaniczne** – głównie para wodna (stanowiąca ich największą część), a także dwutlenek i tlenek węgla, chlor, wodór oraz związki siarki (dwutlenek siarki, siarkowodór).
- ☛ Emisję samych gazów – bez udziału lawy czy utworów piroklastycznych – określa się jako **ekshalacje wulkaniczne**.
- ☛ W zależności od temperatury wyróżnia się kilka **rodzajów wyziewów wulkanicznych gazów**:
 - ☛ **fumarole** – wyziewy o najwyższej temperaturze (od 200°C do 800°C), obecne na obszarach czynnego wulkanizmu,
 - ☛ składają się z przegrzanej pary wodnej i licznych gazów wulkanicznych, m.in.: CO_2 , F_2 , Cl_2 , S_2 , H_2 , N_2 oraz H_2S , HCl , SO_2 ;
 - ☛ **solfatary** – wyziewy o temperaturze 100–200°C, charakterystyczne dla wulkanów drzemiących,
 - ☛ składają się z pary wodnej bogatej w związki siarki (wydzielająca się siarka tworzy żółte osady);
 - ☛ **mofety** – chłodne wyziewy gazów (o temperaturze poniżej 100°C), składające się głównie z dwutlenku węgla (CO_2).



Fumarole



Solfatary



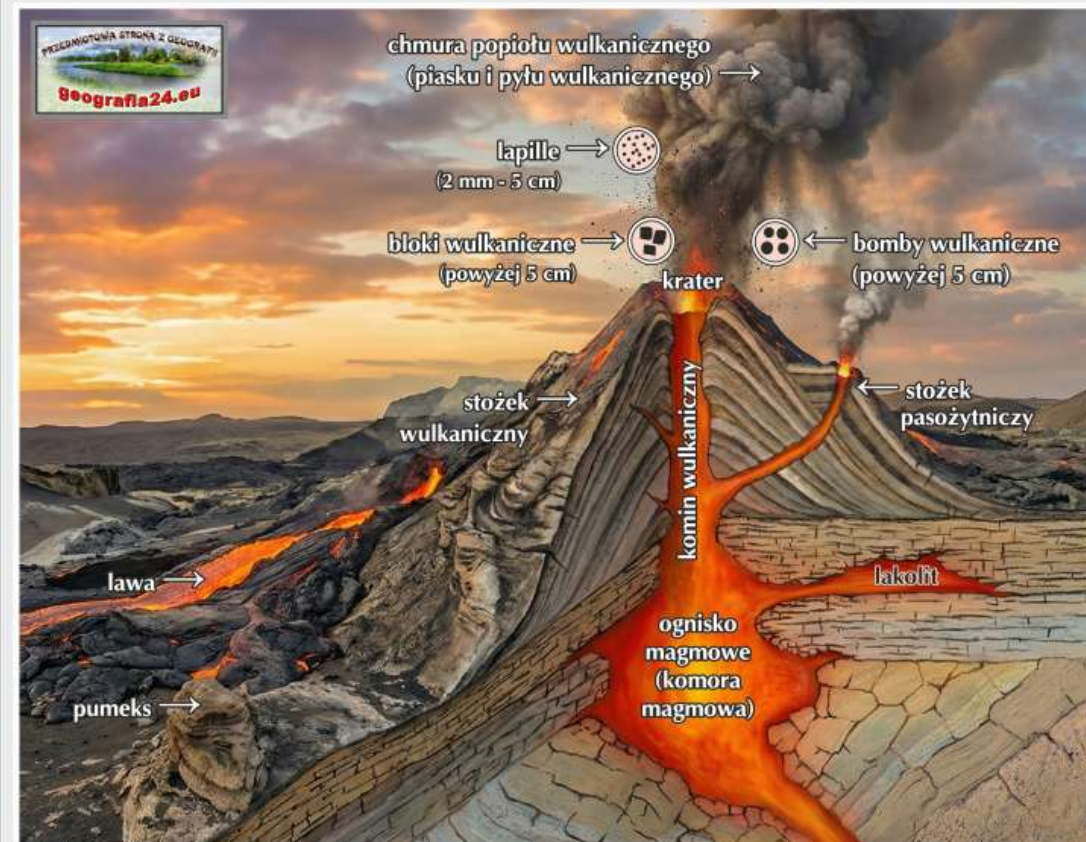
Mofety

3. Utwory piroklastyczne

- 🌐 **Utwory piroklastyczne**, czyli luźne okruchy skalne, których nazewnictwo odzwierciedla wielkość i kształt **odłamków**.
- 🌐 **Bomby** (owalne i kuliste strzępy zastygłej w powietrzu lawy) i **bloki wulkaniczne** (kanciaste fragmenty starszych skał wyrwanych z komina wulkanicznego) – duże odłamki skalne powyżej 5 cm, osiągające niekiedy rozmiary ponad 1 metra.
- 🌐 **Lapille** (tzw. **małe kamyki**) – kuliste odłamki skalne o wymiarach od 2 mm do 5 cm, będące “bryłkami” zastygłej lawy wyrzucanej w powietrze podczas erupcji wulkanu.
- 🌐 **Popiół wulkaniczny** (< 2 mm) – bardzo drobny materiał obejmujący **piasek** (0,1-2 mm) i **pył wulkaniczny** (< 0,1 mm; może być on niesiony przez wiatr na bardzo duże odległości).
- 🌐 Ze scementowanego z czasem materiału powstają skały lite:
 - 🌐 **tuf** – drobnoziarnista skała, powstała najczęściej na lądzie z opadającego pyłu i popiołu wulkanicznego,
 - 🌐 **tufit** – skała mieszana, powstała zwykle w morzu wskutek osadzania się w nim popiołów wulkanicznych i mieszania z innym materiałem (lapillami, blokami i osadami wodnymi).
- 🌐 **Pumeks** – utwór bardzo silnie porowaty i lekki, powstający z szybko zastygającej, gorącej i pieniającej się lawy.
- 🌐 Dzięki licznym pęcherzykom gazów ma gęstość mniejszą od wody, przez co unosi się na jej powierzchni.



Budowa wulkanu oraz rodzaje materiału wulkanicznego

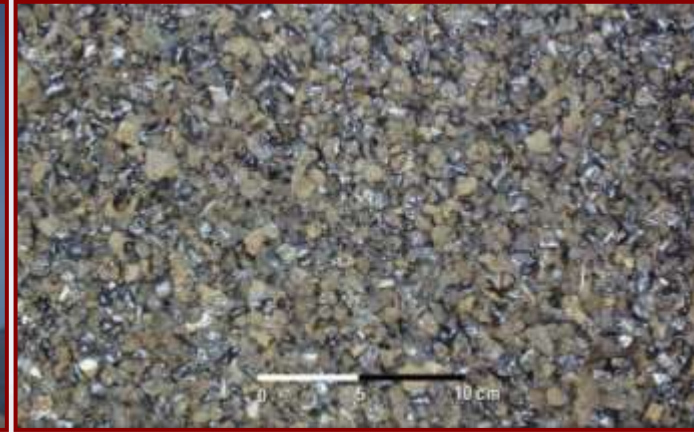


Bomba wulkaniczna



Bomba wulkaniczna – o wymiarach przynajmniej 5 cm. Są to duże strzepy 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

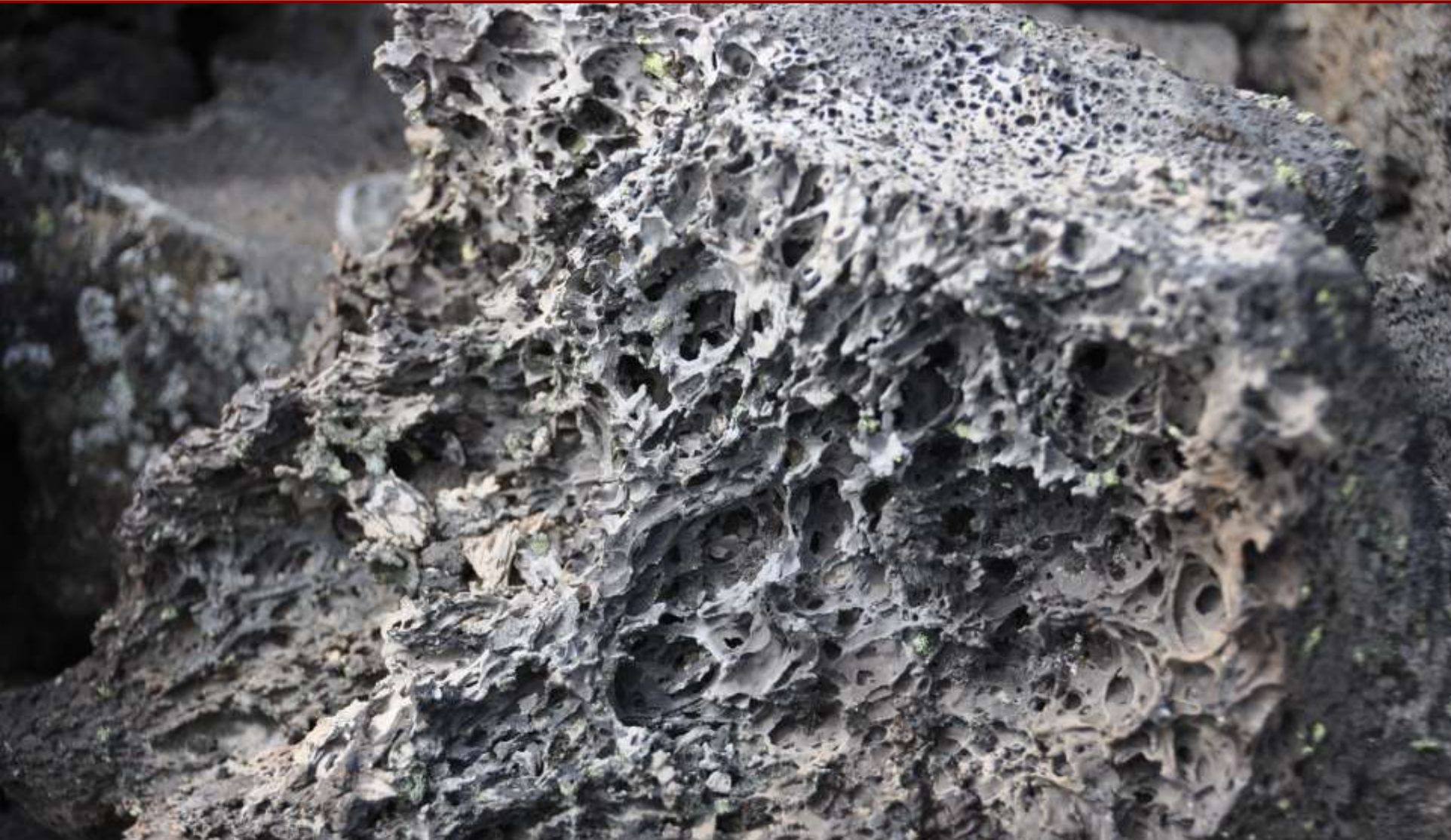


Czarna plaża wulkaniczna, która zawiera popiół wulkaniczny, w tym: **piasek wulkaniczny** (0,1-2 mm) i **pył wulkaniczny** (< 0,1 mm).

Ze scementowanego z czasem materiału powstają **skały lite**:

- **tuf** – drobnoziarnista skała, powstała najczęściej na lądzie z opadającego pyłu i popiołu wulkanicznego,
- **tufit** – skała mieszana, powstała zwykle w morzu wskutek osadzania się w nim popiołów wulkanicznych i mieszania z innym materiałem (lapillami, blokami i osadami wodnymi).

Pumeks

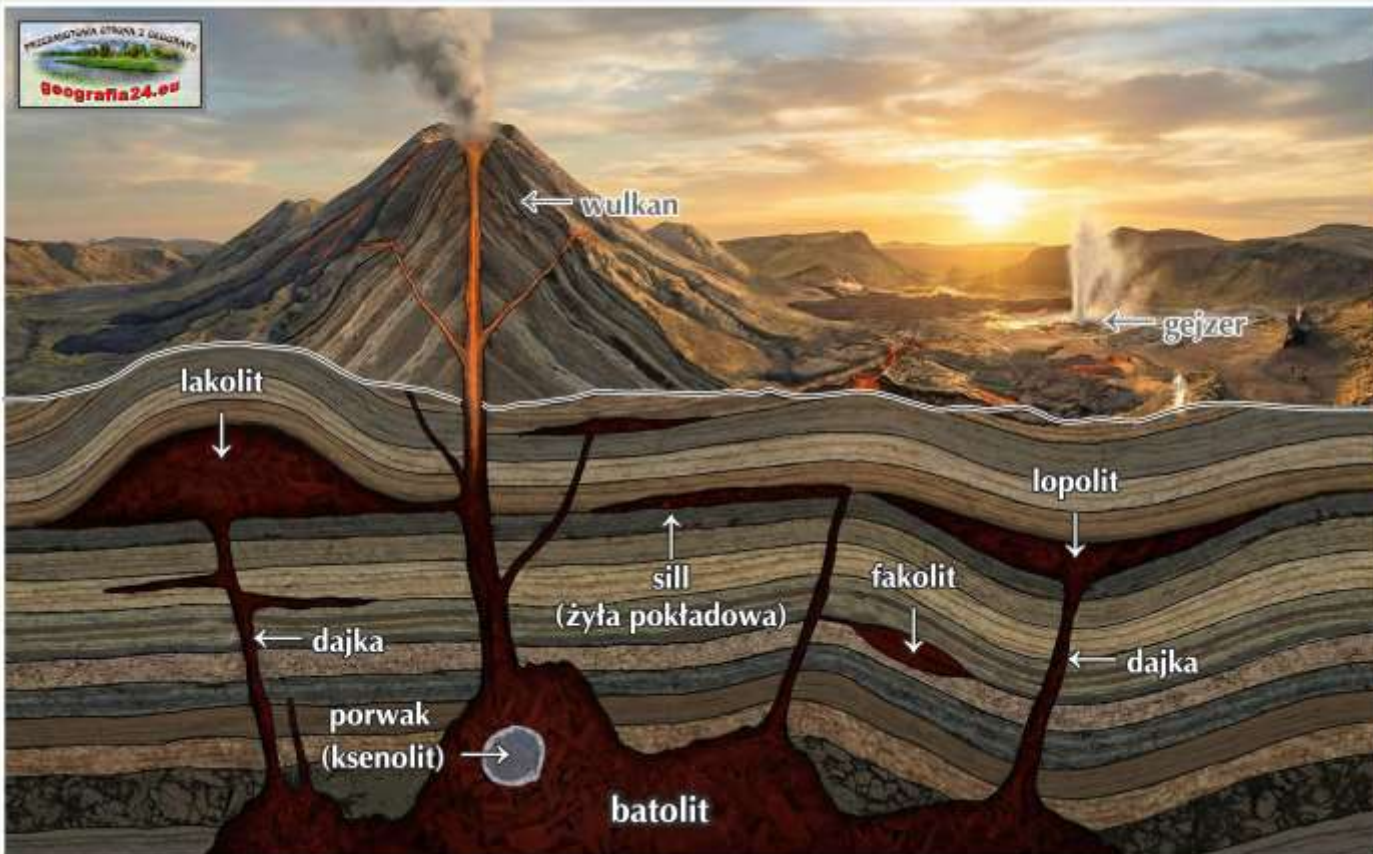


Pumeks – utwór bardzo silnie porowaty i lekki, powstający ze strzępów gorącej i pniącej się lawy, zawierającej dużą ilość gazów, stąd obecność wielu pęcherzyków powietrza przyczyniających się do stosunkowo małej gęstości pumeksu, mniejszej niż np. samej wody (materiał w czasie pienia się stygnie i przemienia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

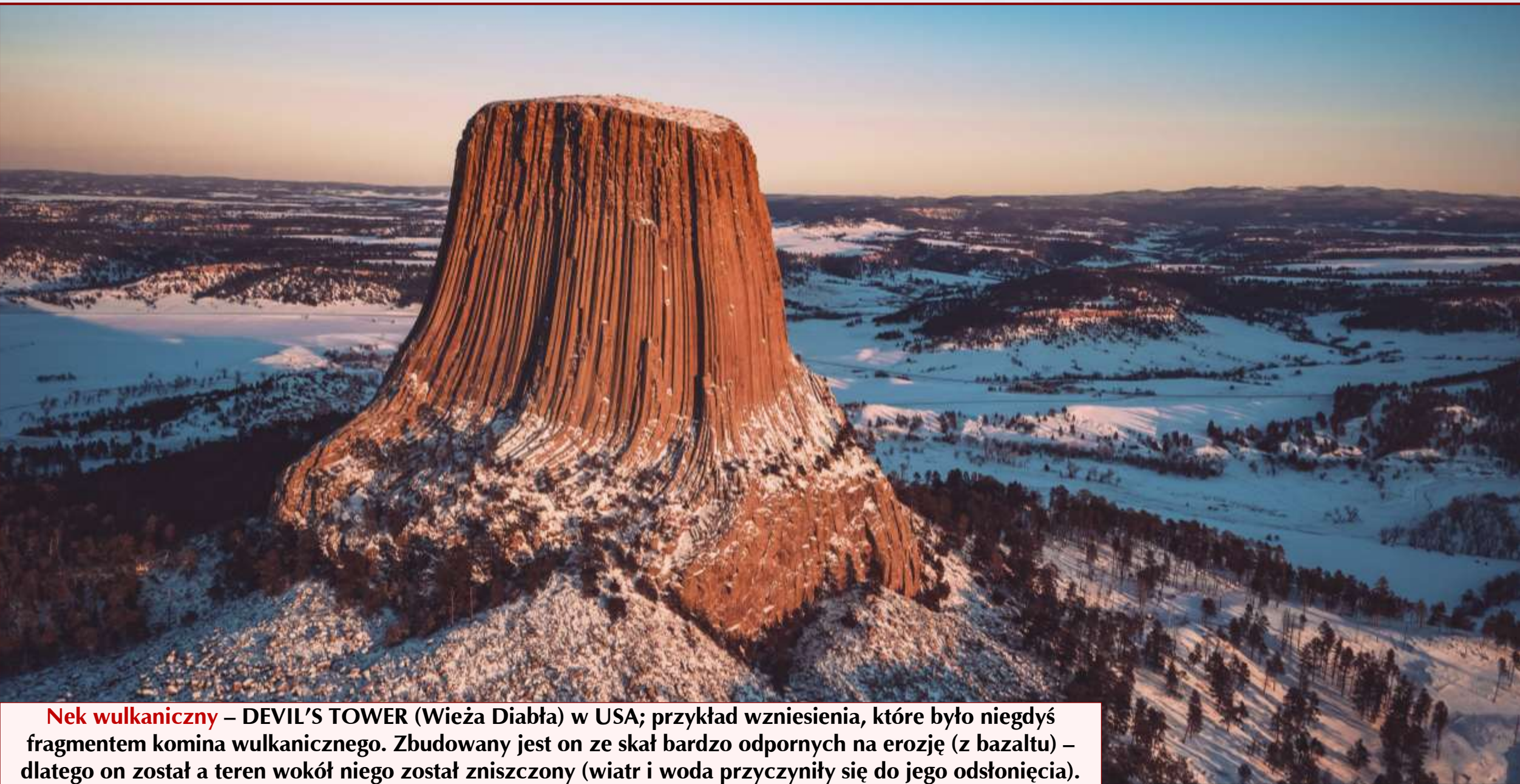
4. Porwaki (ksenolity)

- 🌐 **Porwaki (ksenolity)** – fragmenty skał obcych magmie, wtrącone do niej podczas jej przemieszczania się w kominie lub komorze magmowej.
- 🌐 Mogą być wyrzucane na powierzchnię Ziemi wraz z materiałem piroklastycznym lub zastygać wewnątrz wulkanu w obrębie skał magmowych, przez co pozostają wyraźnie widoczne w strukturze skały.
- 🌐 Często mają zróżnicowane rozmiary oraz skład chemiczny, który wyraźnie odróżnia je od otaczającej masy skalnej.

Intruzje magmatyczne i ich główne rodzaje



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 odsłonięcia).

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):**

🌐 charakteryzują się łagodnymi wylewami lawy (zwykle zasadowej), w czasie spokojnie przebiegających erupcji, co wynika z małej lepkości magmy i łatwego uwalniania się gazów wulkanicznych,

🌐 **należą do nich ze względu na kształt wulkanu:**

🌐 **wulkany tarczowe,**

🌐 **wulkany szczelinowe (linijne, linearne);**

🌐 **wulkany eksplozywne:**

🌐 podczas erupcji dominują gazy i materiały piroklastyczne (popioły, bomby wulkaniczne, lapille) oraz gęste, lepkie lawy kwaśne,

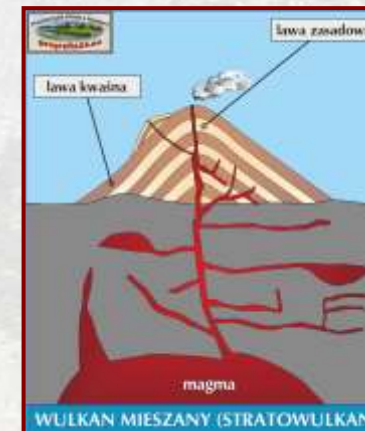
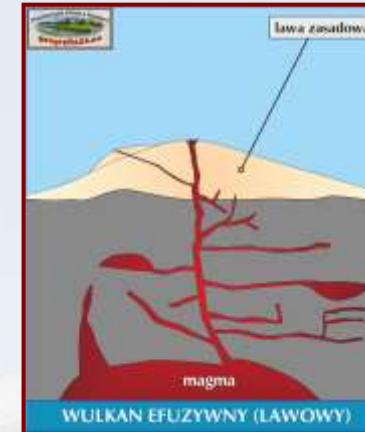
🌐 towarzyszą im bardzo gwałtowne wybuchy,

🌐 **ze względu na kształt wulkanu wyróżniamy: wulkany stożkowe** (np. Montagne Pelée na Martynice) – o stromych stokach;

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

🌐 gwałtowne erupcje materiału piroklastycznego przeplatają się ze spokojniejszymi wylewami lawy,

🌐 **ze względu na kształt wulkanu należą: stratowulkany** (np. Etna i Wezuwiusz) – o charakterystycznej budowie warstwowej (z naprzemiennie zalegającymi warstwami lawy i popiołów).



1a. Wulkany efuzywne (lawowe) (hawajskie) – wulkany tarczowe

- 🌐 **Wulkany tarczowe** – powstają w wyniku swobodnego, **spokojnego (efuzywnego)** wypływu rzadkiej, bardzo płynnej **lawy zasadowej (bazaltowej)**, która jest **uboga w krzemionkę**, a bogata w żelazo i magnez.
- 🌐 Lawa zanim zastygnie płynie na duże odległości, co prowadzi do powstania **rozległych, płaskich wzniesień o łagodnie nachylonych stokach** (np. Mauna Loa, Mauna Kea i Kilauea na Hawajach oraz Piton de la Fournaise na Reunionie).
- 🌐 Wulkany te występują najczęściej **nad plamami gorącymi związanymi z pióropuszcami płaszcza**, gdzie gorąca materia z głębi Ziemi unosi się ku powierzchni i przebija litosferę.

Pióropusze płaszcza i zlokalizowane nad nimi na powierzchni plamy gorące w rejonie Hawajów



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



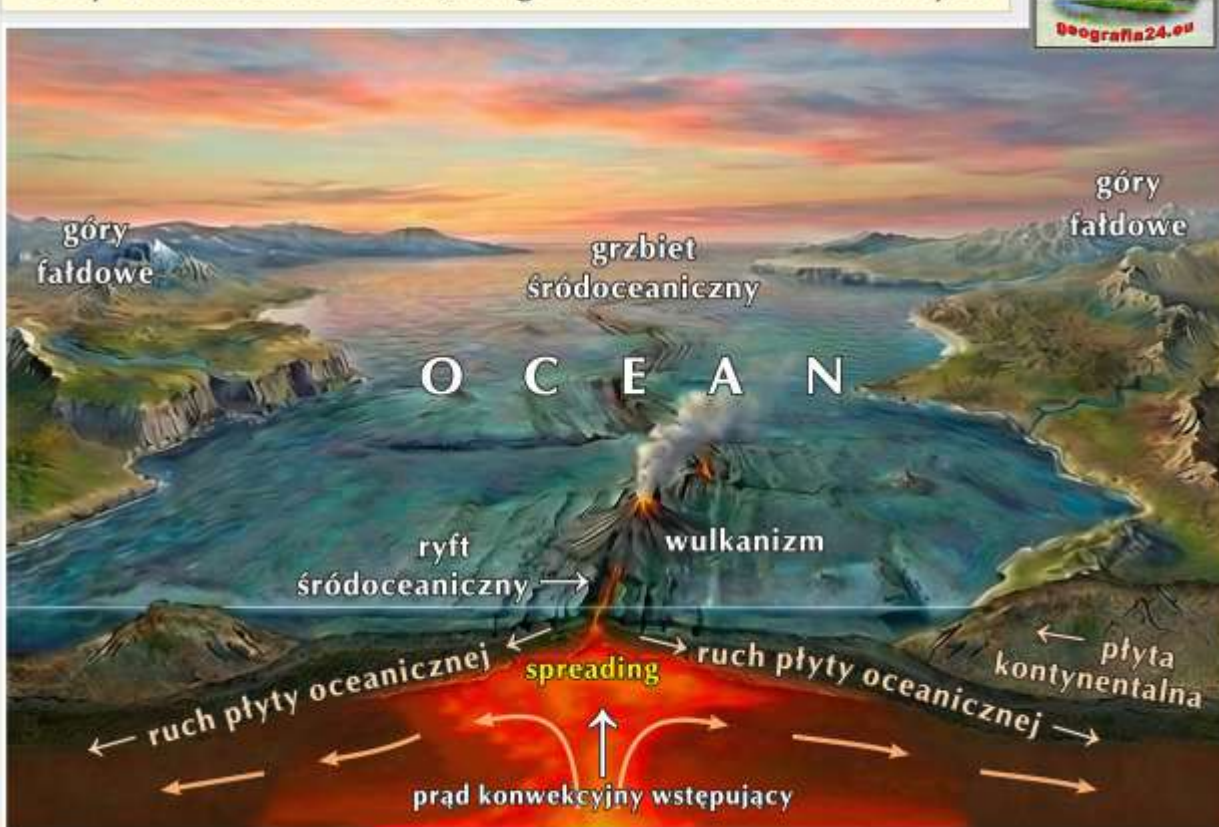
Mauna Loa (zdjęcie na górze) i **Mauna Kea** (zdjęcie na dole) – to **najwyższe na świecie wulkany tarczowe**, wynurzające się z oceanu na Hawajach. Mauna Loa osiąga 4169 m n.p.m., a pod wodą ma dodatkowe 4975 m. **Mauna Kea wznosi się na 4205 m n.p.m., z aż 5998 m ukrytymi pod wodą, co czyni ją największą górą na świecie liczoną od podstawy** (razem od podstawy pod wodą do szczytu ma 10 203 m i jest wyższa od Mount Everest o 1355 m). Z daleka wydają się niskie, ale ich masywy są bardzo rozległe – łagodne stoki powstały wskutek daleko rozplywających się potoków lawy zasadowej. Mauna Loa jest nadal aktywna, natomiast Mauna Kea uśpiona. Oba wulkany leżą **nad plamą gorącą, w obrębie pióropusza ciepła**, skąd magma wypływa z wnętrza Ziemi, tworząc unikalne **hawajskie krajobrazy**.



1b. Wulkany efuzywne (lawowe) (hawajskie) – wulkany szczelinowe (linijne, linearne)

- 🌐 **Wulkany szczelinowe (linijne, linearne)** – powstają, gdy **rzadka lawa zasadowa (bazaltowa)** wypływa spokojnie (efuzywnie) z długich, podłużnych pęknięć w podłożu skalnym, a nie z pojedynczego punktu (krateru).
- 🌐 Dzięki swojej **wysokiej płynności** lawa ta potrafi rozlewać się na ogromne odległości, zanim ostatecznie zakrzepnie.
- 🌐 Proces ten prowadzi do powstania **rozległych pokryw lawowych**, zwanych **trapami** lub **płaskowyżami bazaltowymi**.
- 🌐 Występują w **strefach ryftowych**, czyli miejscach pęknięć tektonicznych, głównie w **obrębie grzbietów śródoceanicznych** (np. Islandia – wulkan Hekla i Laki).

Góry wulkaniczne w obrębie grzbietów śródoceanicznych



Wulkan linijny w strefie ryftowej: Fagradalsfjall (Islandia)

Wulkany efuzywne (lawowe) – wulkan szczelinowy (linijny) w strefie ryftowej

Hekla (Islandia)



Holuhraun (Islandia)

Wulkany linijne w strefach ryftowych

2. Wulkany eksplozywne

- 🌐 **Wulkany eksplozywne** – do których zaliczamy **wulkany stożkowe**, charakteryzują się **wysokimi i stromymi zboczami**.
- 🌐 Podczas ich erupcji wyrzucany jest głównie **materiał piroklastyczny** (popioły, bomby wulkaniczne, lapille) oraz **gazy**.
- 🌐 Choć na świecie jest ich stosunkowo niewiele, **stanowią one największe zagrożenie dla człowieka**.
- 🌐 Występują najczęściej **w strefach subdukcji**, głównie w obrębie tzw. **Ognistego Pierścienia Pacyfiku**.
- 🌐 Budująca je **gęsta i lepka lava kwaśna** często zastyga już w kominie, tworząc potężny czop (korek).
- 🌐 Blokuje on ujście gazów, co prowadzi do gigantycznego wzrostu ciśnienia i gwałtownego wybuchu.
- 🌐 Ekstremalnie silne erupcje mogą spowodować rozerwanie stożka lub jego zapadnięcie się, w wyniku czego powstają **kaldery** – wielkie, koliste zagłębienia, w których po czasie mogą narastać nowe, mniejsze stożki.
- 🌐 Przykładami są: Kluczewska Sopka (Kamczatka), Agua (Gwatemala), Mayon (Filipiny) czy Montagne Pelée (Martynika).



Kluczewska Sopka (Rosja)



Agua (Gwatemala)



3. Stratowulkany (tzw. wulkany mieszane)

- 🌐 **Stratowulkany** (tzw. **wulkany mieszane**) – są najczęściej występującym typem wulkanów na naszej planecie.
- 🌐 Ich najbardziej charakterystyczną cechą jest **wysoki, często bardzo regularny stożek o wyraźnej budowie warstwowej**, która jest bezpośrednim **efektem zmiennego i wielofazowego przebiegu erupcji**.
 - 🌐 **W okresach gwałtownych wybuchów** wulkan wyrzuca ogromne ilości **materiałów piroklastycznych**, takich jak popioły, lapille, bomby oraz bloki wulkaniczne, które osadzone są na zboczach góry.
 - 🌐 **Z kolei w fazach spokojniejszych** dochodzi do **wylewów lawy**, która spływając, “cementuje” luźne osady.
 - 🌐 Dzięki temu naprzemiennemu układaniu się warstw, **stratowulkany osiągają imponujące wysokości** i stabilną strukturę.
- 🌐 Do najważniejszych stratowulkanów należą: Etna, Wezuwiusz i Stromboli we Włoszech, Misti w Peru, Pinatubo w Filipinach, Fudzi w Japonii, Teide w Hiszpanii (Wyspy Kanaryjskie), Cotopaxi w Ekwadorze i Erebus na Antarktydzie.



Pico del Teide – najwyższy szczyt Hiszpanii i zarazem jeden z najbardziej majestatycznych stratowulkanów o wyraźnej budowie warstwowej. Ten położony na Teneryfie gigant wyrasta ze środka ogromnej kaldery, stanowiąc doskonały przykład wielofazowej aktywności wulkanicznej.



Stratowulkany (wulkany mieszane)

- 🌐 **Wezuwiusz** (Włochy) – **stratowulkan** o wysokości 1281 m n.p.m. położony nad Zatoką Neapolitańską we Włoszech.
- 🌐 Od 16 tysięcy lat wykazuje okresową aktywność, która była szczególnie nasilona między XVII a XIX wiekiem.
- 🌐 Obecny stożek wulkaniczny leży wewnątrz kaldery powstałej podczas słynnego wybuchu z 79 r. n.e., który doprowadził do zniszczenia Pompejów.
- 🌐 Od ostatniej dużej erupcji w 1944 r. wulkan pozostaje w fazie uśpienia, jednak ze względu na bliskość Neapolu jest on stale monitorowany.



Widok na Wezuwiusza z Pompejów



Wezuwiusz wewnątrz

Rekonstrukcja erupcji (14-kilometrowego słupa)
Wezuwiusza z 1822 roku



Widok na Wezuwiusza

Najaktywniejszy wulkan w Europie

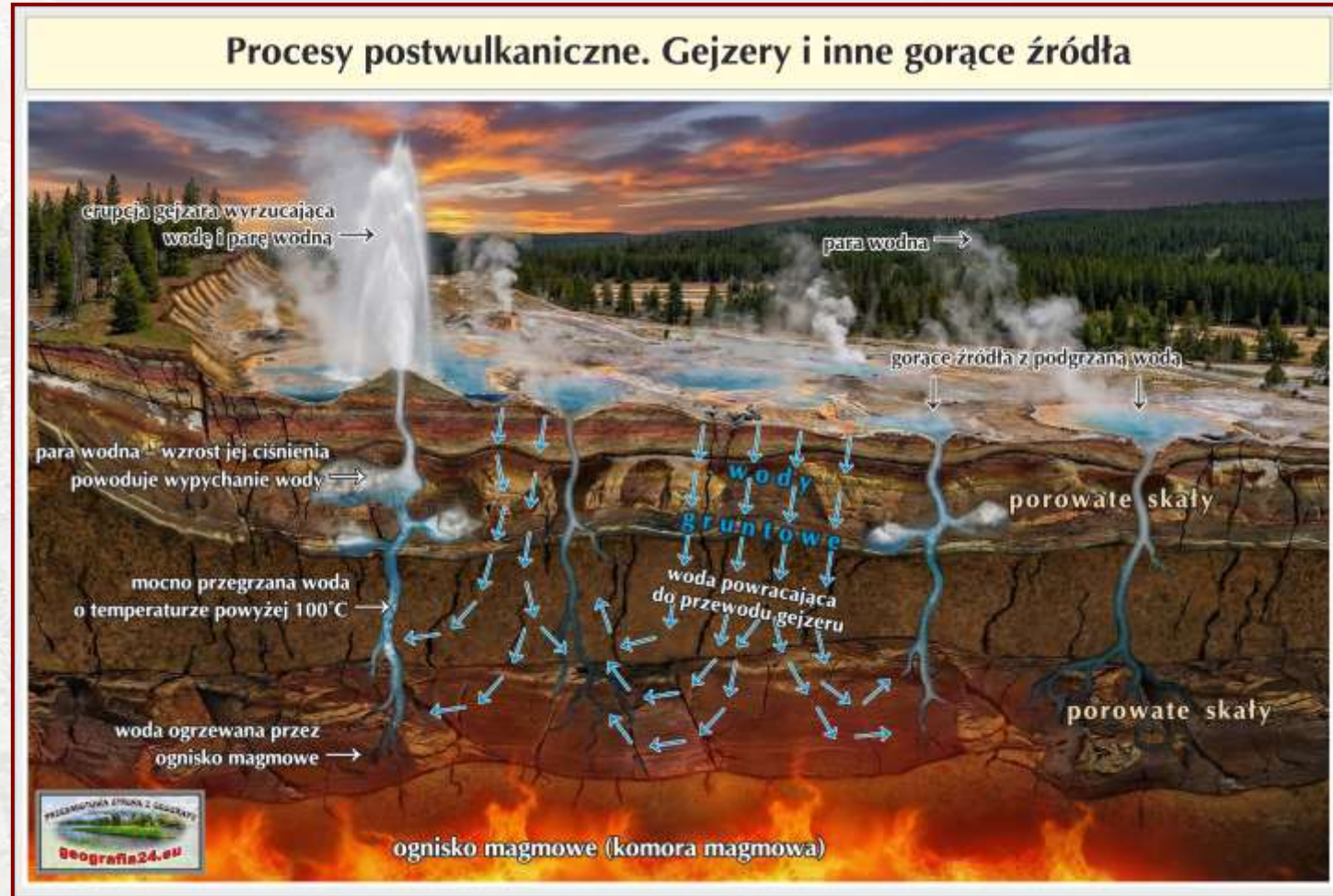
- 🌍 **Etna** – obecnie **najaktywniejszy**, a zarazem **najwyższy aktywny wulkan w Europie** (wysokość ulega zmianom, obecnie 3403 m n.p.m. – wg danych z 2024 r.; bez uwzględniania leżącego fizycznogeograficznie w Afryce wulkanu Teide).
- 🌍 Jest to typowy **stratowulkan**, który odznacza się obecnością wielu **kraterów bocznych** (tzw. **stożków pasożytniczych**).
- 🌍 Wulkan ten zaczął się formować około 0,5 mln lat temu – szacuje się, że w czasach historycznych odnotowano co najmniej 200 jego wybuchów, a począwszy **od 2001 roku obserwuje się znaczny wzrost aktywności**.
- 🌍 Erupcje wystąpiły m.in.: w lutym i maju 2022 r., lipcu i sierpniu 2024 r., czerwcu 2025 r., styczniu i lutym 2026 r.



Etna – czynny wulkan (Włochy – Sycylia)

Czym są gejzery?

- 🌐 **Gejzery** – **gorące źródła**, które **cyklicznie wyrzucają pod ciśnieniem wodę i parę wodną** (niekiedy z domieszką okruchów skalnych).
- 🌐 Występują na obszarach o **współczesnej lub niedawnej aktywności wulkanicznej**, tam, gdzie pod powierzchnią krążą bogate w minerały **wody hydrotermalne**.
- 🌐 Ich **ujścia mają najczęściej postać szczeliny lub wypełnionego wodą krateru**.





Trzęsienia Ziemi

Definicja trzęsień ziemi

- ☛ **Trzęsienie ziemi** – gwałtowne wyładowanie naprężeń skumulowanych w skałach **litosfery** (skorupy ziemskiej oraz warstwy perydotytowej).
- ☛ Proces ten objawia się w **postaci drgań powierzchni** wywołanych przez **fale sejsmiczne**, którym towarzyszy **przemieszczanie się mas skalnych wzdłuż uskoków**.
- ☛ Choć samo pęknięcie skał trwa zazwyczaj krótko (najczęściej od ułamka sekundy do kilku sekund), odczuwalne wstrząsy mogą trwać znacznie dłużej.

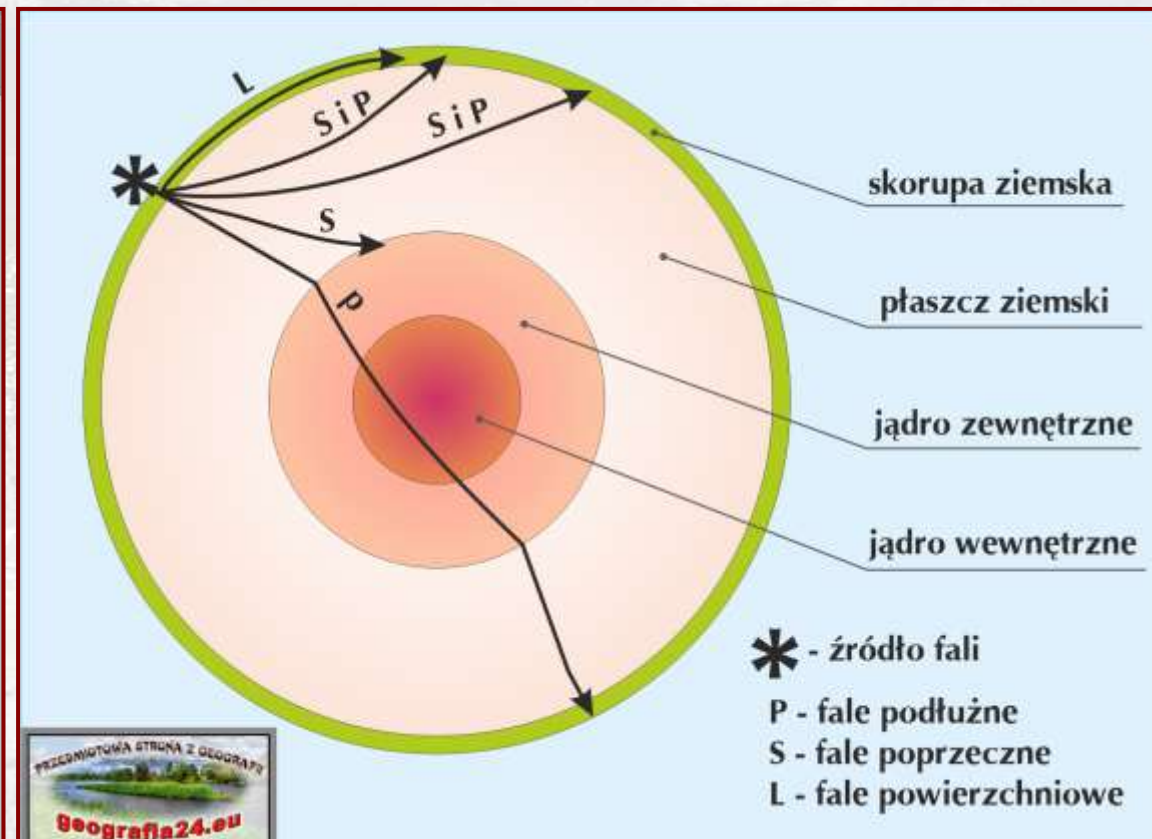
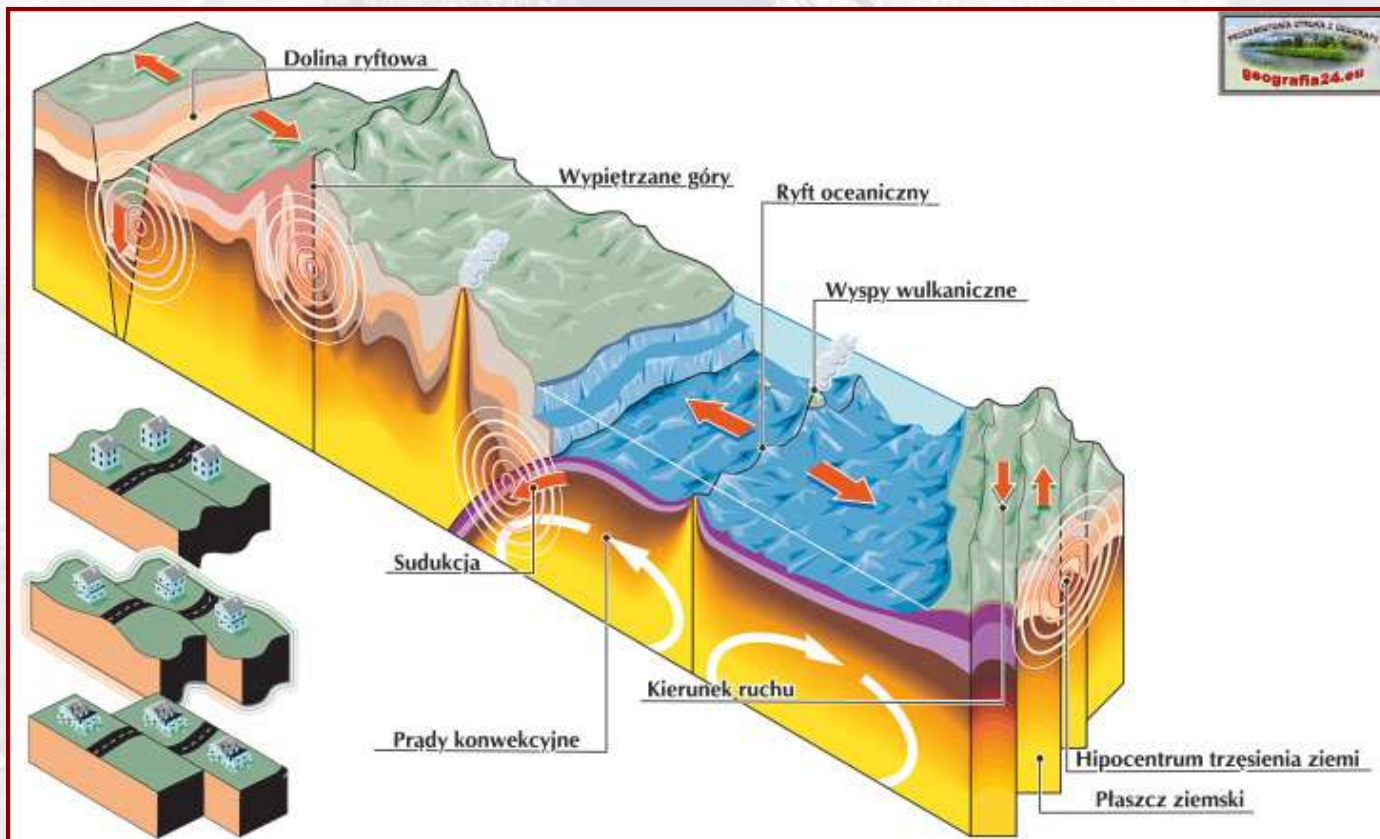


Ślub podczas trzęsienia Ziemi



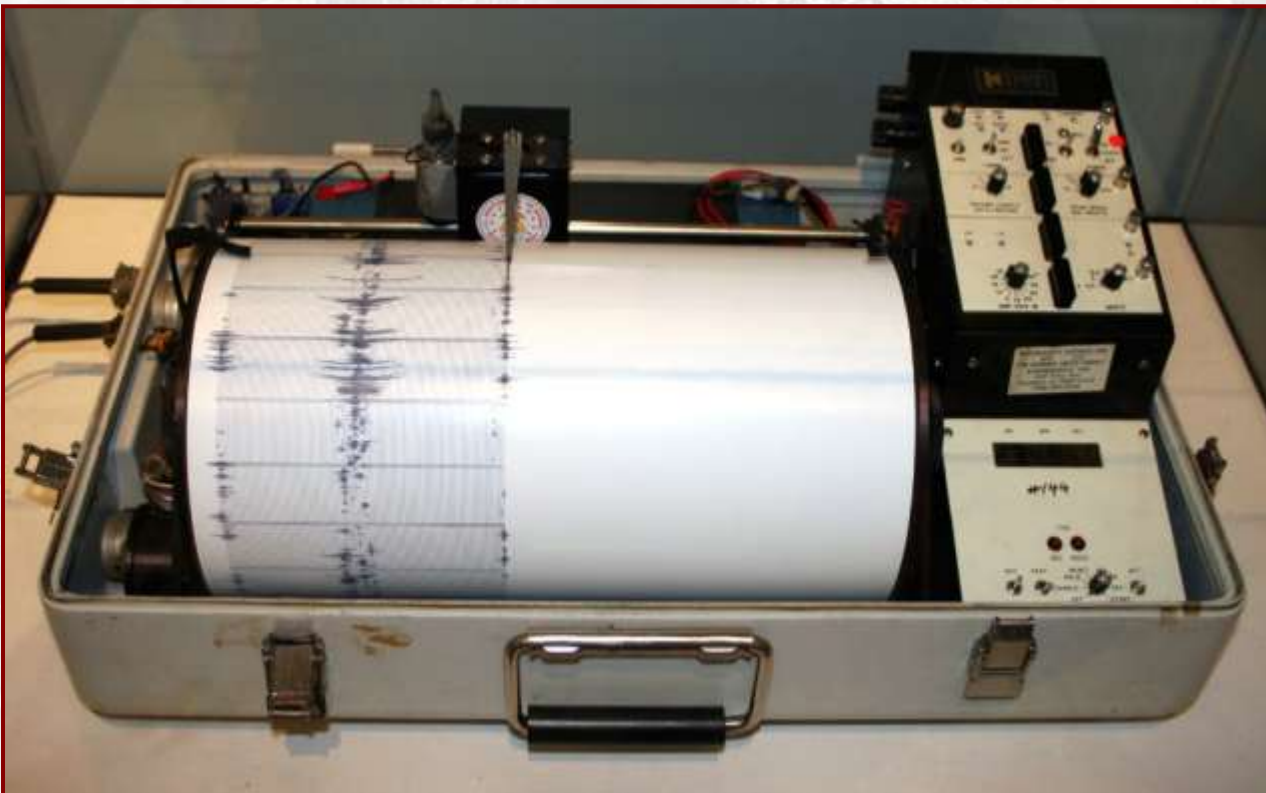
Rodzaje fal sejsmicznych

- 🌐 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 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**.



Sejsmograf

- 🌐 **Sejsmografy** – urządzenia rejestrujące fale sejsmiczne.
- 🌐 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.



Sejsmograf ruchu poziomego – schemat budowy



Seismogram

🌐 **Seismogram** – wykres drgań zarejestrowany przez seismograf.

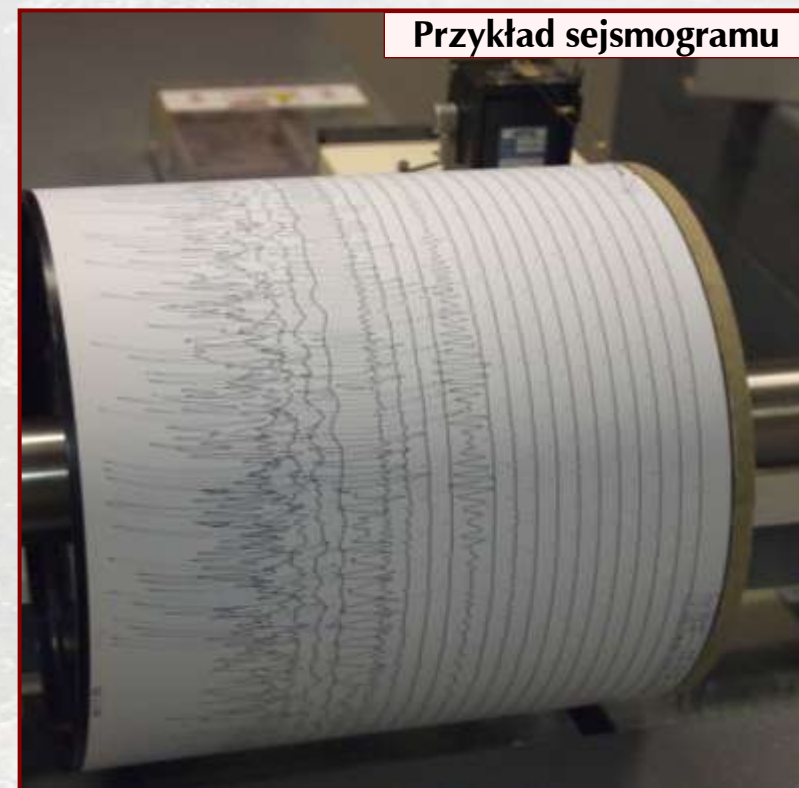
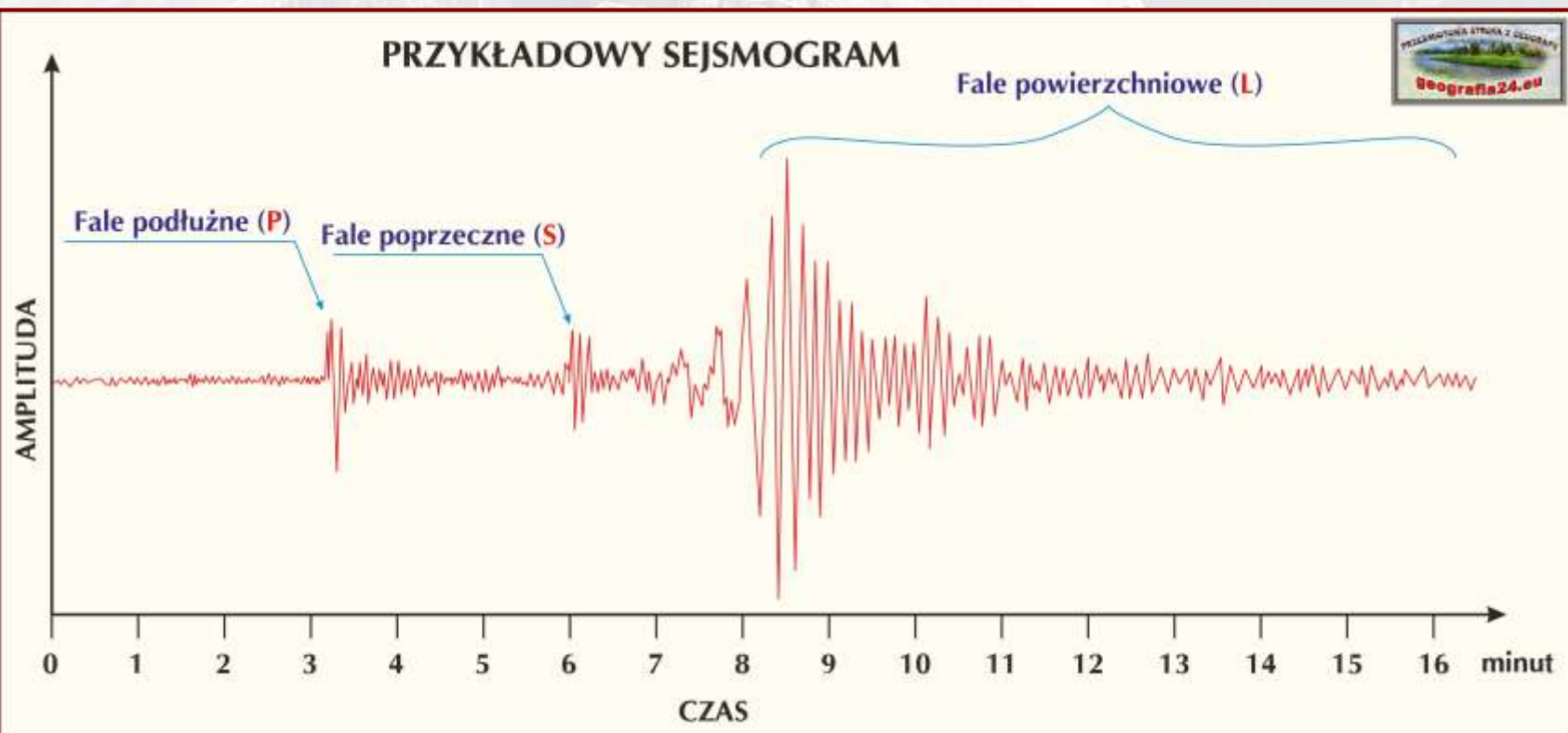
🌐 Analiza różnicy czasu przybycia fal (różnica między falą P a S) do co najmniej trzech stacji seismicznych pozwala na precyzyjne wyznaczenie lokalizacji źródła wstrząsu (metoda triangulacji).

🌐 Trzęsienie ziemi rzadko jest pojedynczym zdarzeniem i zazwyczaj składa się z **serii drgań**:

🌐 **wstrząsy wstępne** – słabe drgania poprzedzające główne zdarzenie.

🌐 **wstrząs główny** – najsilniejsze wyładowanie energii.

🌐 **wstrząsy wtórne** – występują po wstrząsie głównym, gdy naprężenia w skałach ulegają wyrównaniu (ich siła i częstotliwość maleją z czasem i zanikają).



Terminy związane z trzęsieniami Ziemi: hipocentrum (ognisko) i epicentrum (ośrodek)

- 🌐 **Hipocentrum (ognisko)** – miejsce w głębi Ziemi, w którym następuje gwałtowne uwolnienie energii wywołujące trzęsienie ziemi.
- 🌐 Od niego fale sejsmiczne rozchodzą się kołami we wszystkich kierunkach.
- 🌐 Hipocentrum może być położone w przypadku:
 - 🌐 **trzęsień płytkich** – na niewielkich głębokościach **do 70 km** (85% trzęsień ziemi),
 - 🌐 są najbardziej niszczycielskie ze względu na bliskość powierzchni Ziemi;
 - 🌐 **trzęsień średniogłębokich** – na głębokościach **70-300 km** (12% trzęsień ziemi);
 - 🌐 **trzęsień głębokich** – na głębokościach: **300-700 km** (3% trzęsień ziemi),
 - 🌐 są one wyraźnie słabsze, lecz odczuwalne na dużym obszarze (ulegają dużemu stłumieniu).
- 🌐 **Epicentrum (ośrodek)** – punkt na powierzchni Ziemi położony bezpośrednio nad hipocentrum.
- 🌐 Do tego miejsca fale sejsmiczne docierają najszybciej, zaś wstrząsy są zwykle najsilniejsze.
- 🌐 Ich natężenie maleje wraz ze wzrostem odległości od tego punktu.



Ocena siły trzęsień ziemi

- 🌐 **Oceny siły trzęsień ziemi** dokonujemy za pomocą:
- 🌐 **skali intensywności Mercallego,**
- 🌐 **skali magnitudowej Richtera.**



Skala intensywności Mercallego (skala Mercallego-Cancaniego-Sieberga, skala MCS)

Skala intensywności Mercallego (skala MCS):

- 🌐 **zamknięta,**
- 🌐 **dwunastostopniowa** (zapis cyframi rzymskimi),
- 🌐 **oparta na subiektywnej 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,
 - 🌐 **II-III – lekkie** – ledwo wyczuwalne przez ludzi (lekkie kołysanie),
 - 🌐 **IV-V – umiarkowane** – dobrze wyczuwalne przez ludzi i powodujące lekkie zniszczenia mienia (przewracanie przedmiotów i pękanie murów),
 - 🌐 **VI-VII – silne** – powodują duże uszkodzenia,
 - 🌐 **VIII-IX – niszczycielskie** – powodują bardzo duże zniszczenia,
 - 🌐 **X-XII – katastrofalne** – powodują całkowite zniszczenia i zmiany w rzeźbie terenu.

Skala intensywności Mercallego (skala Mercallego-Cancaniego-Sieberga, skala MCS)



I – Niewyczuwalne



II – Bardzo słabe



III – Słabe



IV – Dość umiarkowane



V – Umiarkowane



VI – Silne



VII – Bardzo silne



VIII – Dość niszczycielskie



IX – Niszczycielskie



X – Katastrofalne



XI – Skrajnie katastrofalne



XII – Całkowite zniszczenie

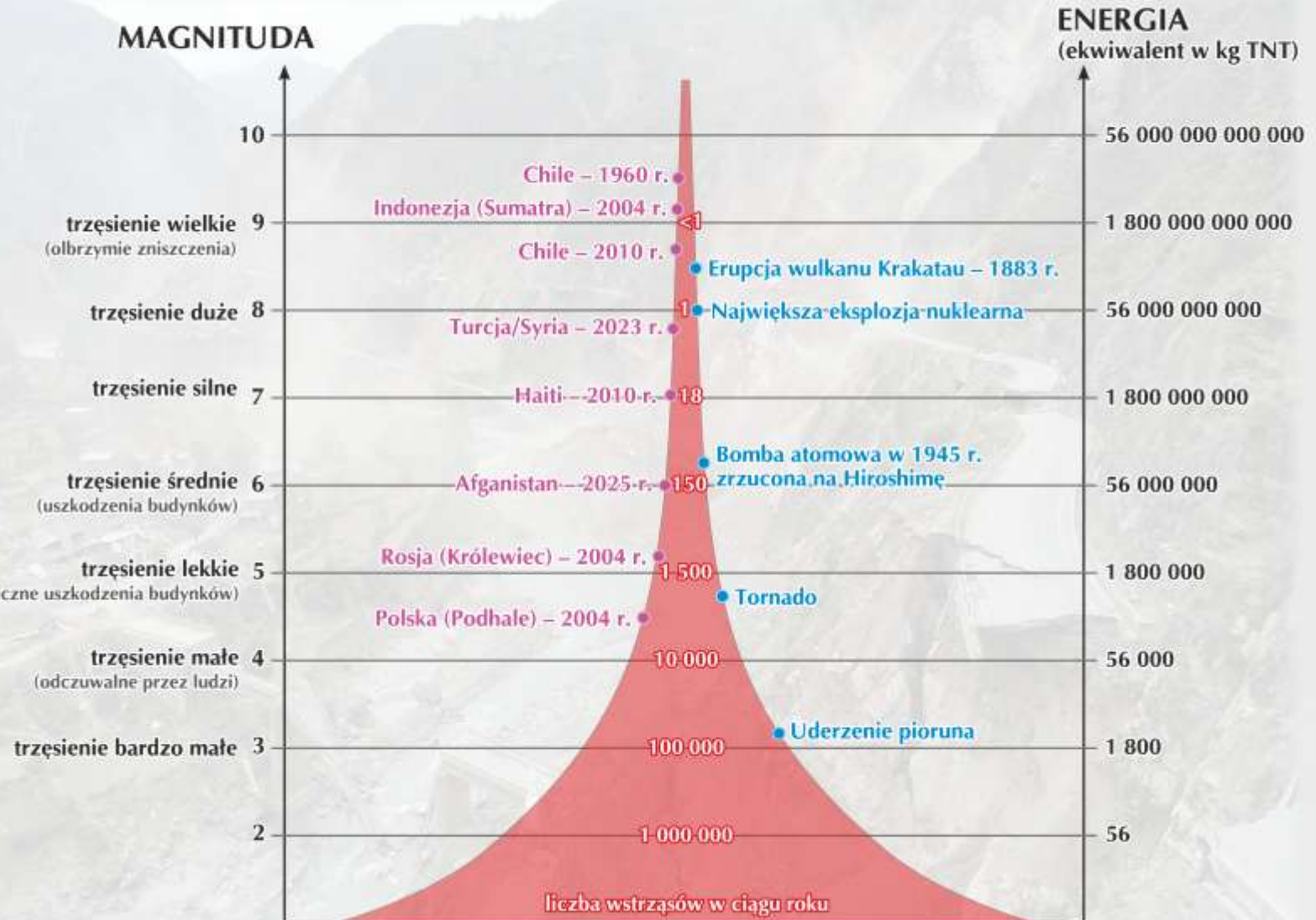
Skala Richtera

Skala magnitudowa Richtera:

- 🌐 **otwarta** (brak górnej granicy),
- 🌐 **dziwięciostopniowa** w praktyce (najsilniejsze zarejestrowane trzęsienie ziemi miało magnitudę 9,5 i wystąpiło w Chile w 1960 r.),
- 🌐 określa natężenie trzęsienia ziemi na podstawie **skali logarytmicznej**,
- 🌐 **każdy stopień wyższy odpowiada w przybliżeniu dziesięciokrotnemu wzrostowi amplitudy drgań w porównaniu do stopnia niższego**,
- 🌐 np. trzęsienie o magnitudzie 4 jest:
 - 🌐 10 razy słabsze niż magnitudy 5,
 - 🌐 100 razy słabsze niż magnitudy 6;
- 🌐 obecnie stosuje się różne pochodne skali Richtera, dlatego w literaturze mogą występować nieznaczne różnice w opisach tych samych trzęsień ziemi.

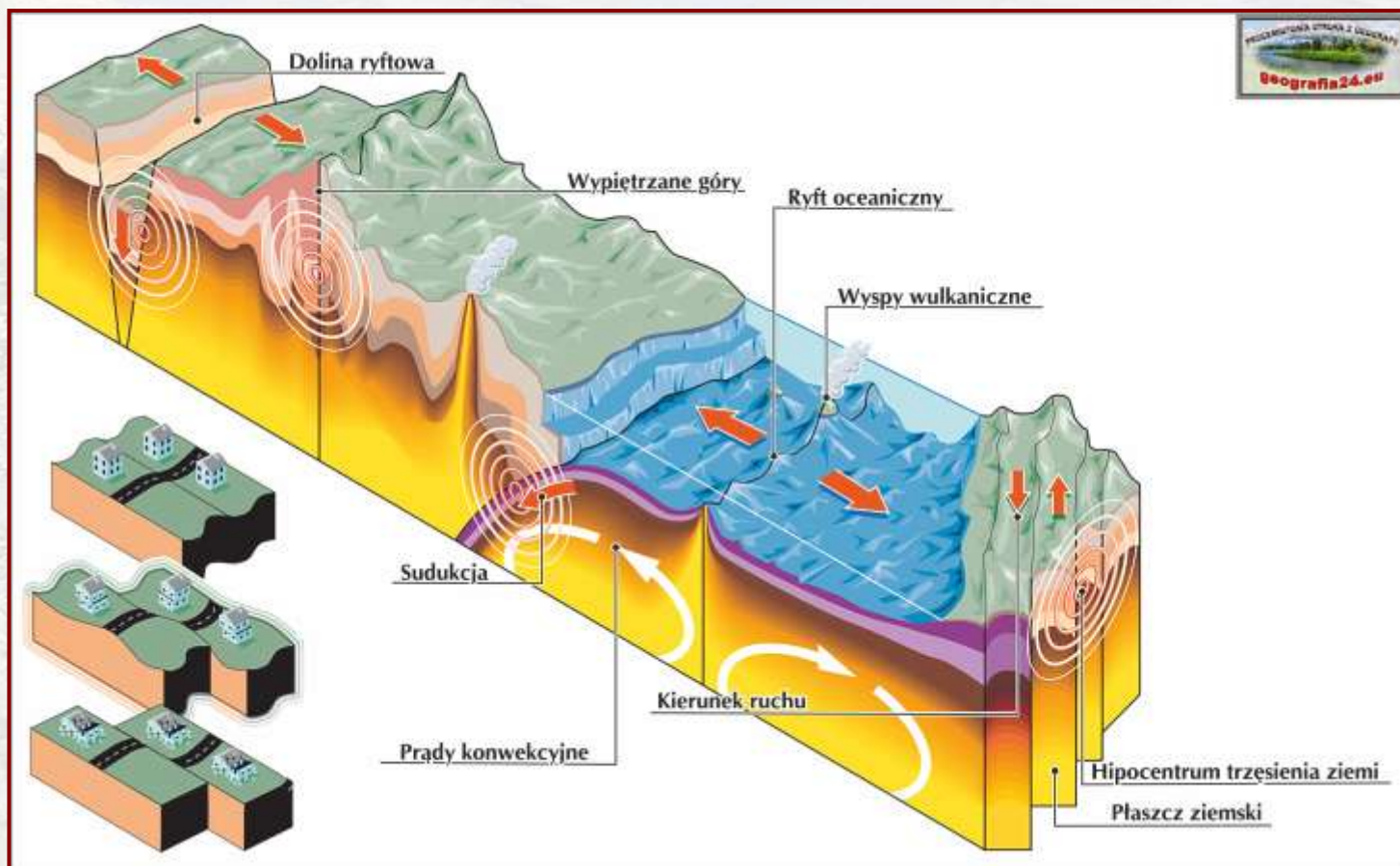


Zależność między magnitudą a energią fal sejsmicznych



Przyczyny występowania trzęsień ziemi na świecie

- 🌐 **Ziemia** posiada **budowę warstwową**.
- 🌐 Jej zewnętrzna, sztywna powłoka – **litosfera** – **nie jest jednolita**.
- 🌐 Składa się z różnych **płyt tektonicznych**.
 - 🌐 **Płyty** te “**plywają**” (przemieszczają się) **po astenosferze** (plastycznej i częściowo stopionej warstwie górnego płaszcza Ziemi).
 - 🌐 **Płyty** są w **ciągłym ruchu**: **zderzają się**, **odsuwają od siebie** lub **przesuwają się równolegle** względem siebie.
 - 🌐 **Na stykach płyt** **dochodzi do dużego tarcia**.
 - 🌐 **Gdy siły naprężeń** przekroczą **wytrzymałość skał**, następuje ich **gwałtowne pęknięcie i przesunięcie**, co odczuwamy jako **trzęsienie ziemi**.
- 🌐 **Lokalizacja**:
 - 🌐 **około 90% wszystkich trzęsień ziemi** (tzw. **trzęsienia tektoniczne**) **występuje wzdłuż granic płyt litosfery**.



Rodzaje trzęsień ziemi ze względu na genezę

🌐 **Trzęsienia ziemi ze względu na genezę** dzielimy na cztery główne rodzaje:

🌐 **tektoniczne** (stanowią **około 90%** wszystkich trzęsień ziemi):

🌐 **najczęstsze i najbardziej niszczycielskie** trzęsienia ziemi,

🌐 związane są z gwałtownym rozładowaniem naprężeń powstających w czasie przemieszczania się mas skalnych w litosferze (w czasie ruchu płyt litosfery);

🌐 **wulkaniczne** (**około 7%**):

🌐 zazwyczaj mają mniejszy zasięg i siłę niż trzęsienia tektoniczne,

🌐 związane są z aktywnością wulkaniczną:

🌐 gwałtowną erupcją wulkanów (w szczególności superwulkanów),

🌐 przemieszczeniem się magmy przez litosferę,

🌐 zapadaniem się stropów opróżnionych komór magmowych;

🌐 **zapadowe** (**około 2%**):

🌐 ich **skutki odczuwane są lokalnie**, zwykle na powierzchni niewiele większej od samego zapadliska,

🌐 związane są z zapadaniem stropów jaskiń (występują na terenach krasowych);

🌐 **antropogeniczne** (wywołane działalnością człowieka; **około 1%**):

🌐 bywają niekiedy zaliczane także do zapadowych trzęsień ziemi,

🌐 związane są z:

🌐 zapadaniem się wyrobisk górniczych (tąpnięcia; w Polsce stwierdzone je, m.in. w rejonie Bełchatowa, na Dolnym Śląsku i Górnym Śląsku),

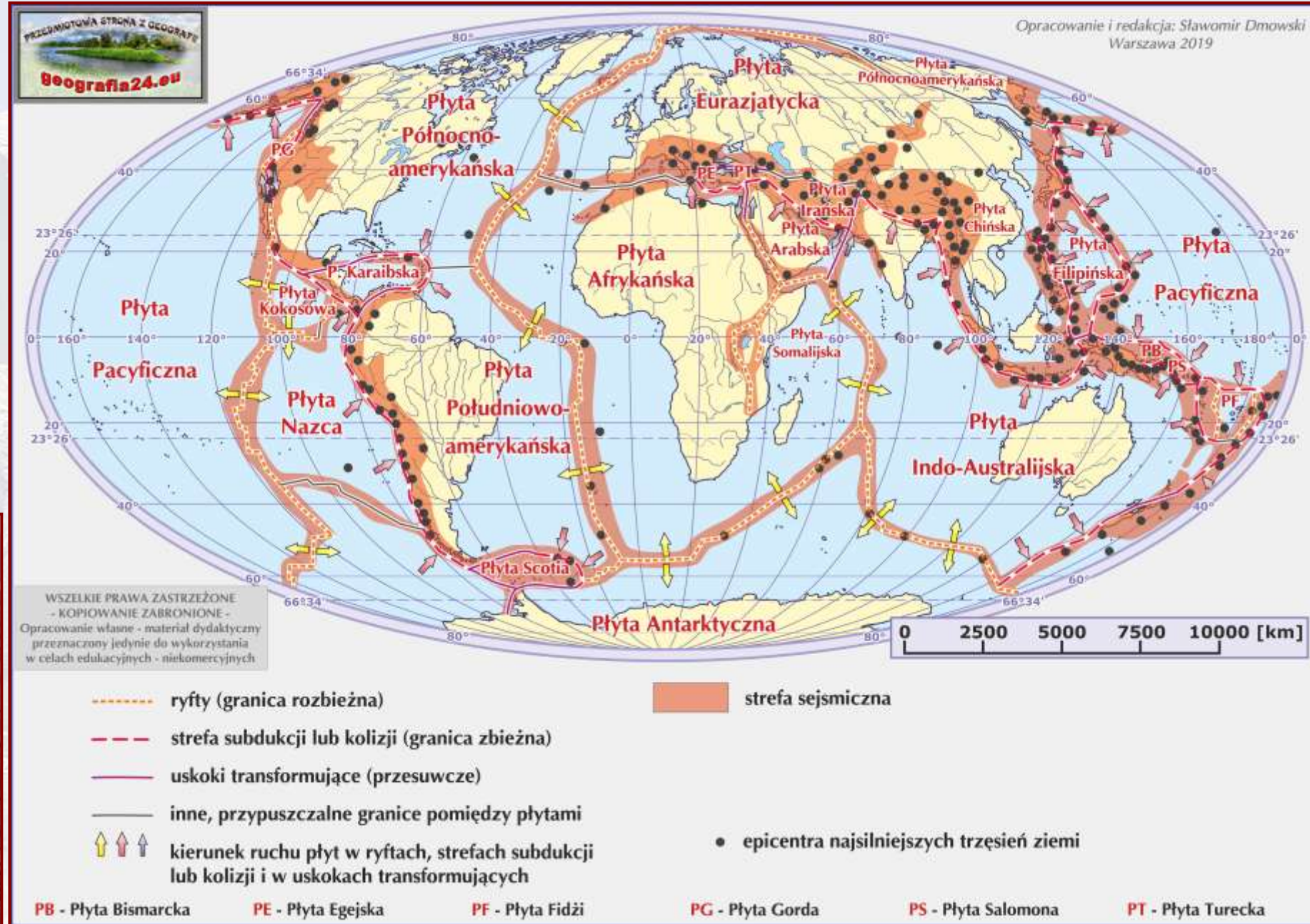
🌐 celowym wyburzaniem budynków,

🌐 próbnymi wybuchami jądrowymi lub działaniem terrorystycznym z użyciem bomb.



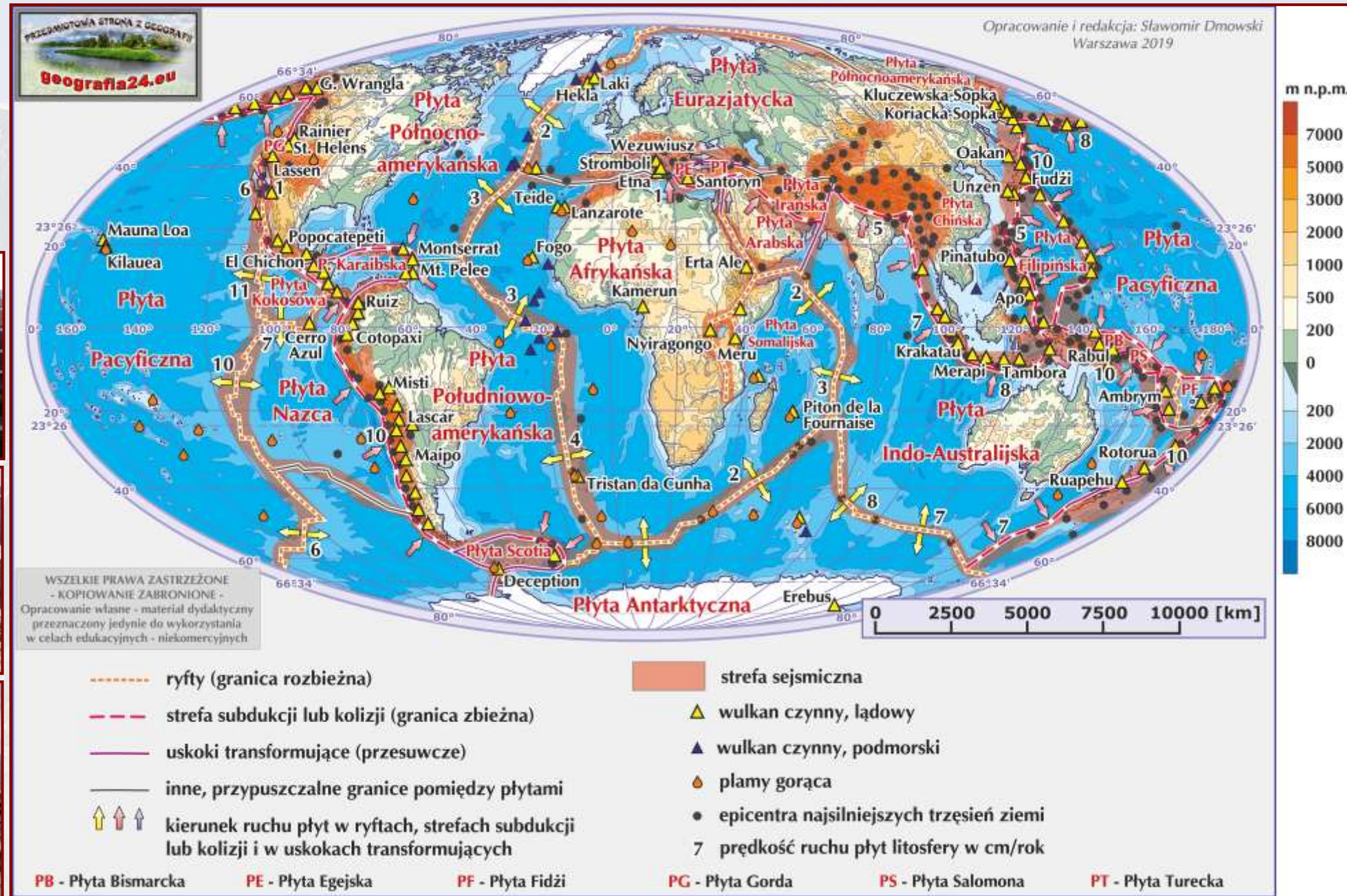
Rejony występowania trzęsień ziemi

- 🌐 **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 **wstrząsy wulkaniczne**.



Rejony występowania trzęsień ziemi (tektonicznych i wulkanicznych)

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



Podział obszarów ze względu na sejsmikę

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

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

● obejmują: **obszar wokółpacyficzny** (Pacyficzny Pierścień Ognia), **alpejskie pasma fałdowe** (pas Alpejsko-Himalajski), **grzbiety śródoceaniczne** oraz **basen Morza Karaibskiego**;

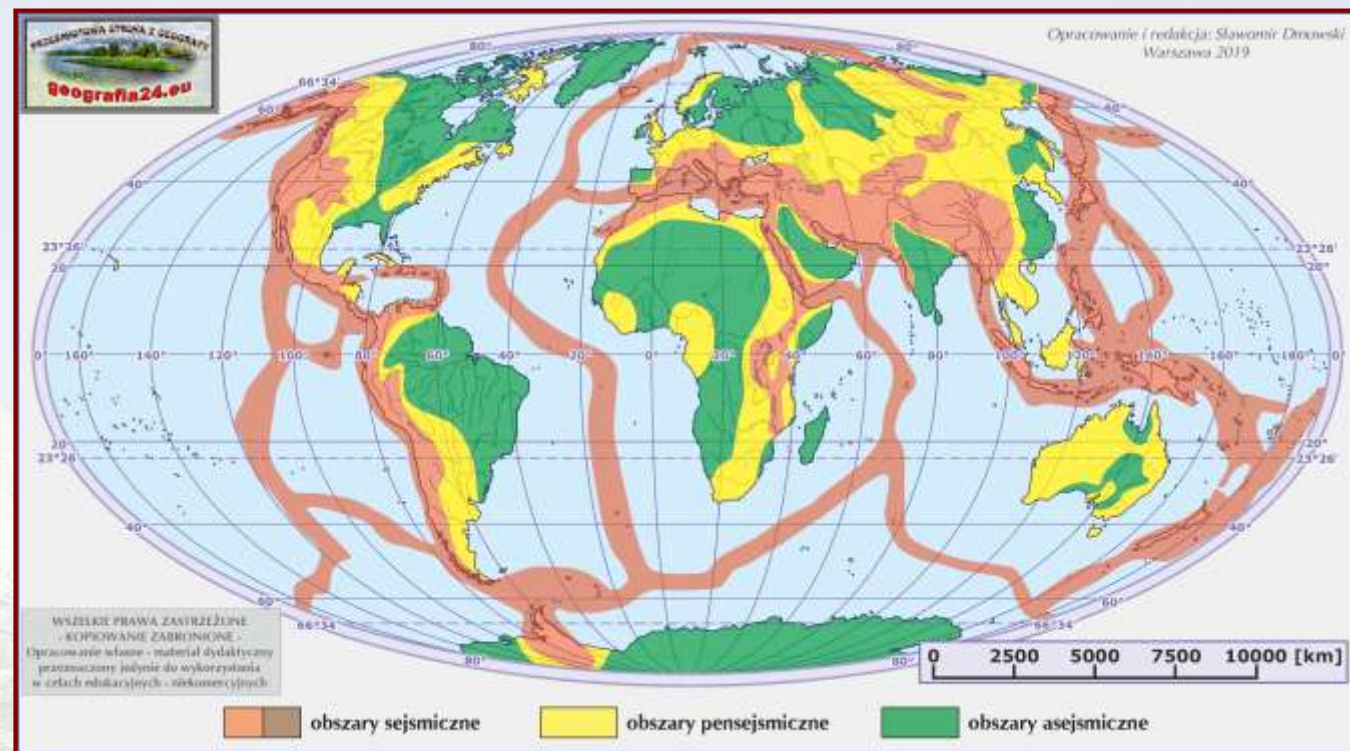
● **obszary pensejsmiczne** – wstrząsy występują rzadko (sporadycznie) i mają niewielką siłę;

● 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 oraz zachodnia i południowa część obszaru Polski;

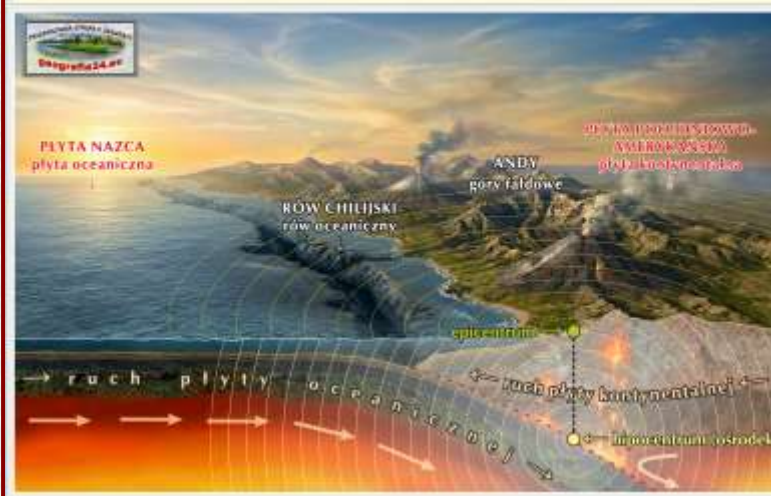
● **obszary asejsmiczne** – regiony stabilne, gdzie trzęsienia ziemi niemal nie występują lub są zjawiskiem ekstremalnie rzadkim o znikomej sile;

● stanowią one najstabilniejsze fragmenty litosfery i obejmują **prekambryjskie kratony**, jak również **dno basenów oceanicznych** (z dala od grzbietów);

● dominuje na przeważającym obszarze Polski, w szczególności w części północno-wschodniej kraju (województwa warmińsko-mazurskie i podlaskie).



Trzęsienia ziemi w strefie subdukcji na wybrzeżu Ameryki Południowej



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:
 - 🌐 upłynnienie gruntu, 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.



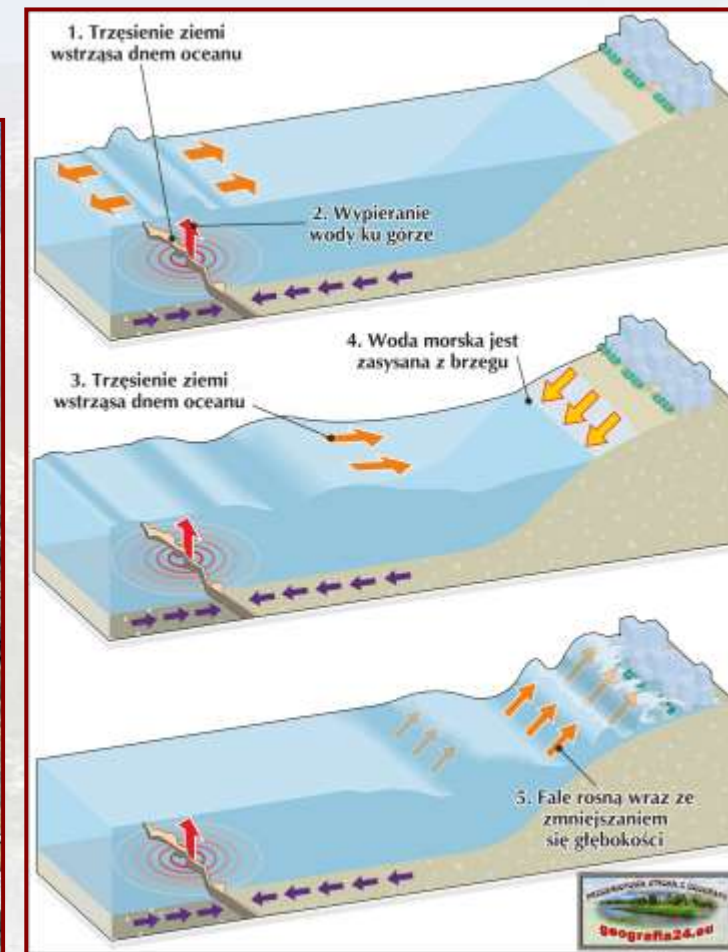
Efekt po wystąpieniu trzęsienia ziemi w Nepalu w 2015 r. – osuwisko



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

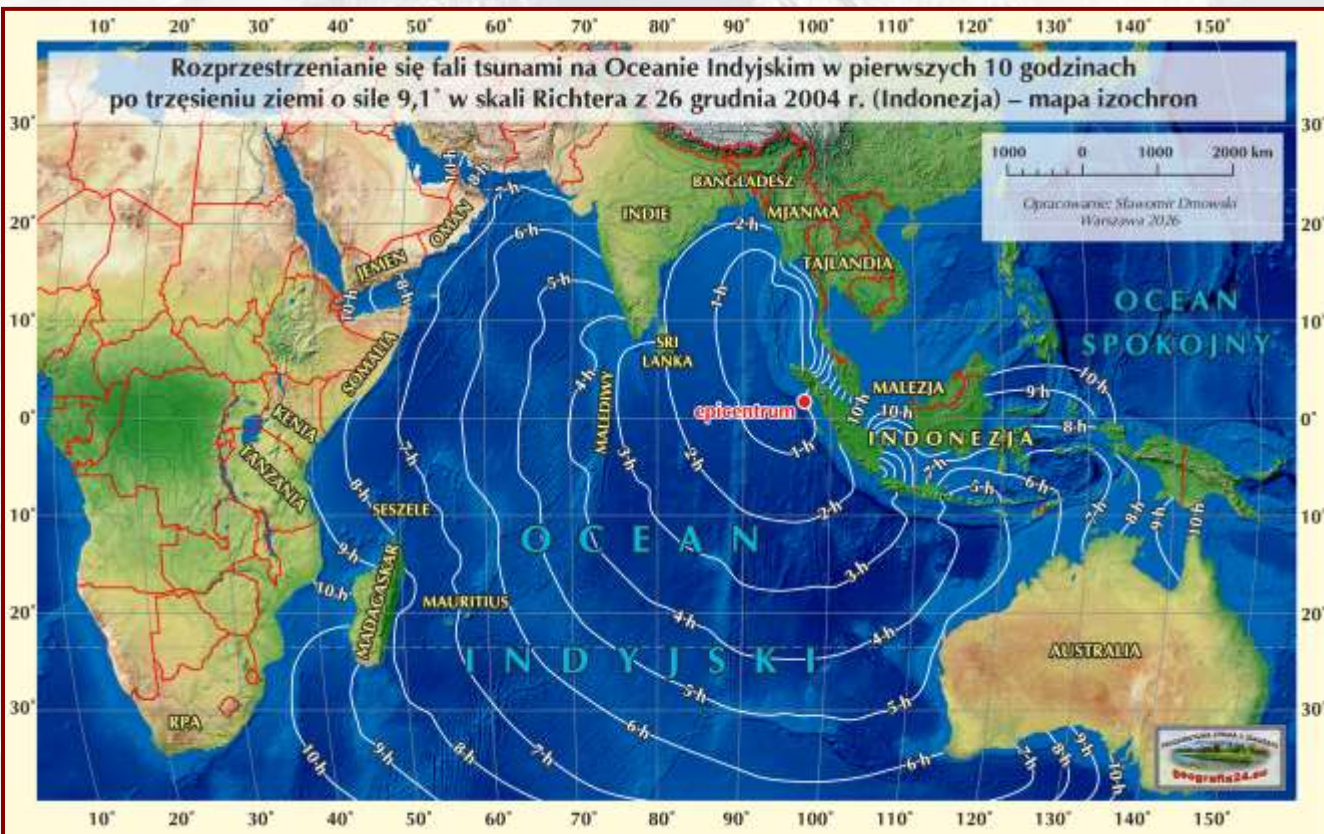
Tsunami jako skutek trzęsień ziemi

- 🌐 Trzęsieniom ziemi z ogniskami pod dnem morskim lub przybrzeżnym często towarzyszą tsunami – fale o ogromnej energii, przemieszczające się na tysiące kilometrów.
- 🌐 Na otwartym oceanie osiągają prędkość do 1000 km/h, ale ze względu na dużą długość są prawie niezauważalne.
- 🌐 Dopiero przy wybrzeżach, wskutek tarcia o dno, spiętrzają się, osiągając wysokość maksymalnie do około 50 m.
- 🌐 Obecnie działają służby monitorujące tsunami i ostrzegające mieszkańców, jednak na ewakuację pozostaje zwykle co najwyżej tylko kilka godzin, co uniemożliwia zabezpieczenie całego mienia.
- 🌐 Najważniejsze jest uratowanie jak największej ilości ludzi.



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

- 🌐 **Megatsunami z 26 grudnia 2004 r.** spustoszyło wybrzeża m.in. Indonezji, Sri Lanki, Indii, Tajlandii i Somalii.
- 🌐 Fale na Oceanie Indyjskim powstały w wyniku **trzęsienia ziemi o magnitudzie 9,1 u wybrzeży Sumatry** i dotknęły mieszkańców aż **14 krajów** (przed 2004 rokiem nie istniały niemal żadne systemy ostrzegania).
- 🌐 Hipocentrum znajdowało się **30 km pod dnem morskim**, na zachód od Sumatry, w strefie subdukcji Rowu Sundajskiego.
- 🌐 Fale sięgające miejscami nawet 30 m **zabiły około 228,6 tys. osób**, z czego co trzecia ofiara to dziecko.
- 🌐 Najbardziej dotknięta została Indonezja – ponad połowa ofiar i ponad pół miliona przesiedlonych osób.
- 🌐 Straty ekonomiczne wyniosły około 15 mld dolarów.



KONIEC



Materiały pomocnicze do nauki
Opracowane w celach edukacyjnych (niekomercyjnych)

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

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE
- KOPIOWANIE ZABRONIONE -