



## **V. Wnętrze Ziemi. Procesy endogeniczne**

### **5. Plutonizm i wulkanizm**



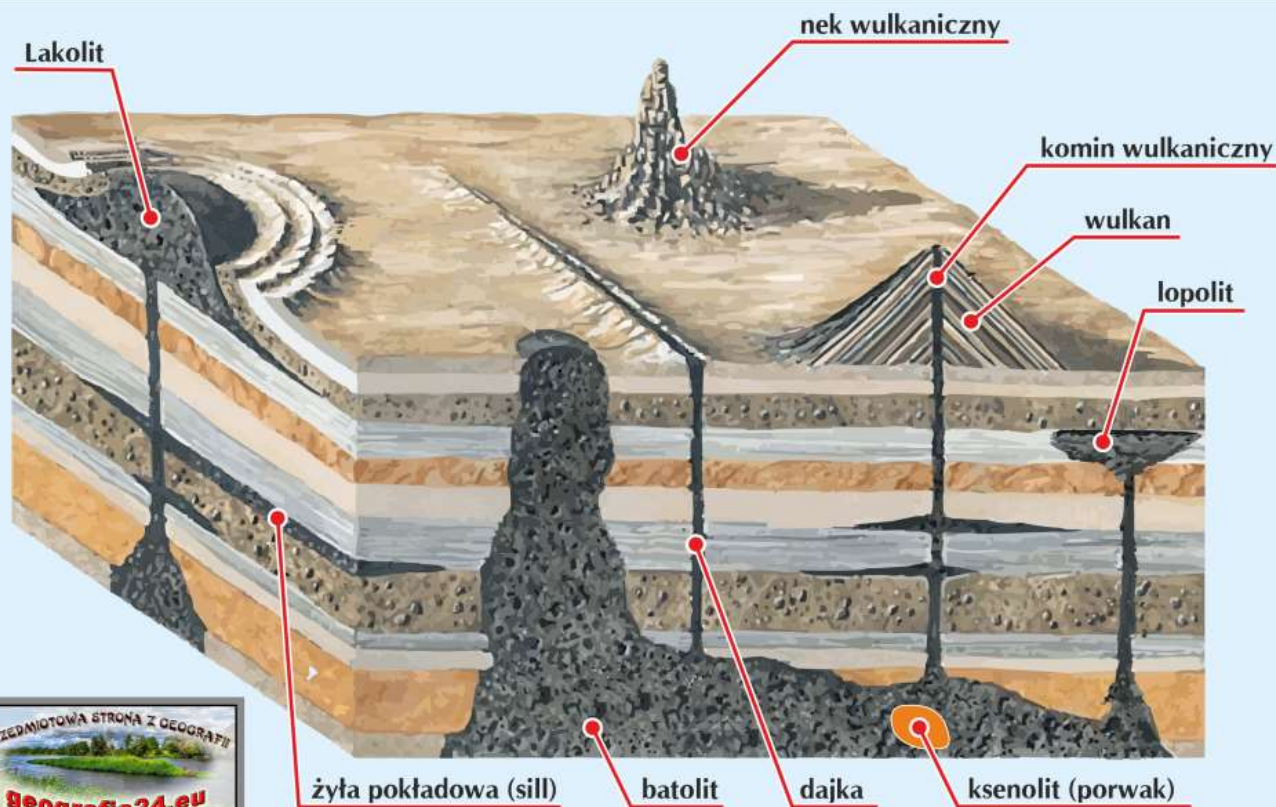
**Plutonizm jako proces endogeniczny**

# Plutonizm

☛ **Plutonizmem** (nazwa od Plutona - boga podziemi z mitologii greckiej) nazywamy zjawiska związane:

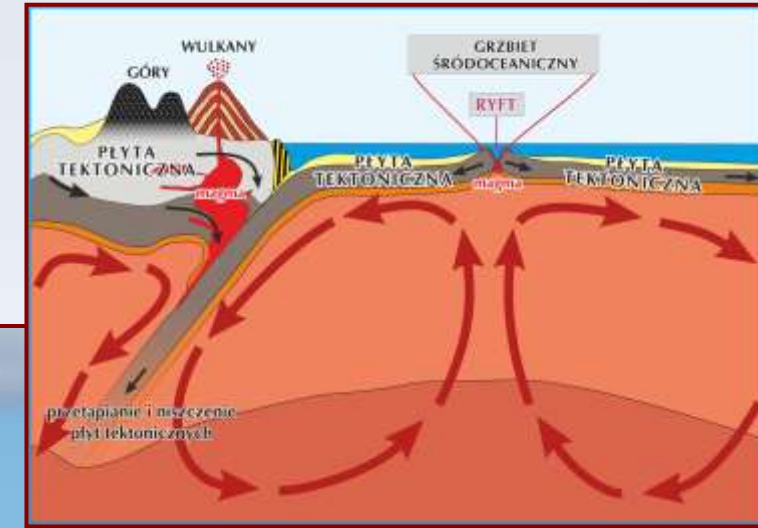
- ☛ z lokalnym upłynnieniem skał w głębi litosfery (powstawaniem ognisk magmowych),
- ☛ wnikaniem, czyli intrudowaniem powstałej w ten sposób magmy w nadległe skały,
- ☛ krystalizacją skał pod powierzchnią ziemi.

☛ **Przyczyną powstawania ognisk magmowych jest zwykle lokalne podwyższenie temperatury lub zmiana ciśnienia.**



# Plutonizm i efekty jego działania

- 🌐 Skąły plutoniczne, powstałe w wyniku powolnego zastygania magmy, czasem tworzą masywy górskie.
- 🌐 Zastygłe pod powierzchnią Ziemi skąły, zbudowane najczęściej z granitu, w wyniku działalności górotwórczej zostają wypiętrzone.
- 🌐 W Polsce proces taki przeszy Tatry Wysokie.



# Magma

🌐 **Magma** jest to płynny stop, w skład którego wchodzi m.in.:

- 🌐 **krzemionka** ( $\text{SiO}_2$ ),
- 🌐 **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 700-900°C i rzadko przekracza 1200°C.

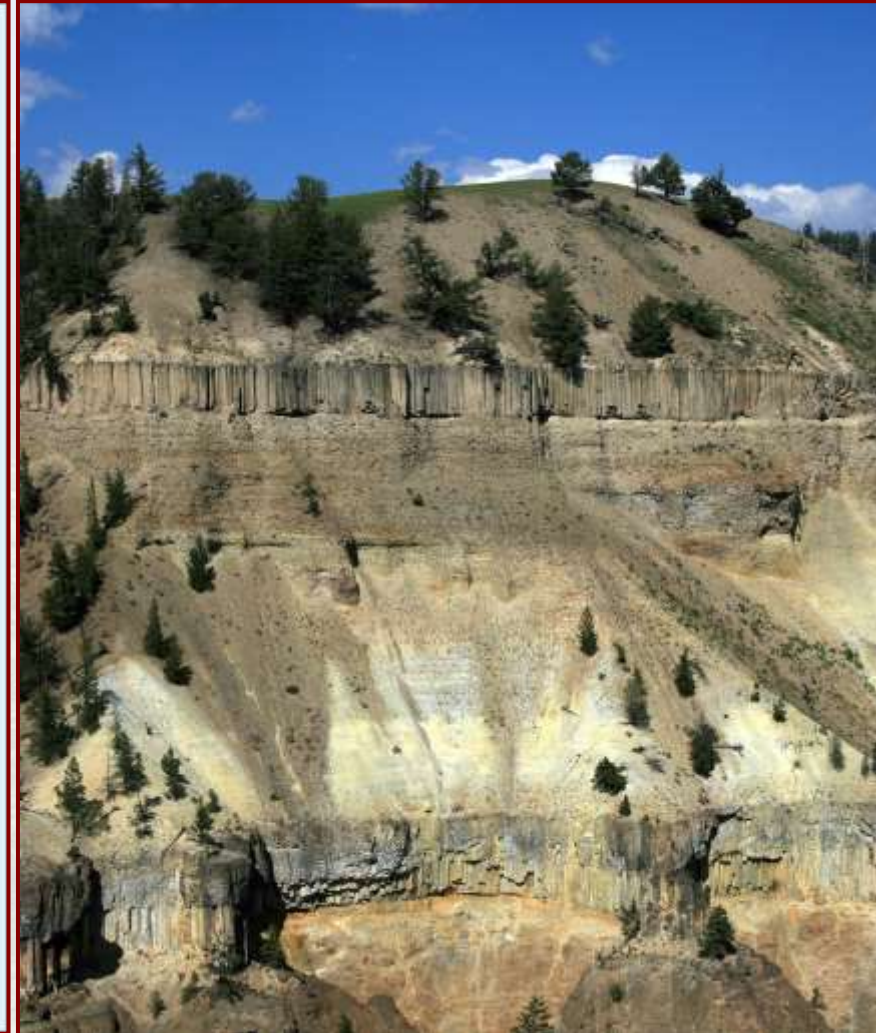
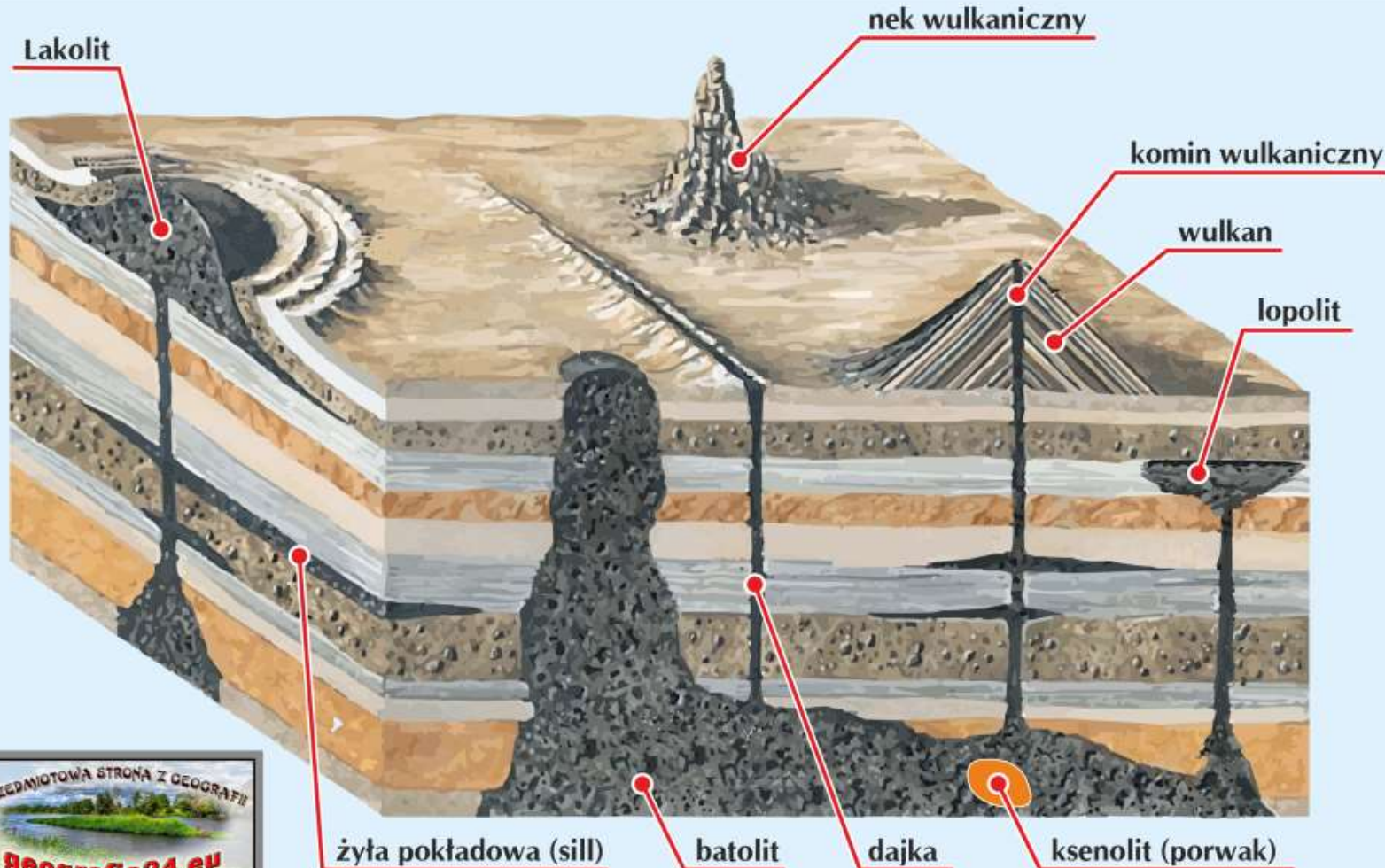
🌐 Magma krzepnie w pewnym przedziale temperatury uzależnionym od temperatury krystalizacji poszczególnych minerałów.

- 🌐 W skałach bogatych w krzemionkę krystalizację kończy zwykle kwarc.



# Intruzje i ich główne rodzaje

- Krzepnięcie magmy w otoczeniu istniejących już skał prowadzi do powstawania **intruzji**, 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.



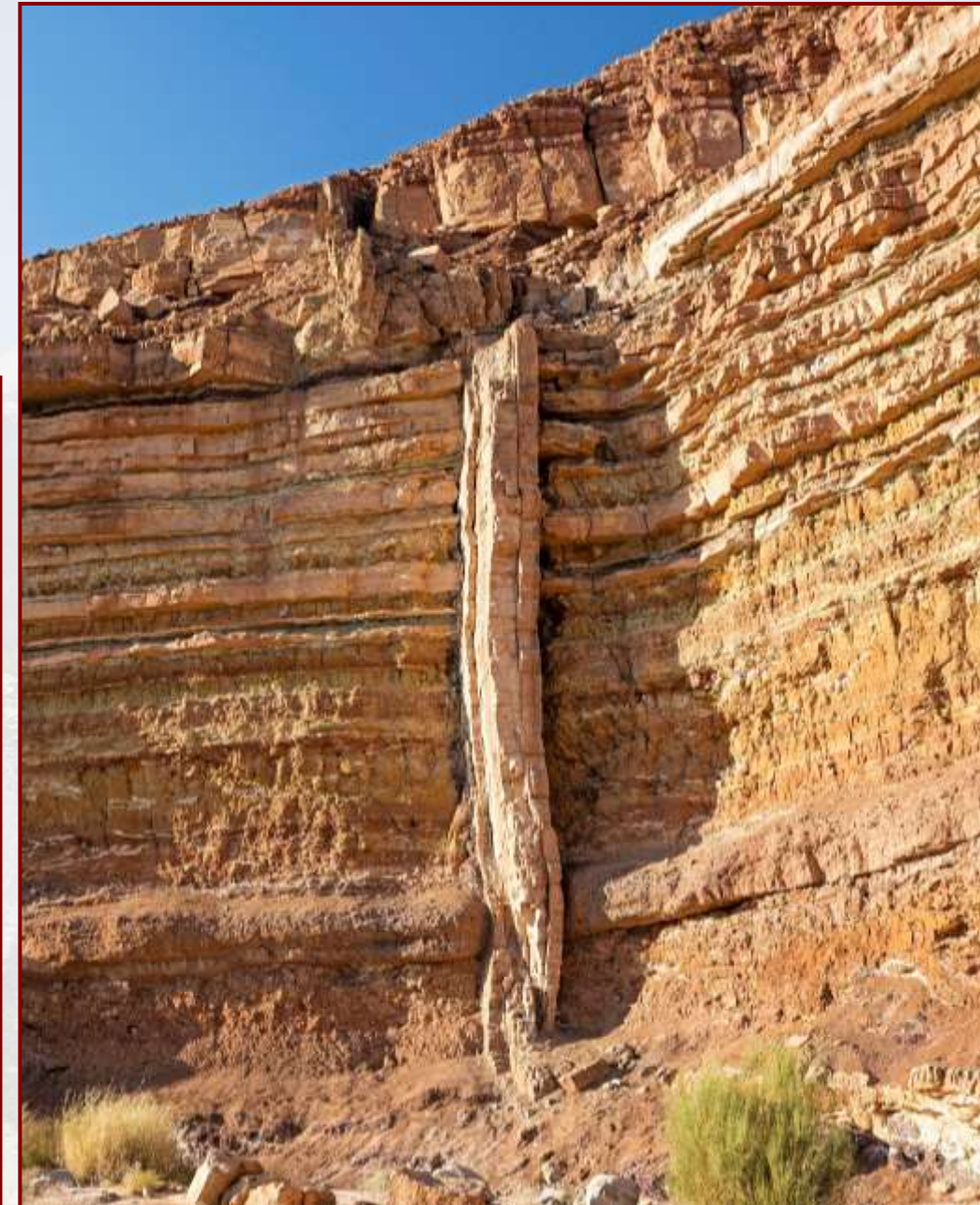
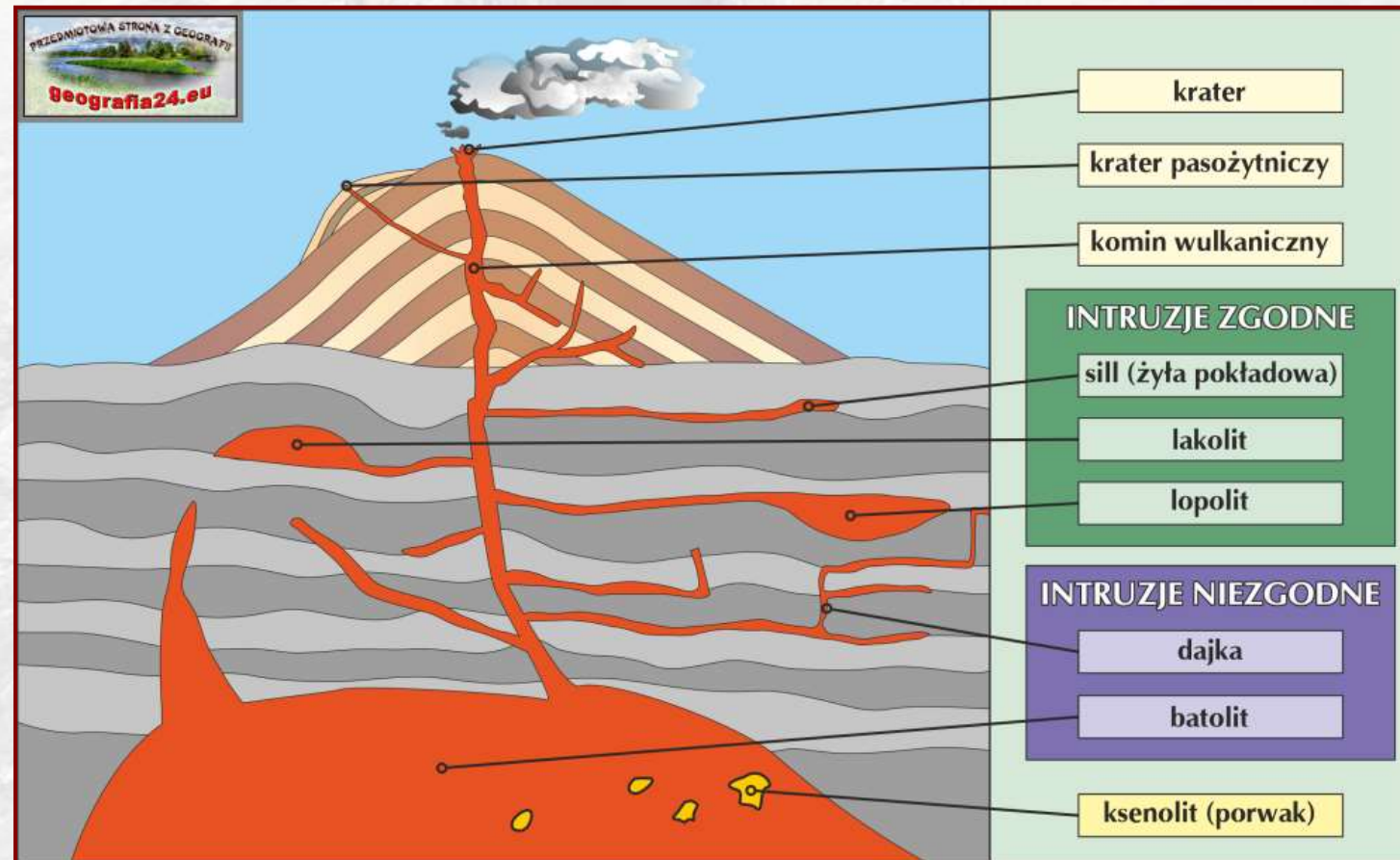
# Intruzje i ich główne rodzaje

## Intruzje tworzą struktury:

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

## ☉ Skały sąsiadujące z intruzjami ulegają z reguły:

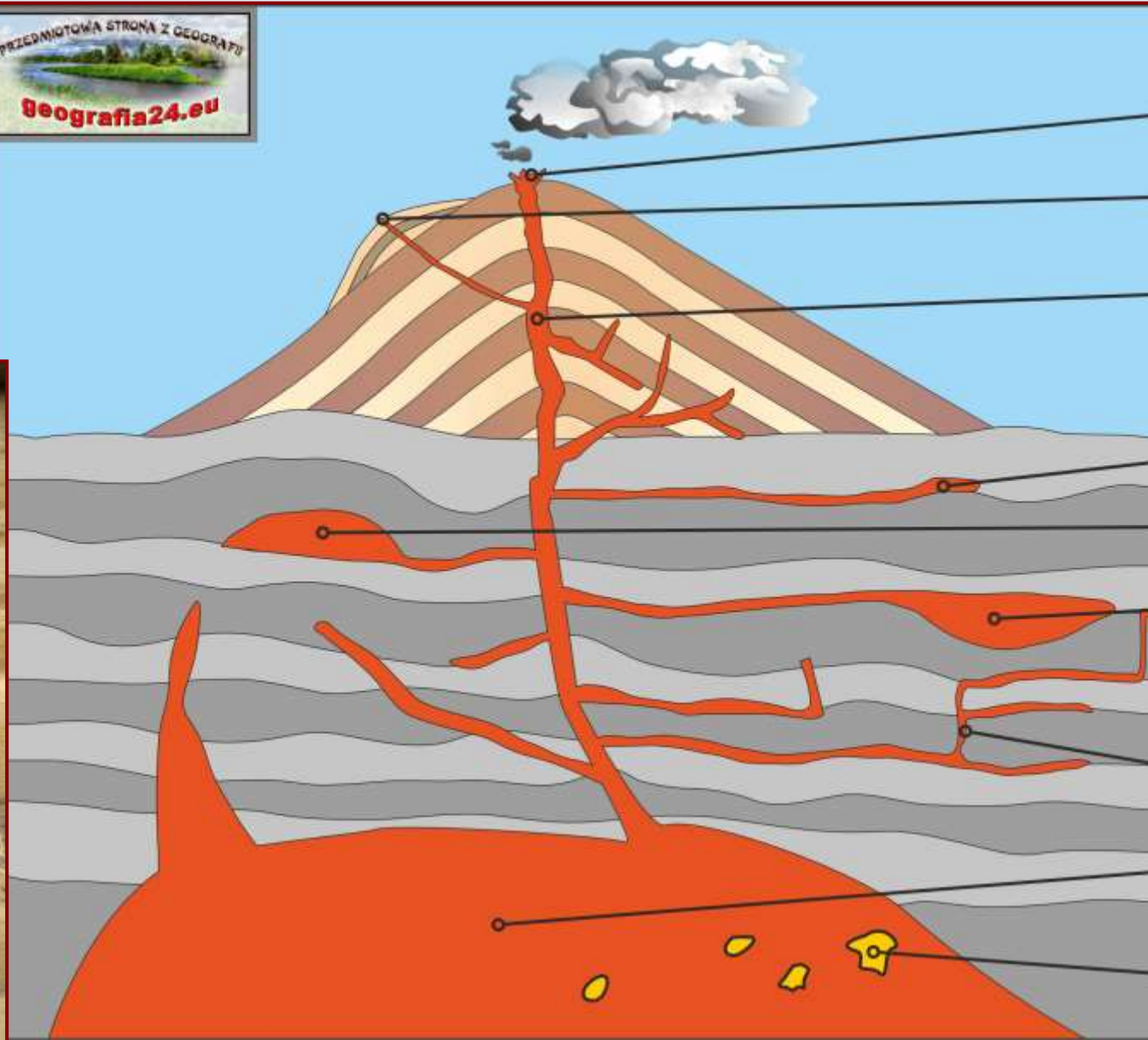
- ☉ **deformacjom** – zaburzeniom pierwotnego układu warstw,
- ☉ **przeobrażeniom** – spowodowanym wysoką temperaturą.



# Intruzje niezgodne

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

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



krater

krater pasożytniczy

komin wulkaniczny

## INTRUZJE ZGODNE

sill (żyła pokładowa)

lakolit

lopolit

## INTRUZJE NIEZGODNE

dajka

batolit

ksenolit (porwak)

Dajka





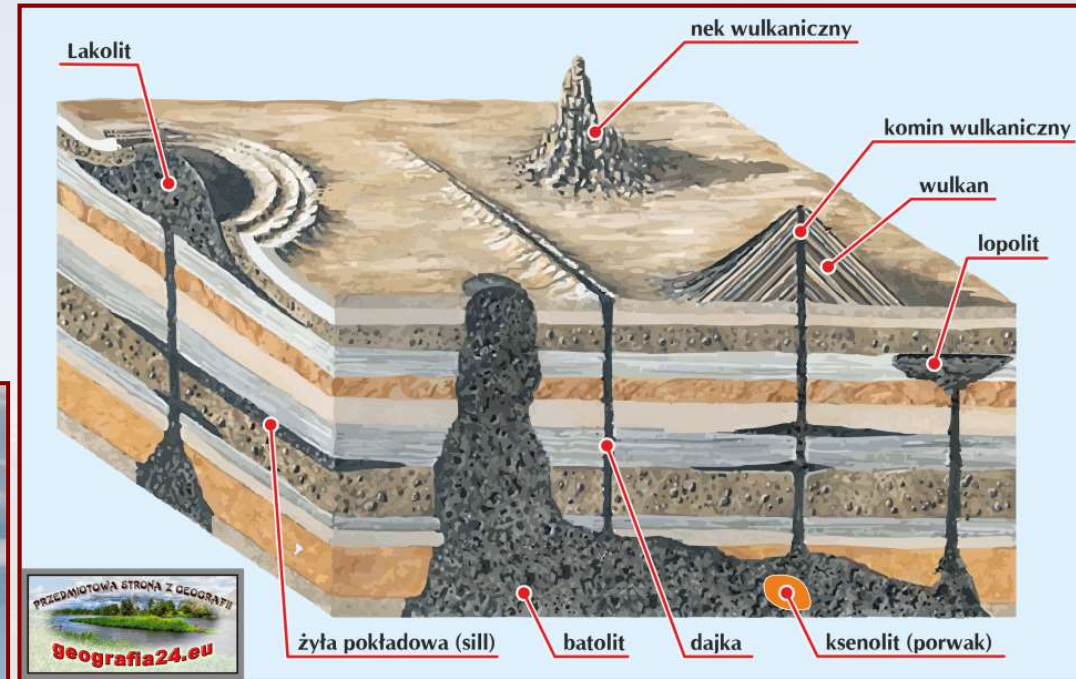
# Intruzje niezgodne: **batolity**

🌐 **Batolity** – olbrzymie intruzje o nieznannej powierzchni dolnej.

🌐 Na terenie Polski batolity powstawały podczas orogenezy waryscyjskiej (hercyńskiej) (masyw strzegomski, karkonoski, tatrzański).

🌐 W obrębie batolitów często występują także **kšenolity (porwaki)** – fragmenty skały wyrwane przez magmę ze skał otaczających.

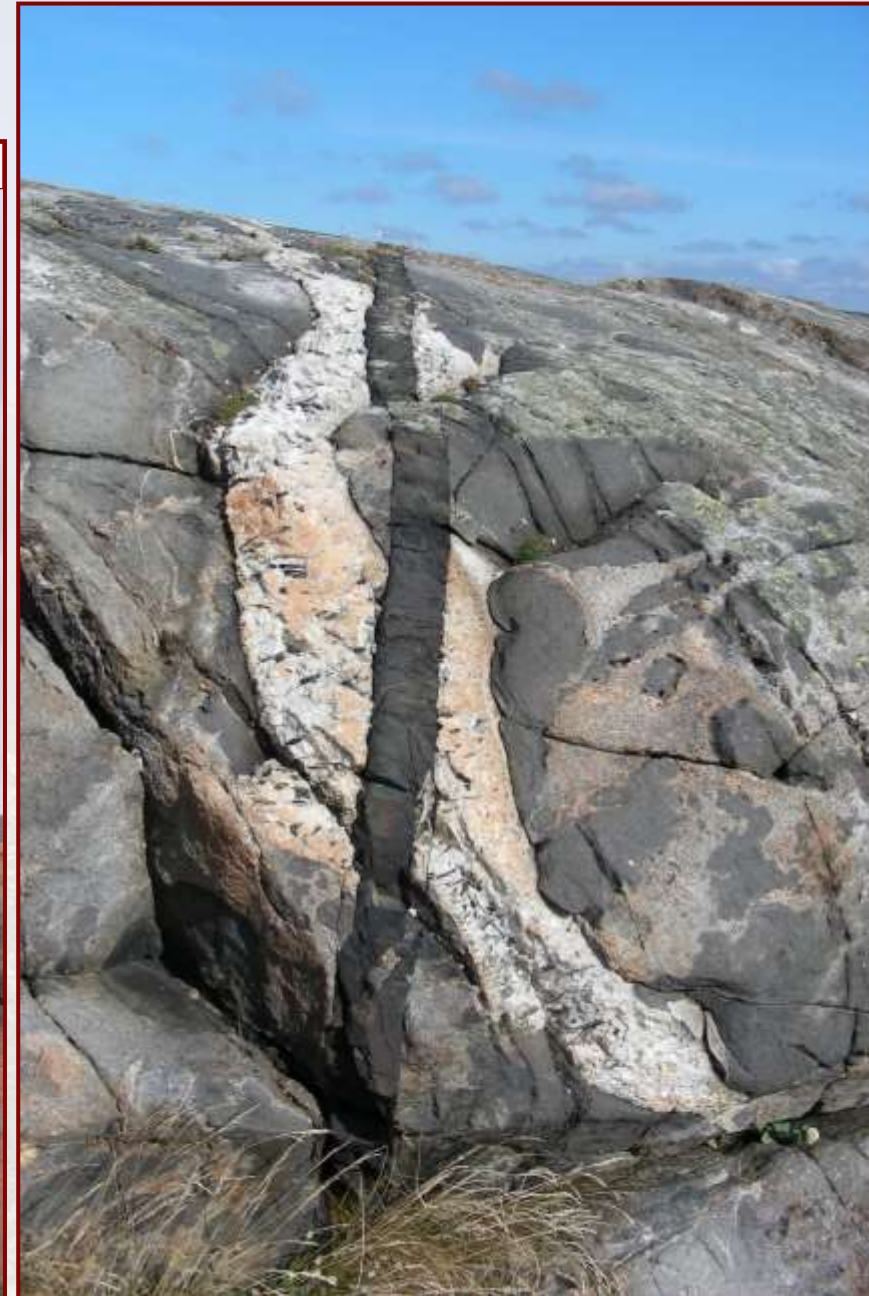
Batolit



Batolity budujące obecne góry w obrębie Parku Narodowego Yosemite w USA

# Intruzje niezgodne: **dajki**

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

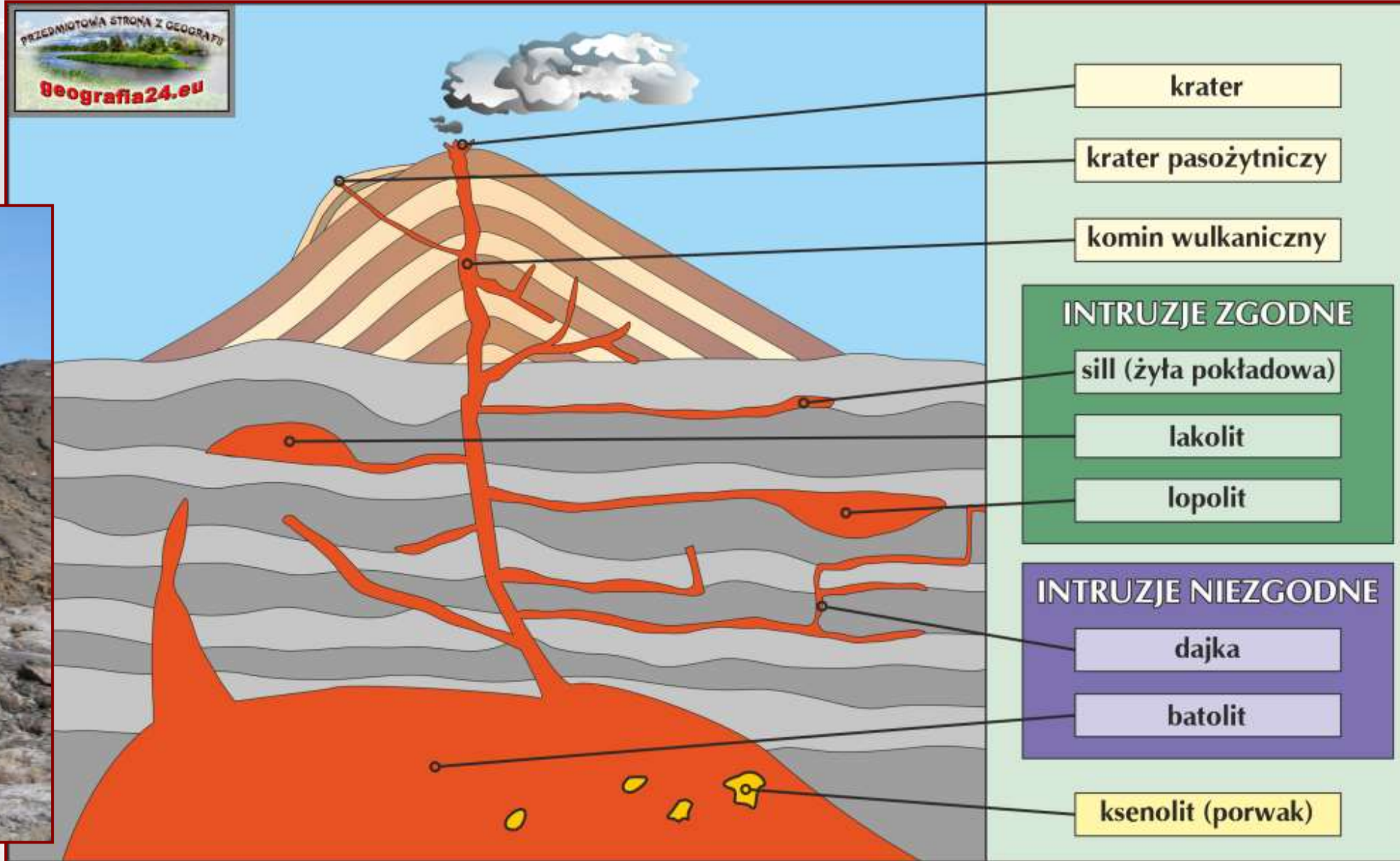


# Intruzje zgodne

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

☉ Należą do nich:

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

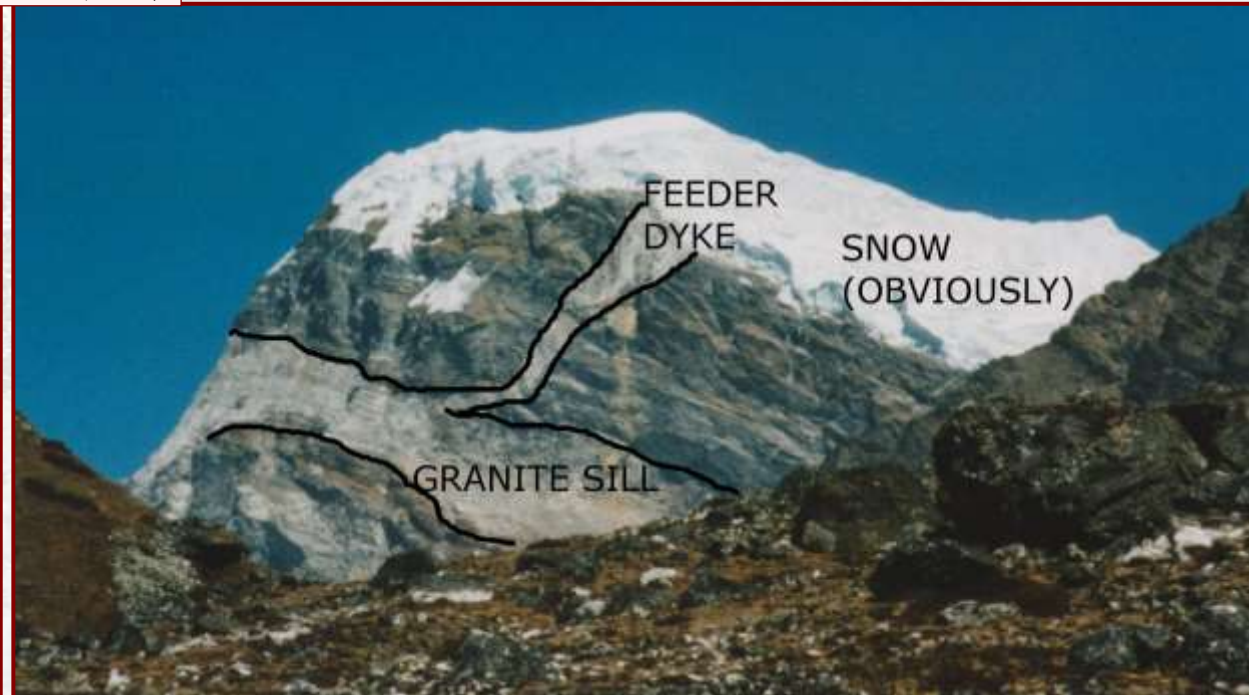


# Intruzje zgodne: żyły pokładowe (sille)

- 🌐 **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 kopułowato wygięty.
- 🌐 Czasami, kiedy do intruzji dojdzie stosunkowo płytko, odkształcenie spowodowane przez lakolit ujawnia się na powierzchni Ziemi w postaci wzniesienia.

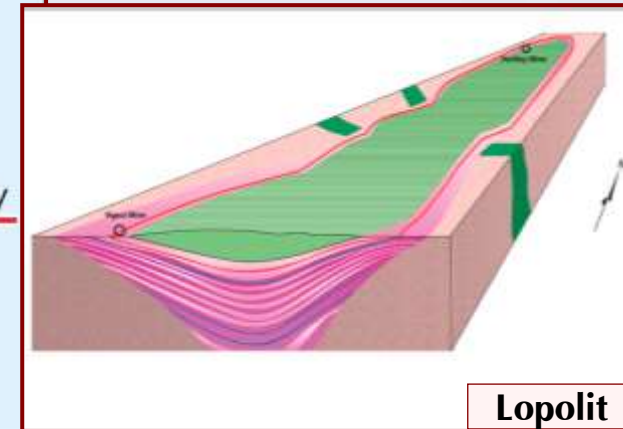
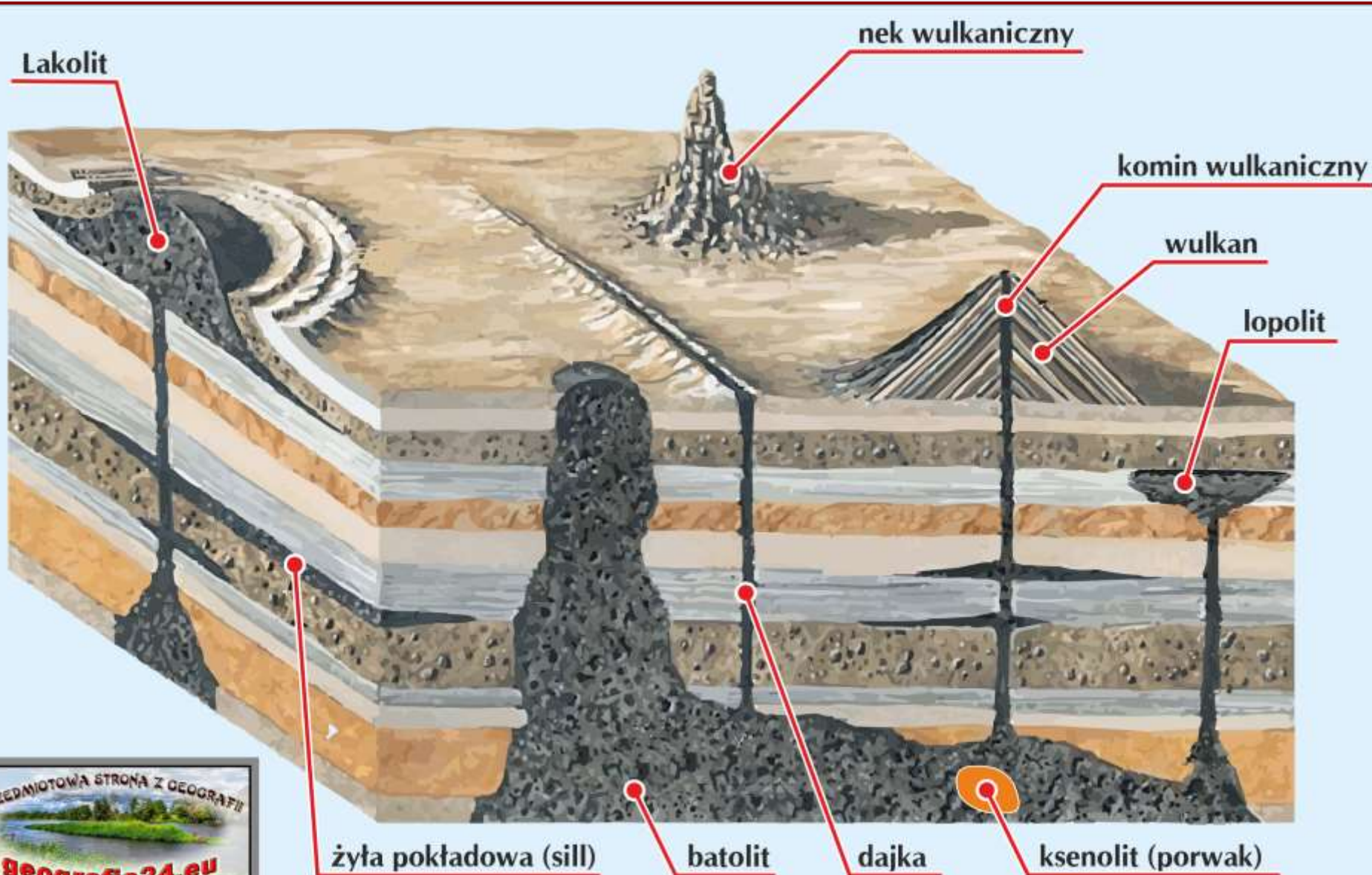


Lakolit



# Intruzje zgodne: **lopolity**

🌐 **Lopolitem** – nazywamy taką formę jeśli górna warstwa intruzji pozostanie nieodkształcona, a wybrzuszy się dolna.



# Intruzje zgodne: **fakolity**

- 🌐 **Fakolit** – niewielka forma intruzji magmowej, zbudowana ze skał plutonicznych i subwulkanicznych w kształcie soczewki, występująca zgodnie z ułożeniem sfałdowanych warstw skalnych.
- 🌐 Występuje najczęściej na przegubach antyklin rozdzielając sfałdowane warstwy skał starszych.



# Znaczenie gospodarcze procesów plutonicznych

- ☉ **Zjawiska plutoniczne** prowadzą do powstawania różnych typów skał magmowych głębinowych i żyłowych, a w otoczeniu intruzji skał metamorficznych.
- ☉ Intruzje magmowe dostarczają szeregu surowców mineralnych.
  - ☉ Duże znaczenie ma:
    - ☉ skała budująca intruzje,
      - ☉ np. granit, gabbro,
    - ☉ rudy metali występujące w obrębie skał plutonicznych,
      - ☉ m.in. niklu, chromu, platyny, złota, żelaza.
  - ☉ W sąsiedztwie plutonicznych intruzji magmowych powszechne są wody mineralne i termalne.
  - ☉ Skały magmowe głębinowe, dzięki swoim korzystnym parametrom technicznym, stanowią stabilne podłoże dla budownictwa.
  - ☉ Same zjawiska plutoniczne nie mają natomiast bezpośredniego wpływu na gospodarkę człowieka, gdyż przebiegają bardzo wolno i na dużej głębokości.



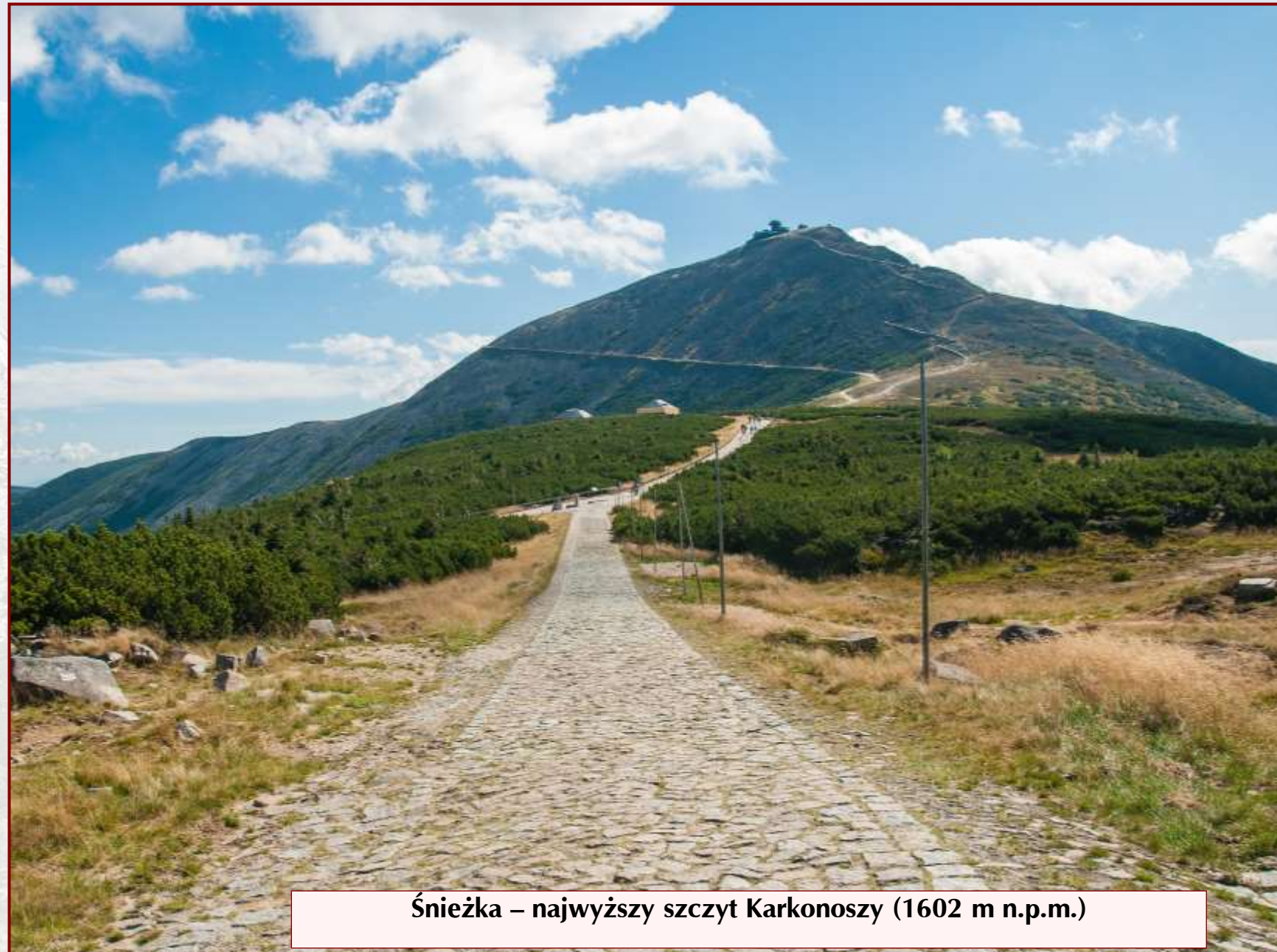




**Metamorfizm jako proces endogeniczny**

# Metamorfizm

- 🌐 **Metamorfizm** – jest procesem endogenicznym, zmieniającym powierzchnię Ziemi.
- 🌐 W wyniku jego działania skały skorupy ziemskiej ulegają przemianie pod wpływem wysokiej temperatury i wysokiego ciśnienia, przybierając postać skał metamorficznych, mających większą odporność na wietrzenie.
- 🌐 Chociaż sam proces odbywa się zwykle głęboko pod powierzchnią Ziemi, jednak ma on spory wpływ na jej rzeźbę.
- 🌐 Kiedy skały metamorficzne znajdują się na powierzchni, ze względu na swą odporność tworzą wysokie wzniesienia.
- 🌐 Przykładem jest góra Śnieżka zbudowana ze skał metamorficznych.



Śnieżka – najwyższy szczyt Karkonoszy (1602 m n.p.m.)

# Metamorfizm i jego rodzaje

- ☉ **Metamorfizmem** nazywamy zespół procesów odbywających się pod wpływem podwyższonego ciśnienia i temperatury, panujących w głębi Ziemi i prowadzących do zmian składu mineralnego i budowy starszych skał magmowych i osadowych.
- ☉ Procesy te zachodzą najczęściej bez upłynnienia skały pierwotnej.
- ☉ Jeżeli jednak temperatura jest tak wysoka, że niektóre minerały ulegną stopieniu, to proces ten należy określić jako **ultrametamorfizm**.
- ☉ Stanowi on etap pośredni pomiędzy procesami metamorficznymi a plutonicznymi.



Migmatyt – przykład ultrametamorfizmu (powstały z gnejsu)

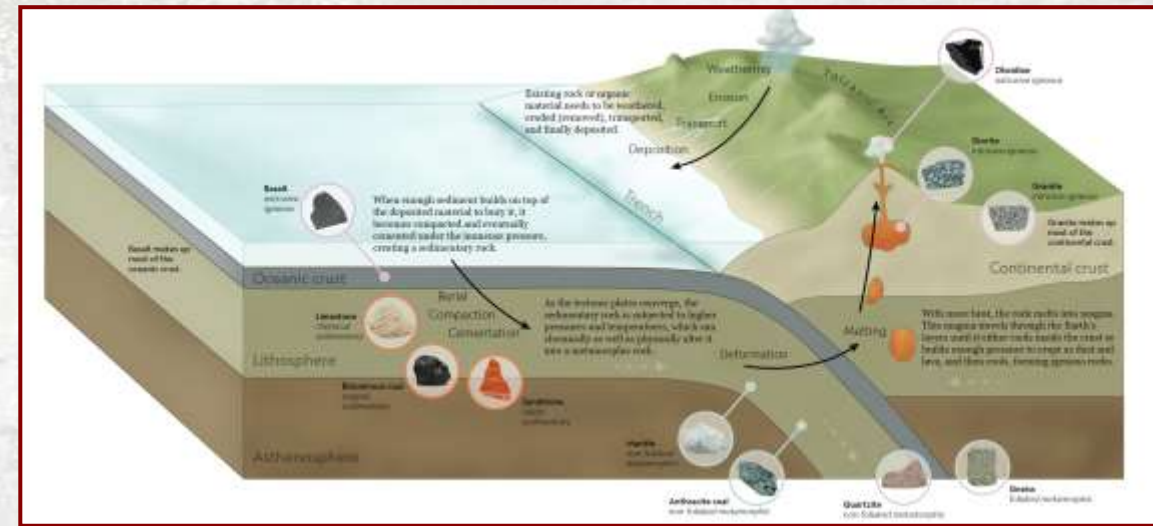
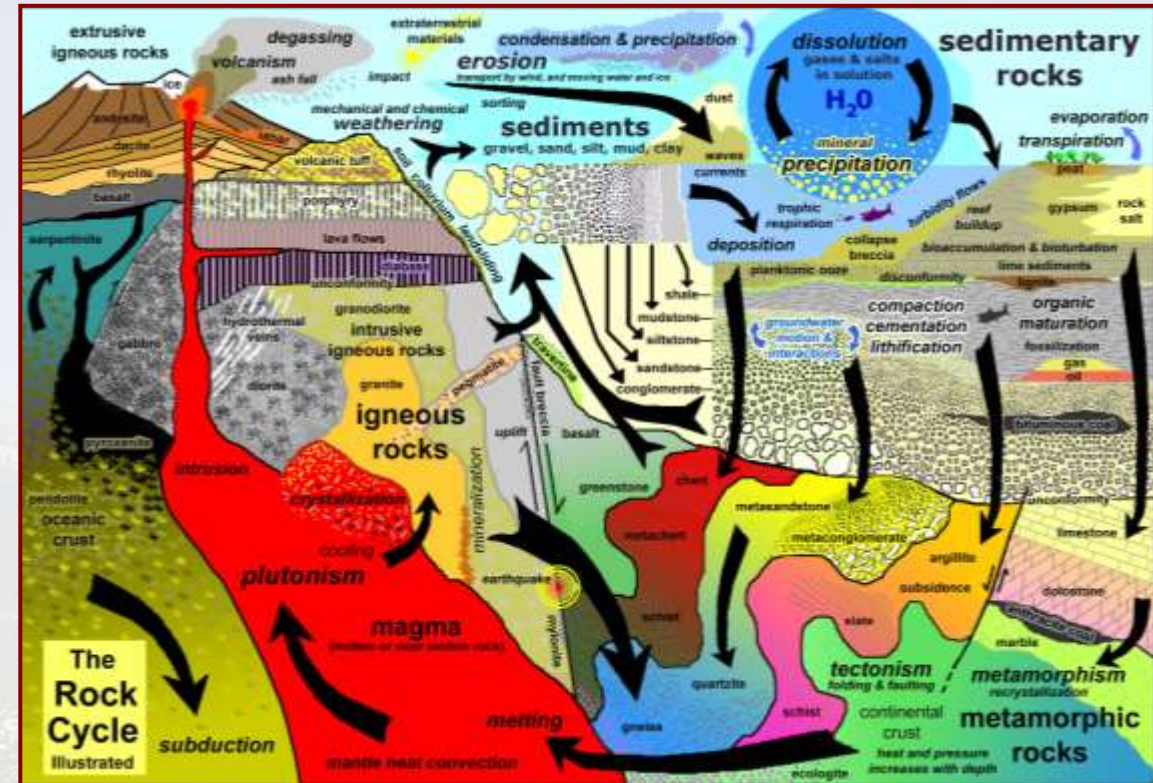


Gnejs – przykład metamorfizmu (powstały z granitu)



# Czynniki metamorfizmu

- Skład mineralny i budowa wewnętrzna skał metamorficznych zależą od składu chemicznego skały pierwotnej oraz intensywności oddziaływania **czynników metamorfizmu**.
- Ważną rolę odgrywa **wzrost temperatury**, ograniczony jednak małym przewodnictwem cieplnym większości skał.
  - Powoduje on rekrytalizację i sprzyja uwalnianiu substancji lotnych – głównie pary wodnej i dwutlenku węgla.
- Nie mniej istotne jest **ciśnienie**, które może oddziaływać **statycznie** (jednakowo ze wszystkich stron) bądź **kierunkowo**.
  - Ciśnienie podwyższa temperaturę topnienia, prowadzi do zmian kształtu ziaren, a nawet do ich pokruszenia.
- Dodatkowy wpływ wywierają **substancje gazowe i ciekłe obecne w skałach**.
  - Domieszka wody obniża temperaturę topnienia skał, np.:
    - granitu do około 600°C (zwykle 1000°C),
    - bazaltu do 1100°C (normalnie 1260°C).
- Procesy metamorficzne wymagają na ogół **znacznego czasu** koniecznego dla wyrównania temperatury, rekrytalizacji, zajścia reakcji pomiędzy składnikami itp.



# Typy metamorfizmu

☉ Metamorfizm może zachodzić w różnych warunkach i w różny sposób.

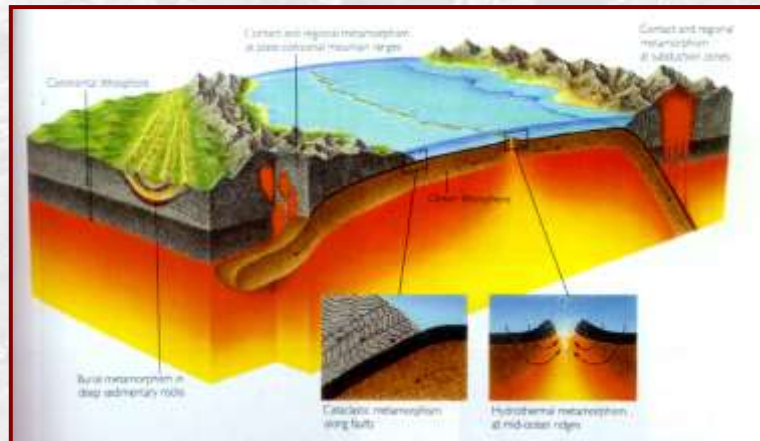
☉ Pozwala to wyróżnić co najmniej cztery **typy metamorfizmu**:

☉ **metamorfizm termiczny (kontaktowy)**,

☉ **metamorfizm regionalny**,

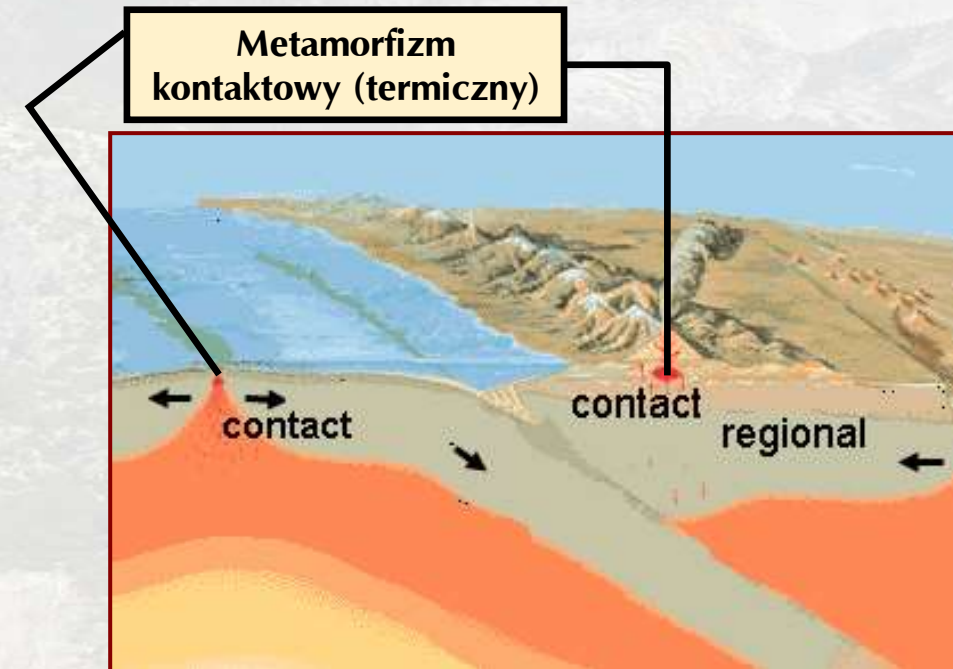
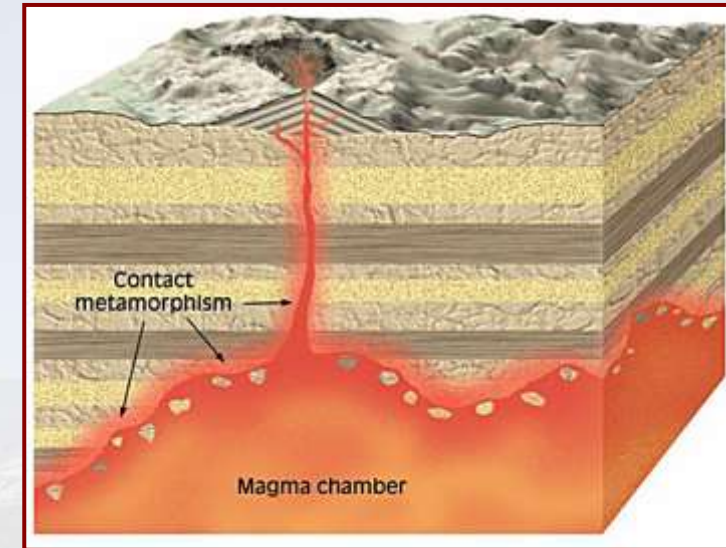
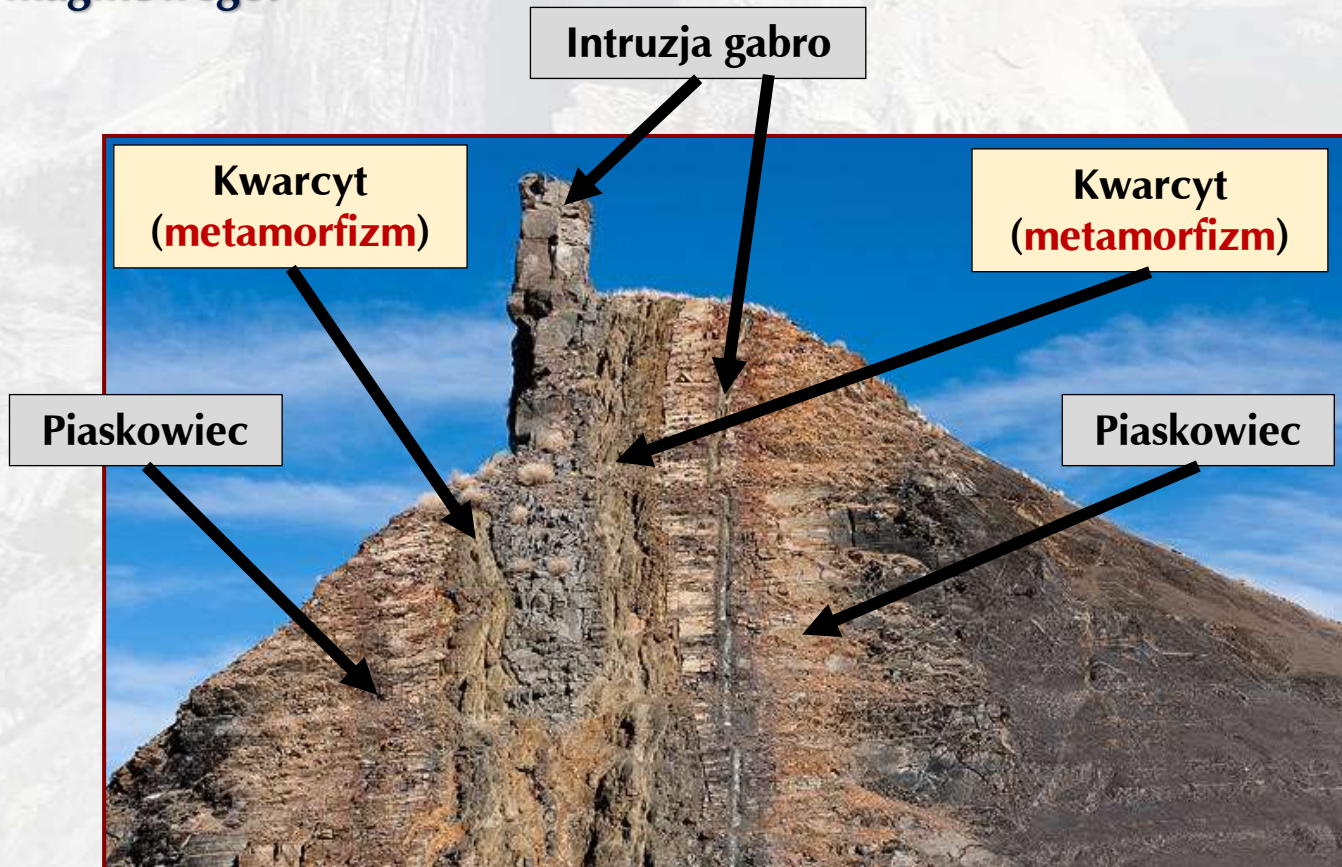
☉ **metamorfizm dyslokacyjny (dynamiczny)**,

☉ **metamorfizm zderzeniowy**.



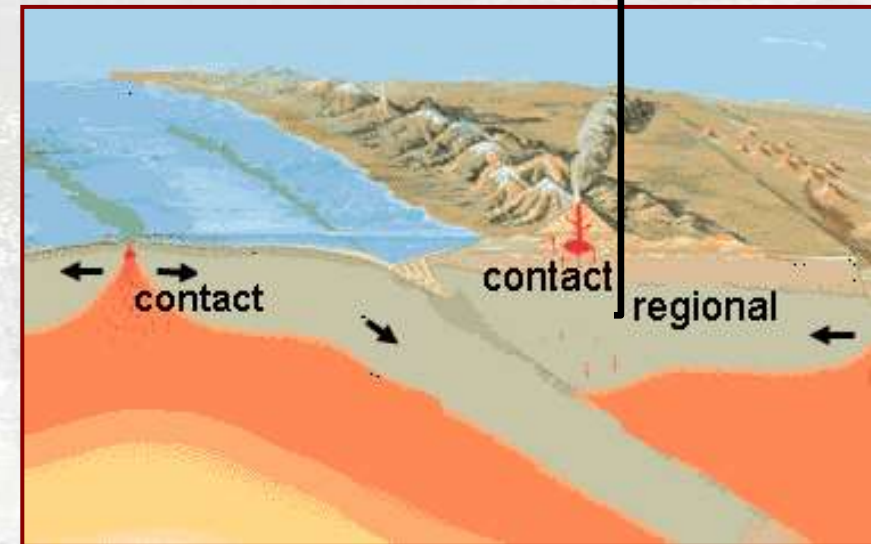
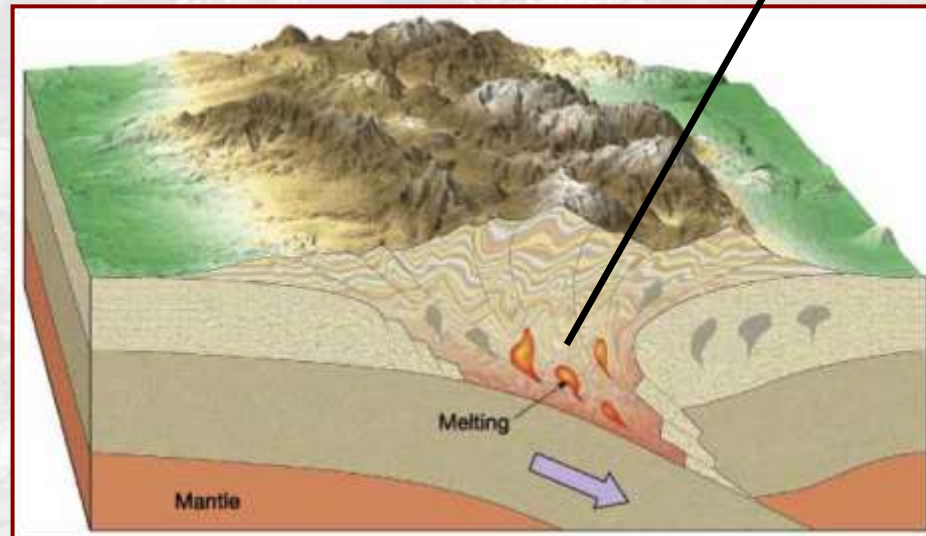
# Metamorfizm termiczny (kontaktowy)

- Metamorfizm termiczny (kontaktowy) rozwija się w otoczeniu intruzji magmowych.
- Przebiega głównie pod wpływem podwyższonej temperatury.
- Ciśnienie odgrywa w nim rolę drugoplanową.
- Małe przewodnictwo ciepłe skał ogranicza strefę jego oddziaływania do zaledwie kilkudziesięciu – maksymalnie kilkuset – metrów wokół ciała magmowego.



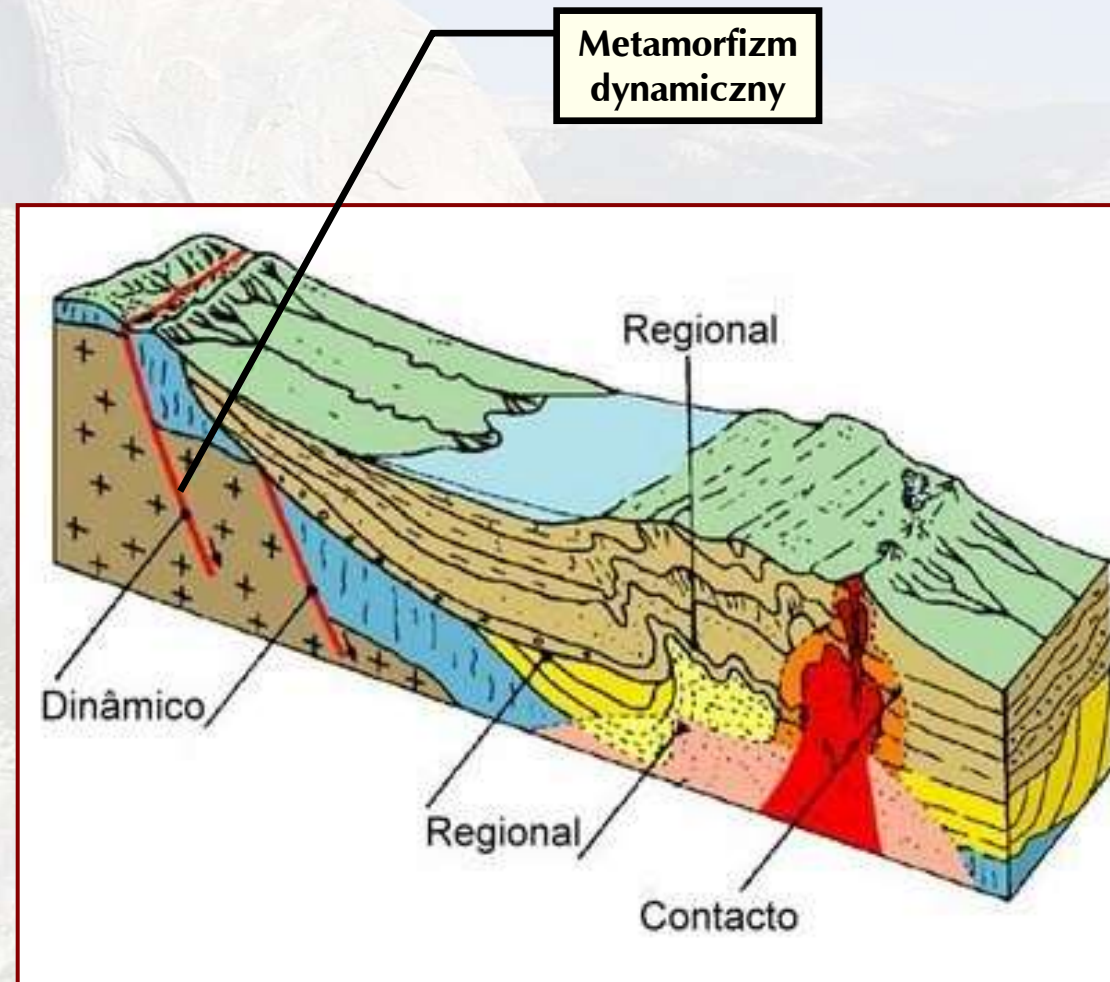
# Metamorfizm regionalny

- **Metamorfizm regionalny** ma zdecydowanie większy zasięg.
- Może on obejmować obszary liczące nawet setki tysięcy km<sup>2</sup>.
- Zjawisko to powszechnie występuje w strefach subdukcji, gdzie skorupa oceaniczna pogrąża się w materii płaszczą lub w strefach kolizji.
- Metamorfizm regionalny jest długotrwały i powolny.
- Przebiega przy zrównoważonym udziale wszystkich czynników.



# Metamorfizm dyslokacyjny (dynamiczny)

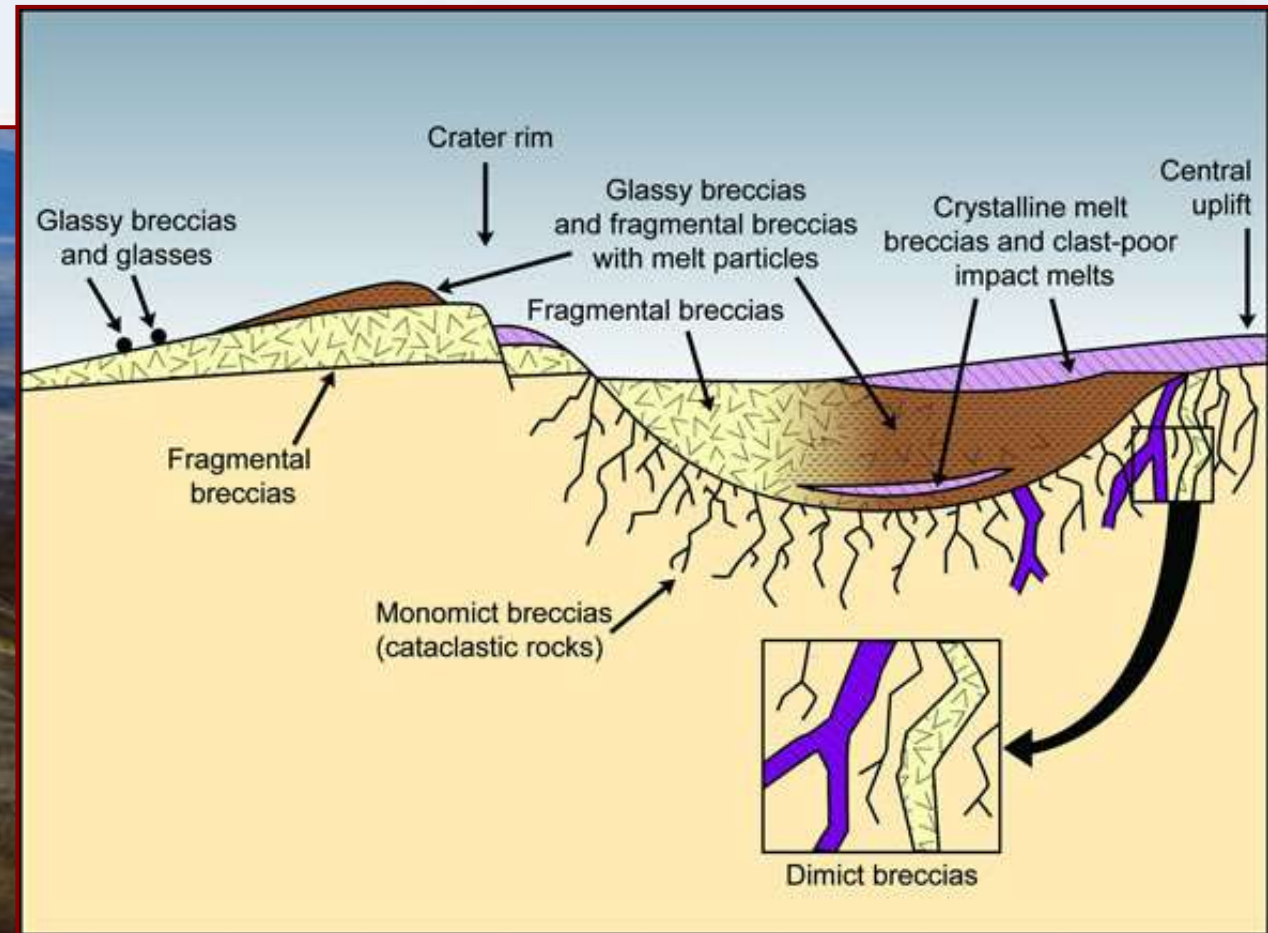
- **Metamorfizm dyslokacyjny (dynamiczny)** rozwija się w strefach, gdzie występują silne naciski boczne (ciśnienie kierunkowe),
  - np. w fałdowanych górotworach.
- Ciśnienie kierunkowe prowadzi do kruszenia skał i powstawania brekcji tektonicznych.





# Metamorfizm zderzeniowy

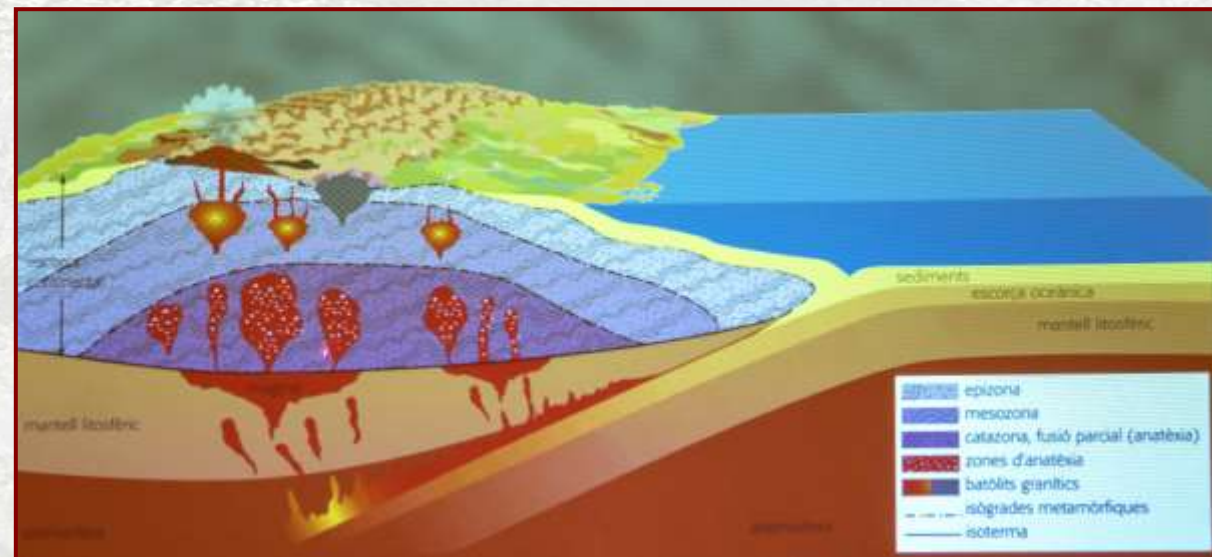
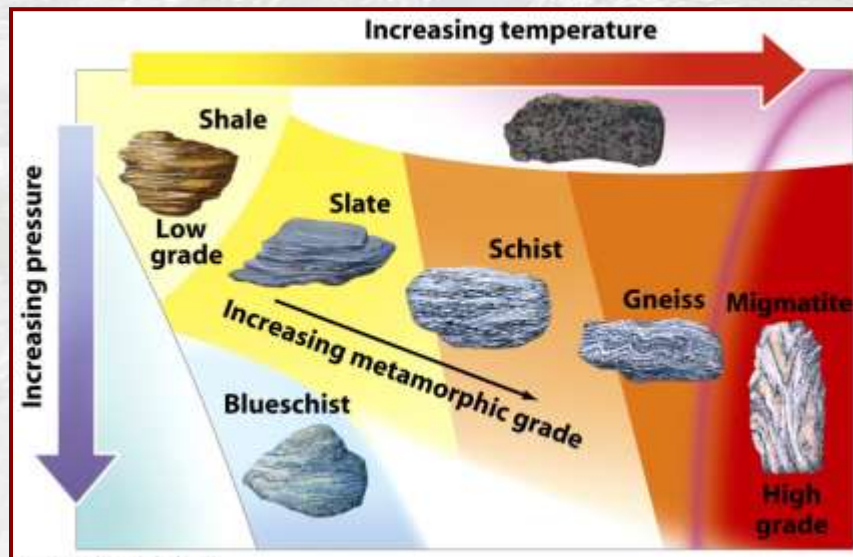
- ☉ **Metamorfizm zderzeniowy** stanowi wyjątkową odmianę metamorfizmu, spowodowany uderzeniami dużych meteorytów o powierzchnię ziemi, np. Meteor Crater w Arizonie, Wabar w Arabii Saudyjskiej, Nordlinger Riss w Niemczech.
- ☉ W takich warunkach gwałtownie rośnie ciśnienie i temperatura, aż do stopienia, a nawet odparowania części skał w miejscu uderzenia.



# Skala metamorfizmu

Skala metamorfizmu zależy głównie od głębokości, na jakiej zachodzą przeobrażenia:

- w najpłytszej strefie (**epizona**), występuje do około 10 km, w warunkach wysokiego ciśnienia kierunkowego, małego statycznego i niskiej temperatury (do 300°C), zwykle tworzą się **skały o budowie łupkowej**, np. **kwarcyty** i **fyllity**,
  - skały magmowe w takich warunkach mogą nie ulegać metamorfizmowi;
- na większych głębokościach (**mezozona**), występuje od około 10 km do około 20 km, gdzie wszystkie czynniki metamorfizmu wykazują wysokie wartości (temperatura dochodzi do 500°C), następuje rekrytalizacja składników, powstają nowe minerały i zupełnie zmienia się budowa wewnętrzna skał,
  - w tej strefie powstają m.in. **gnejsy**, **marmury** i **amfibolity**;
- w najgłębszej strefie (**katazona**), występuje na głębokości wynoszącej od około 20 km, w której oddziałuje przede wszystkim bardzo wysokie ciśnienie statyczne i temperatura (od 500°C do 900°C),
  - tworzą się skały złożone z minerałów o bardzo zagęszczonej strukturze wewnętrznej, np. **granulity** i **eklogity**.



# Znaczenie metamorfizmu

☉ Procesy metamorficzne nie wpływają bezpośrednio na gospodarkę, ponieważ (podobnie jak zjawiska plutoniczne) przebiegają bardzo wolno i na dużej głębokości.

☉ Istotne są natomiast produkty metamorfizmu.

☉ Należą do nich m.in. wielkie złoża:

☉ marmurów,

☉ kwarcytów.



Wykorzystanie marmurów



**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 – 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

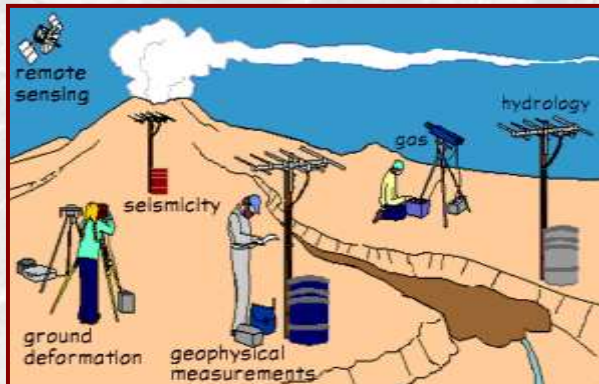
- ⊕ **Negatywny wpływ wulkanizmu** na przyrodę i działalność człowieka, polega na tym, że:
  - ⊕ jest to żywioł cechujący się niezwykle **dużą siłą niszczącą** (wybuchy wulkanów, mimo rozwoju nauki i techniki są często dla nas dalej zagadką nie do końca rozpoznaną), przyczyniająca się do:
    - ⊕ **niszczenia 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.

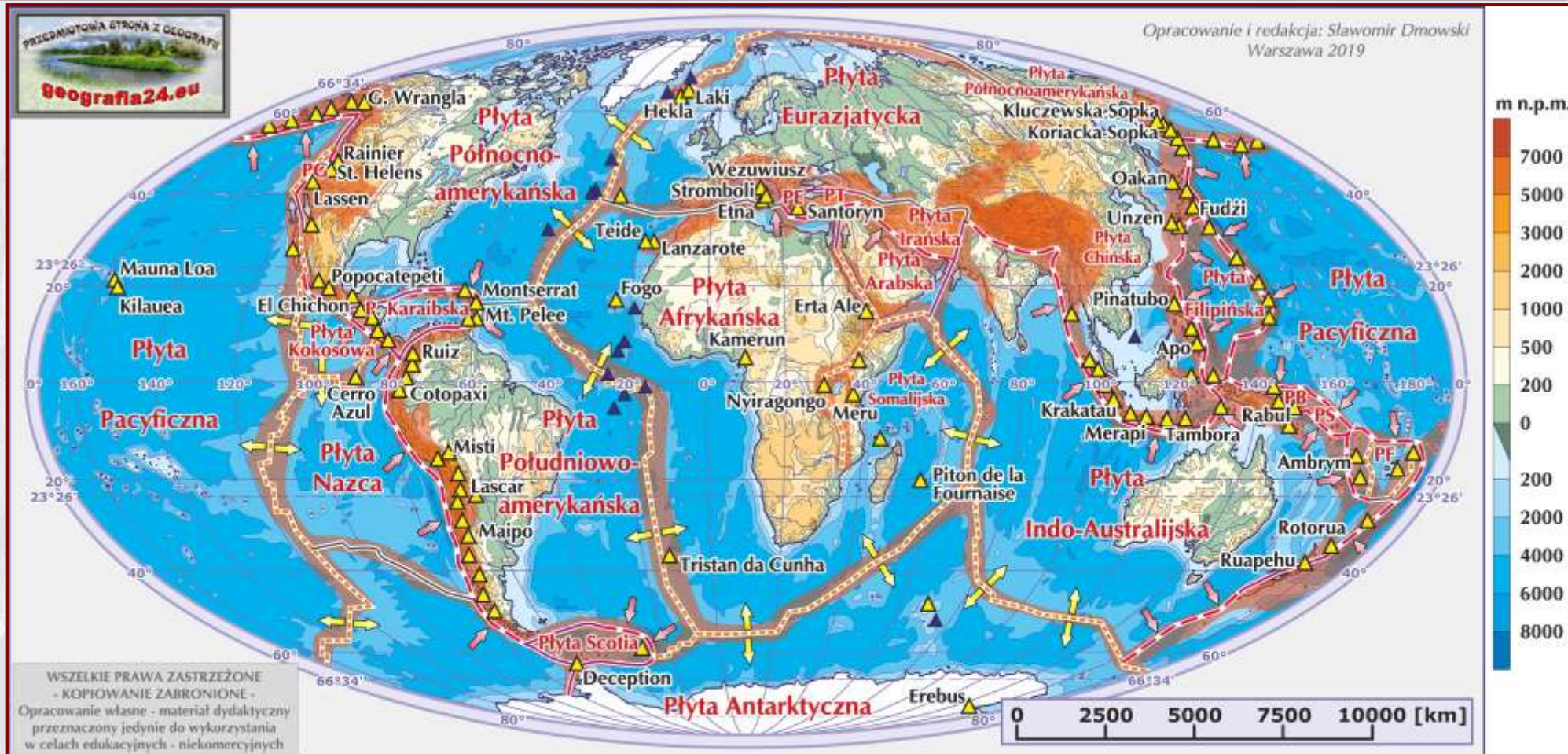




# Rozmieszczenie wulkanów na Ziemi

🌐 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**.



- 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 Fidży

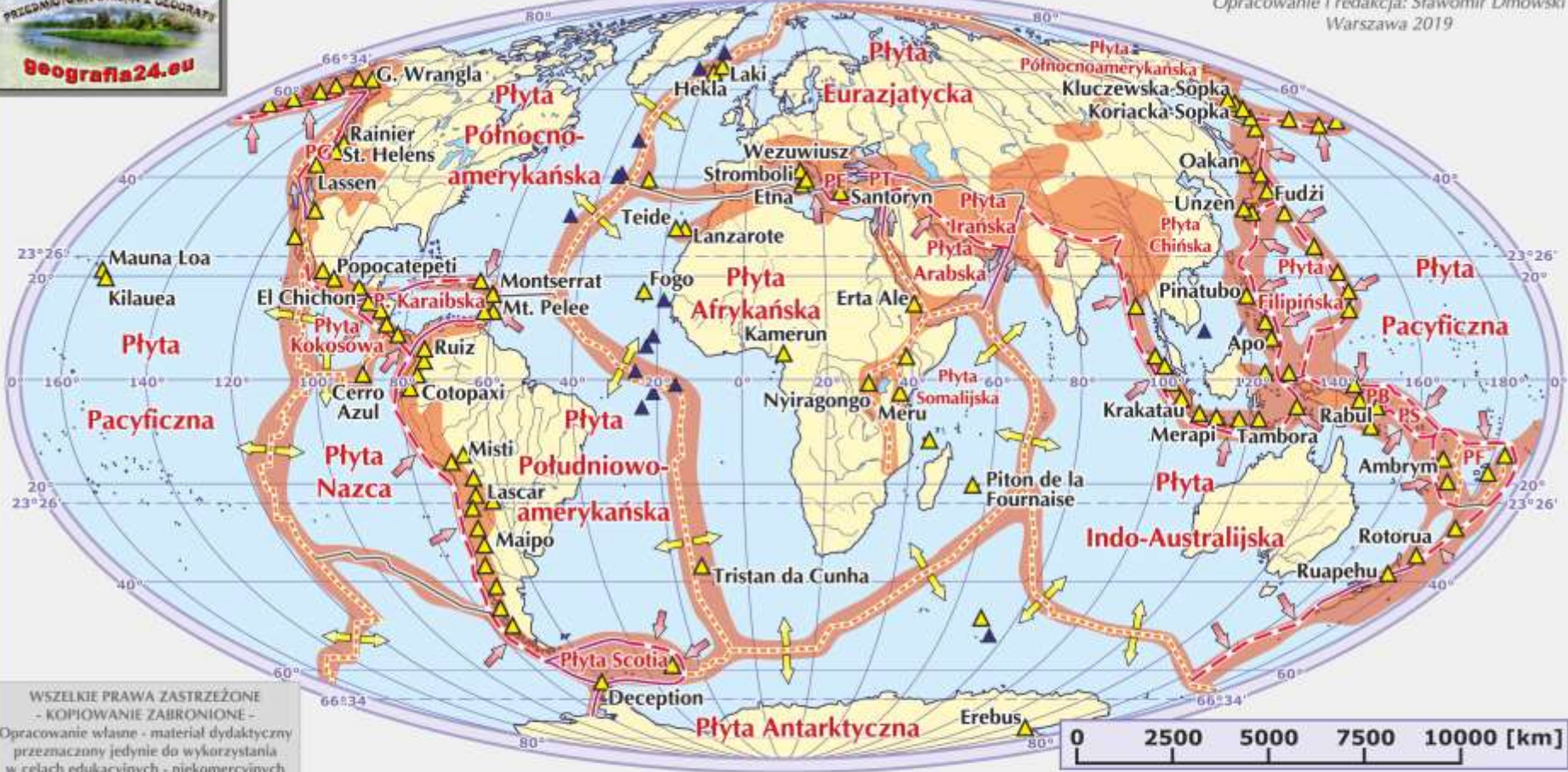
PG - Płyta Gorda

PS - Płyta Salomona

PT - Płyta Turecka

# 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).

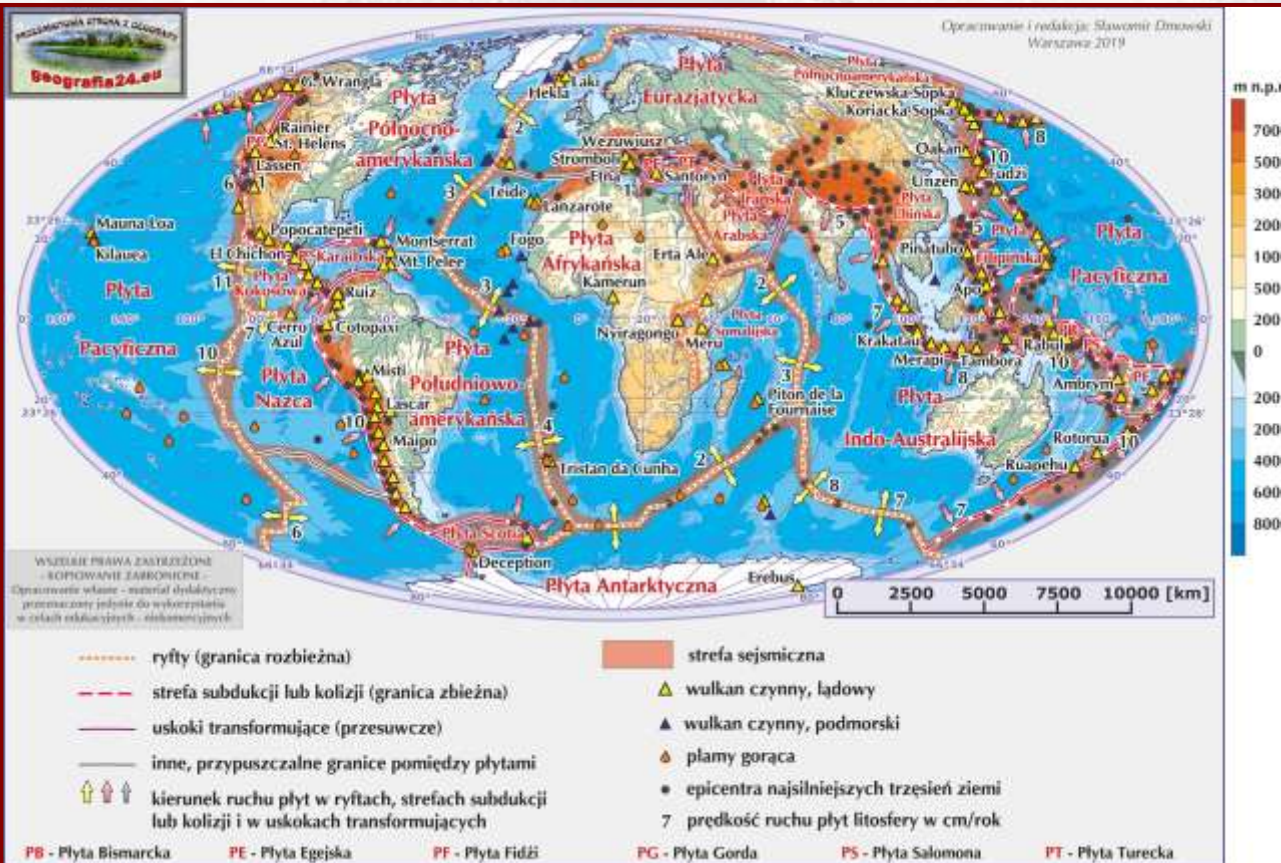
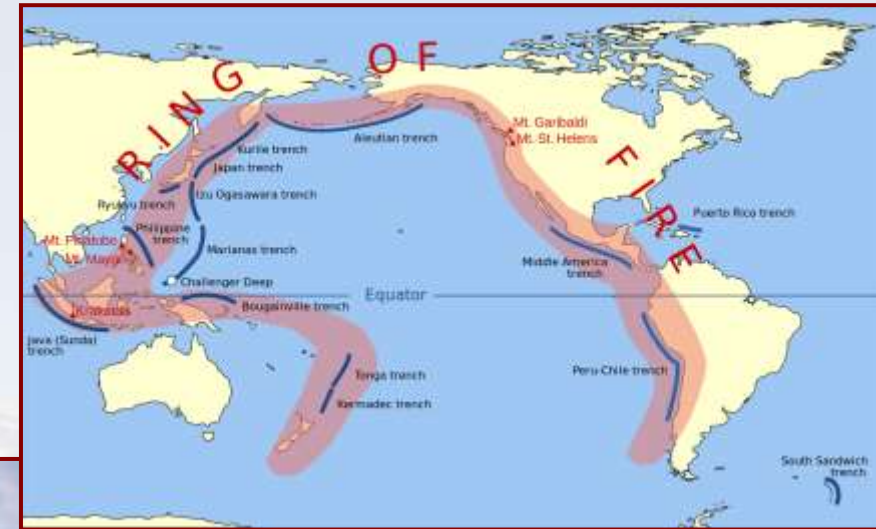
# Pacyficzny Pierścień Ognia (Ognisty Pierścień Pacyfiku, Okołopacyficzny Pas Sejsmiczny)

🌐 **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:

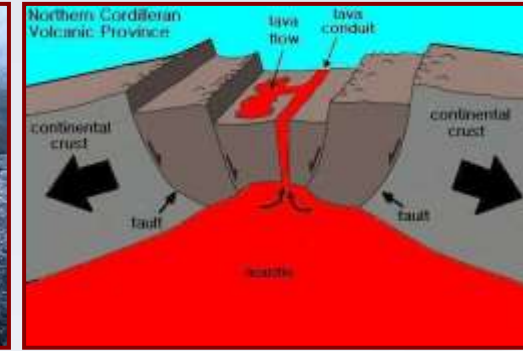
🌐 **wulkanizm centralny** – lava wydobywa się punktowo z komina wulkanicznego zakończonego kraterem,

🌐 **wulkanizm linijny (szczelinowy)** – lava wydobywa się przez podłużne szczeliny (występuje w strefach ryftowych).



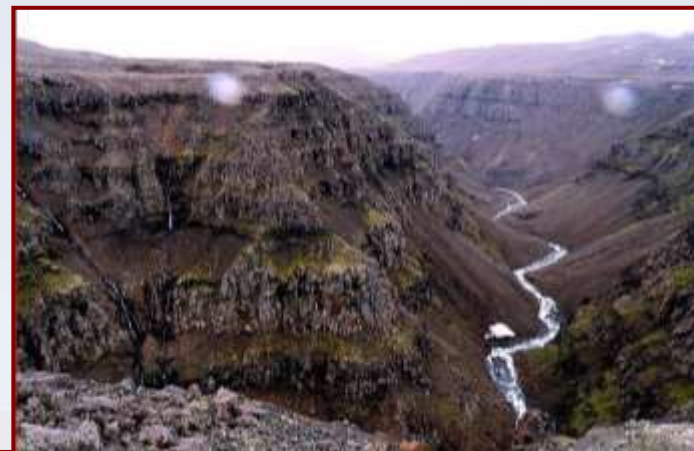
# A. Erupcje szczelinowe, linearne lub linijne (wulkanizm szczelinowy)

- 🌐 **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.

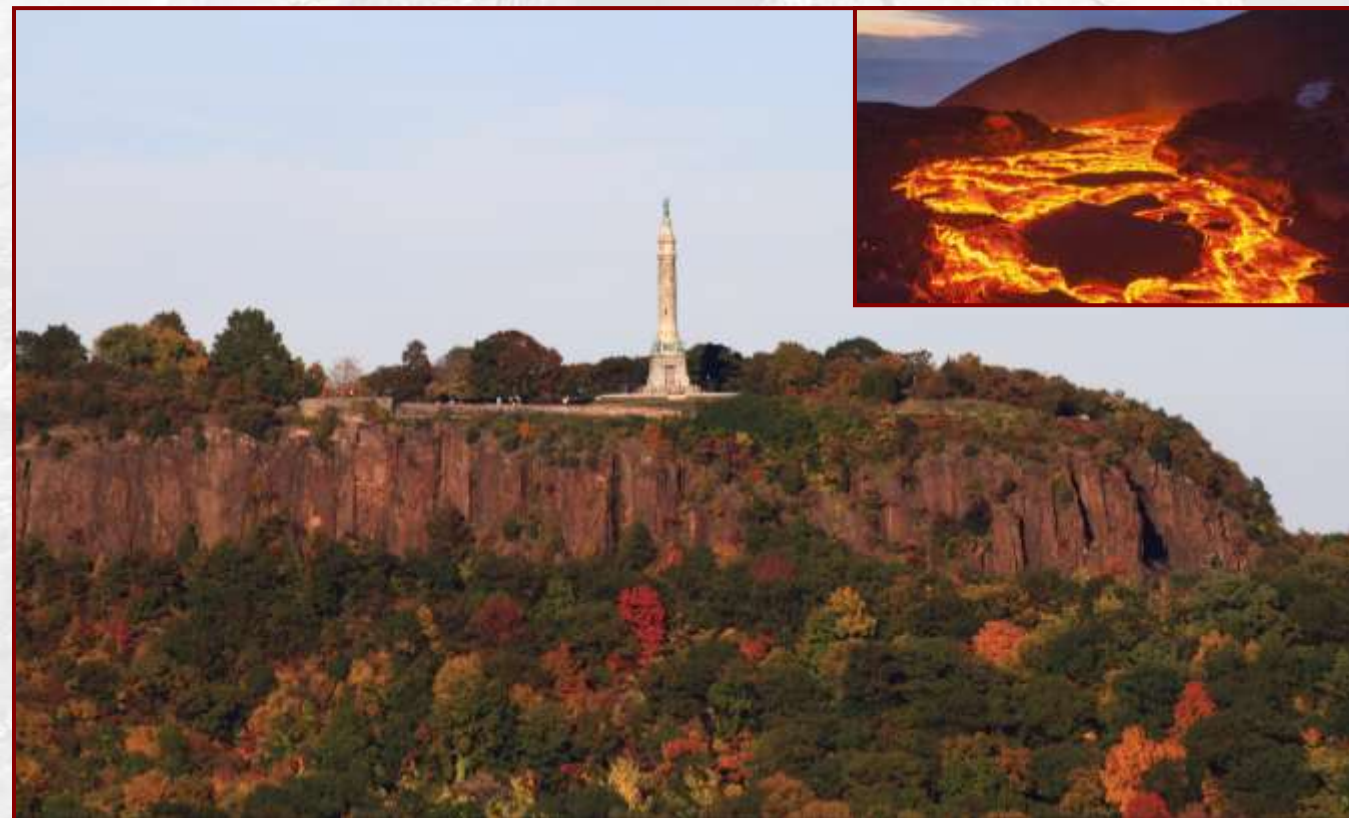


# Trapy wulkaniczne – pokrywy lawowe

- 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.

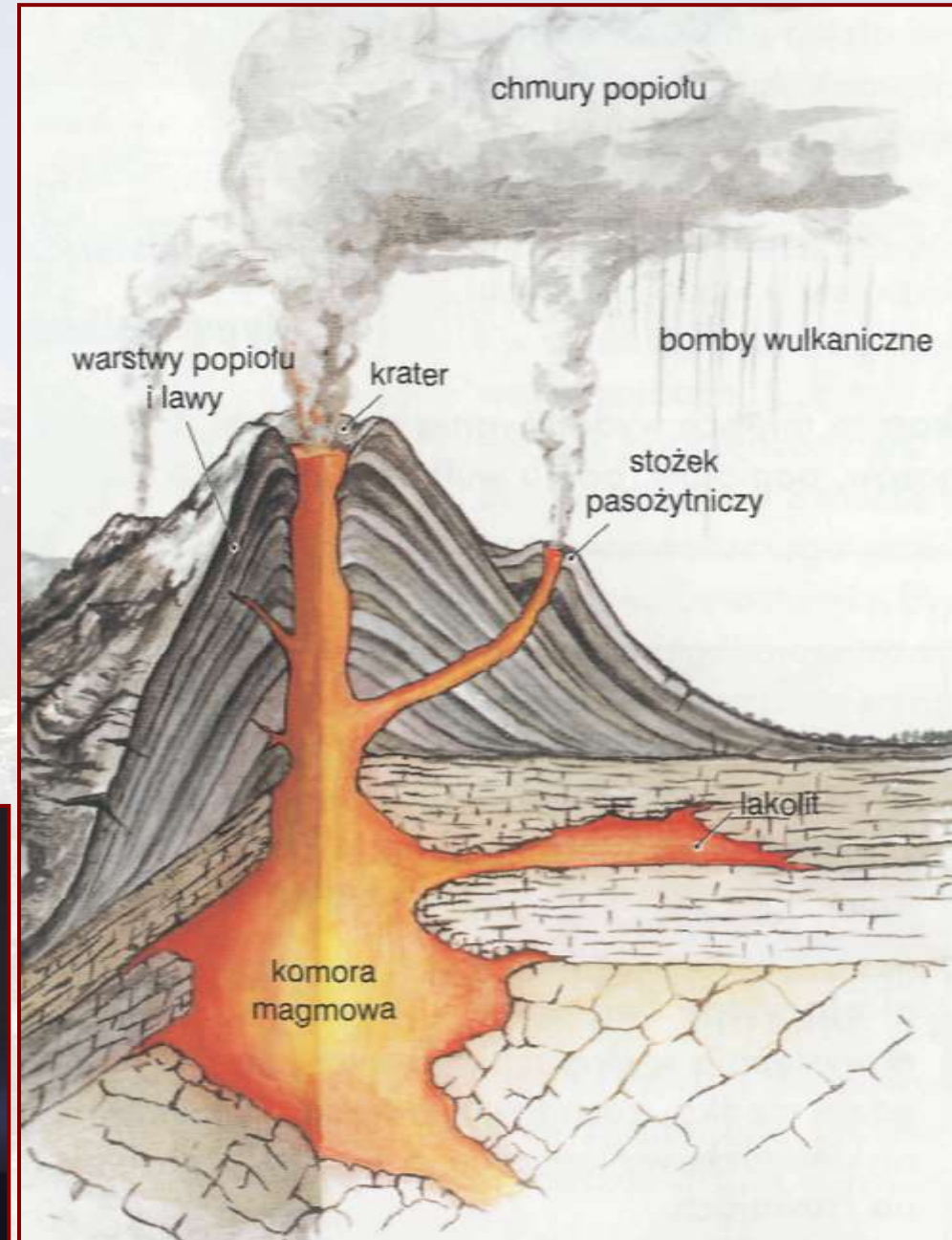
☛ Materiał nagromadzony w **ognisku magmowym** wydostaje się na powierzchnię **kominem wulkanicznym** o różnej długości, zakończonym **kraterem**.

☛ Wulkany centralne przyczyniają się do powstania:

☛ **stożków wulkanicznych** – wzniesień utworzonych z wydobywanej na powierzchnię Ziemi law i innego materiału wulkanicznego (pyłu, piasku);

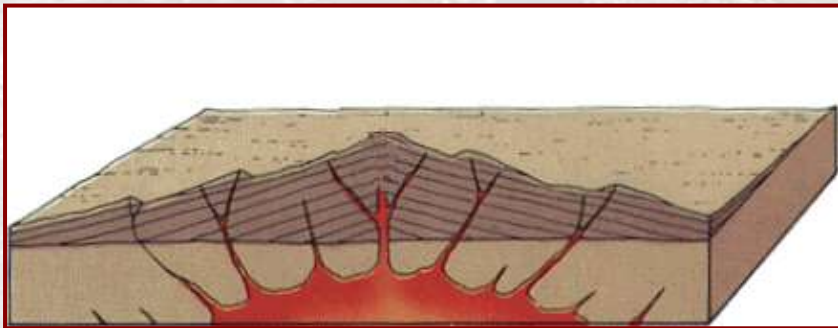
☛ **stożków pasożytniczych** – mniejszych wzniesień, powstających na stokach głównego stożka wulkanicznego, także wskutek erupcji wulkanicznej,

☛ 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

<b>CZYNNE</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ ciągle lub sporadycznie przejawiają aktywność (wybuchwały one stosunkowo niedawno i ich wybuch został odnotowany w dokumentach)</li><li>➤ jest ich na świecie ponad 600 (każdego roku około 50 z tej liczby jest w stanie aktywności)</li></ul>	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)
<b>DRZEMIĄCE LUB UŚPIONE</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ to wulkany będące w stanie uśpienia</li><li>➤ działały w historycznych czasach</li><li>➤ od dłuższego czasu nie przejawiają aktywności, choć w ich obrębie mogą występować wyziewy gazów wulkanicznych (tzw. ekshalacje)</li><li>➤ potrafią się one uaktywnić nawet po tysiącach lat uśpienia (wtedy ich erupcja zwykle jest stosunkowo gwałtowna)</li></ul>	Fudzi w Japonii, Mauna Kea na Hawajach, Orizaba w Meksyku, Tambora w Indonezji
<b>WYGASŁE</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ w czasach historycznych nie były aktywne, co nie oznacza, że nie może dojść w nich do erupcji wulkanicznej (choć już nie powinno)</li></ul>	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**:

- 🌐 **lawa,**
- 🌐 **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.



Eksplozja wulkaniczna – **lawa kwaśna**



Eksplozja 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.:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{F}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{S}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  oraz  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$  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.



### 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.



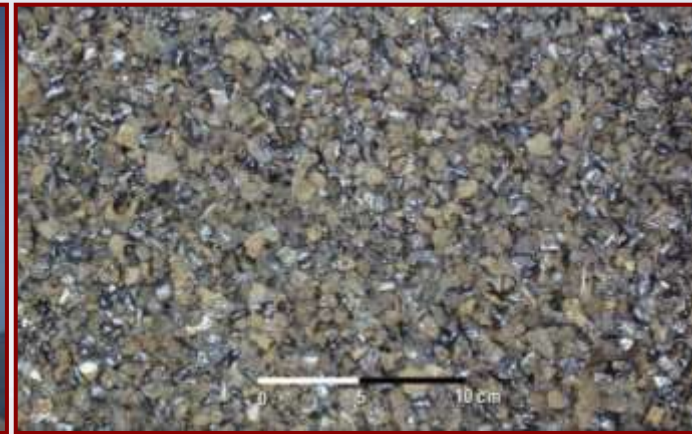


# Bomba wulkaniczna



**Bomba wulkaniczna** – długości przynajmniej 5 cm, są to duże 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

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



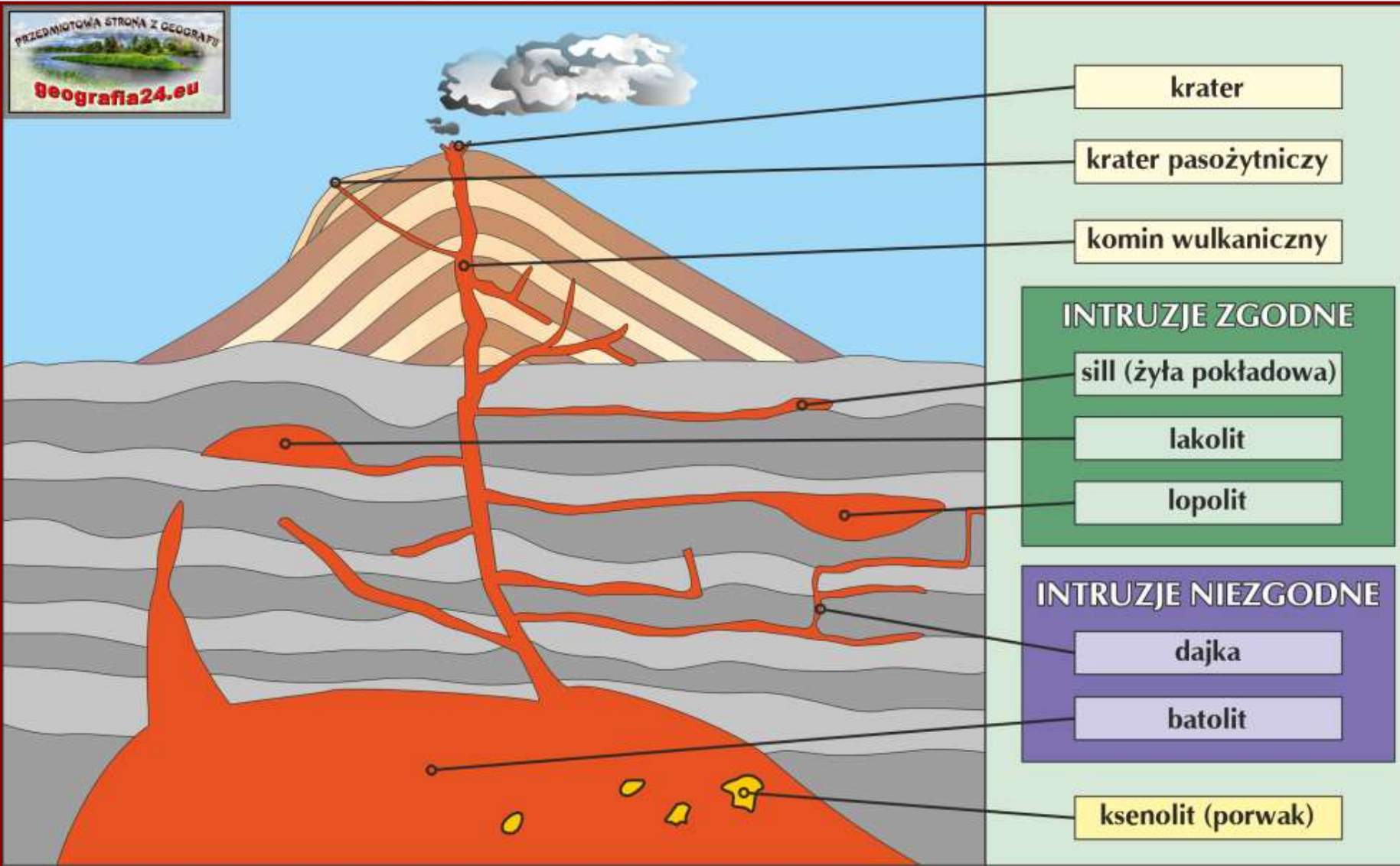
**Pumeks** – utwór bardzo silnie porowaty i lekki, powstający ze strzępów gorącej i pniącej się lawy, zawierającej dużą ilość gazów, stąd obecność wielu pęcherzyków powietrza przyczyniających się do stosunkowo małej gęstości pumeksu, mniejszej niż np. samej wody (materiał w czasie pienia się stygnie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

## 4. Porwaki (ksenolity)

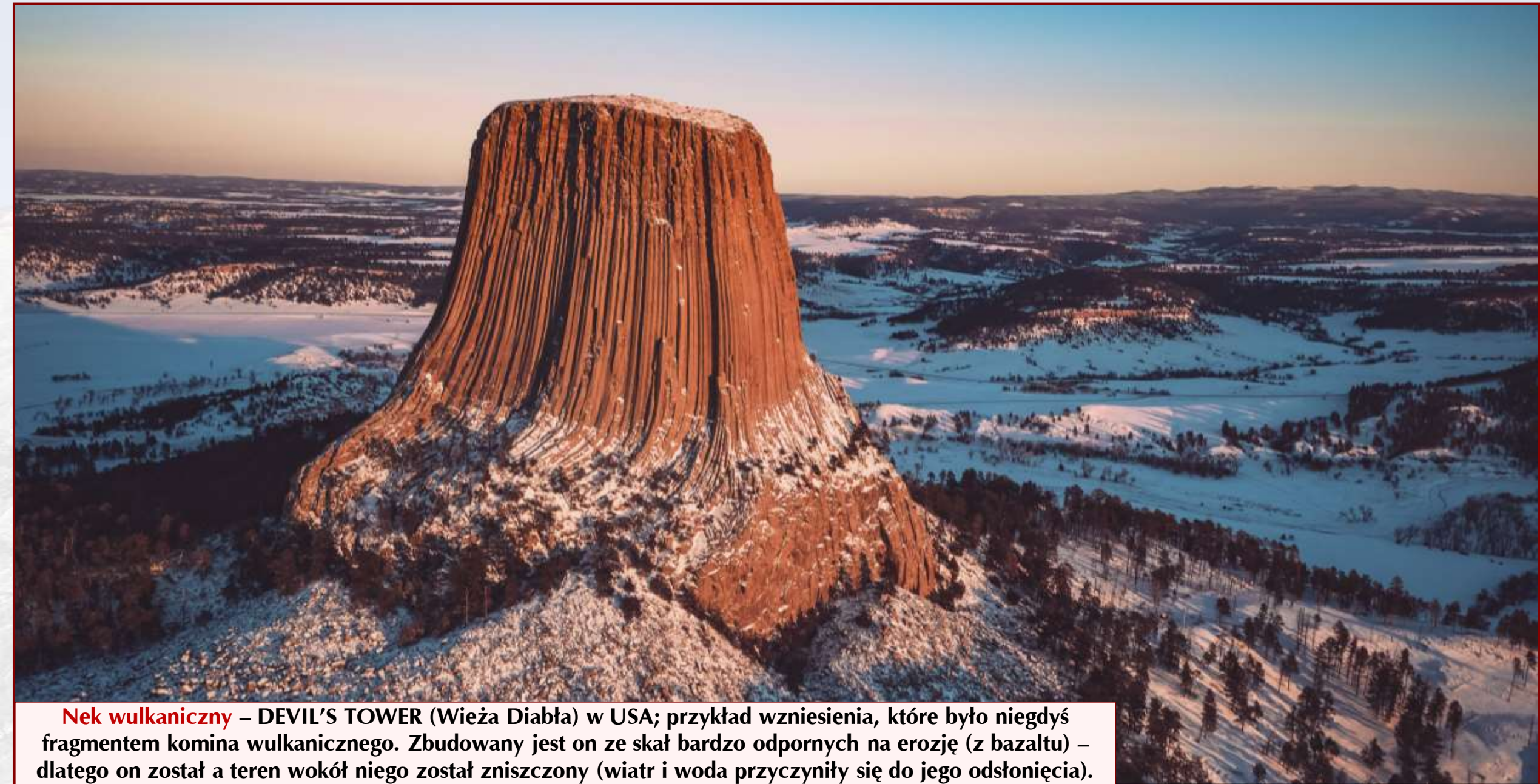
- **Porwaki (ksenolity)** są to oderwane fragmenty skał budujących ściany komina wulkanicznego:
- odrywane przez przemieszczającą się ku powierzchni lawę i następnie wyrzucane z wulkanu.



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:**

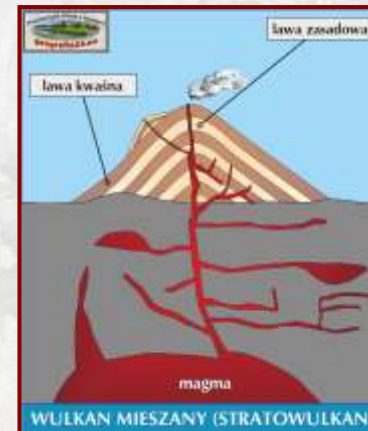
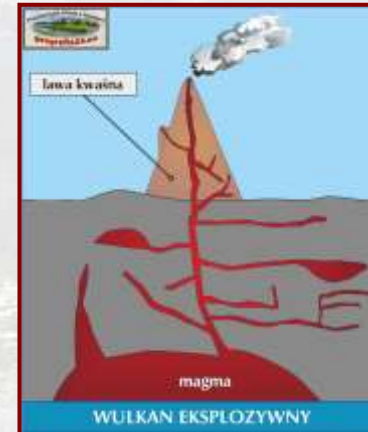
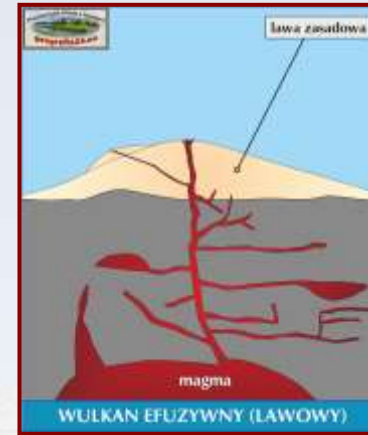
🌐 wyrzucają gazy, pyły i popioły wulkaniczne;

🌐 należą do nich ze względu na kształt wulkanu:

🌐 wulkany stożkowe;

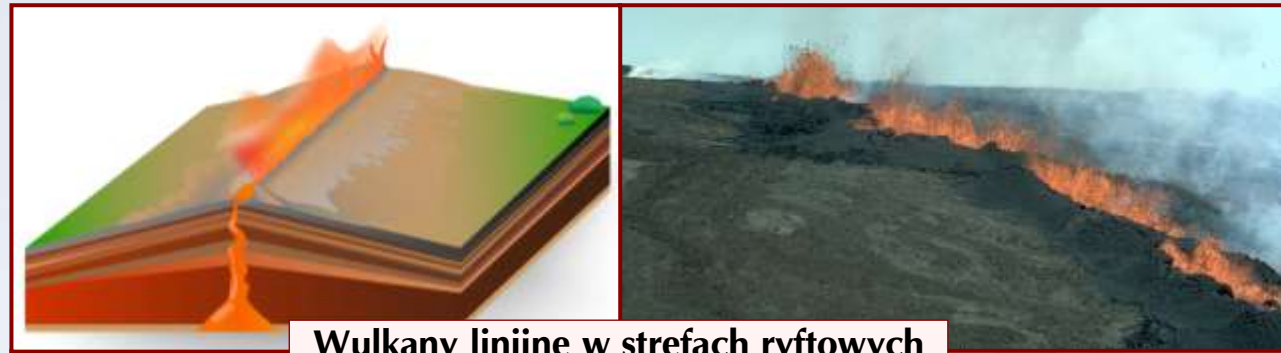
🌐 **stratowulkany (tzw. wulkany mieszane):**

🌐 u których gwałtowne erupcje przeplatane są spokojnymi wylewami lawy.

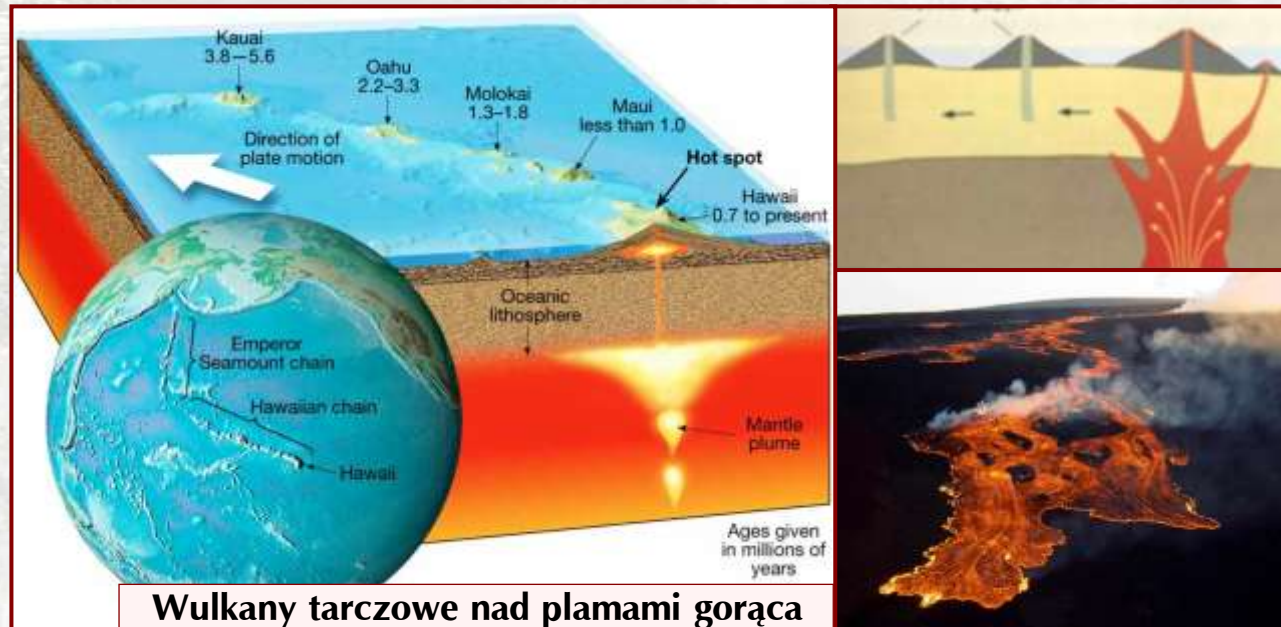


# 1. Wulkany efuzywne (lawowe) (hawajskie)

- 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.



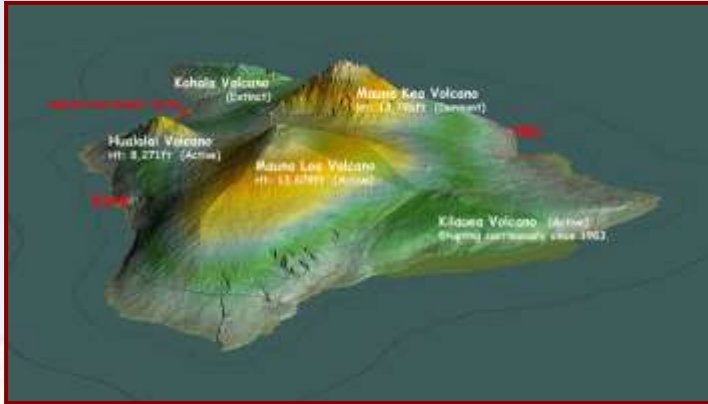
Wulkany linijne w strefach ryftowych



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 liniyjny w strefie ryftowej

Hekla (Islandia)

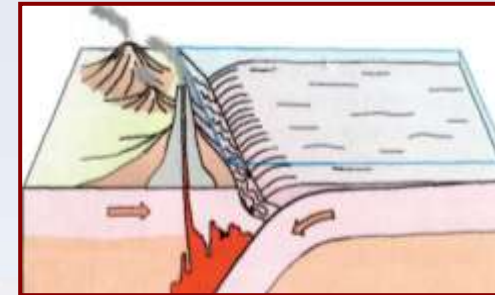


Holuhraun (Islandia)



## 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)



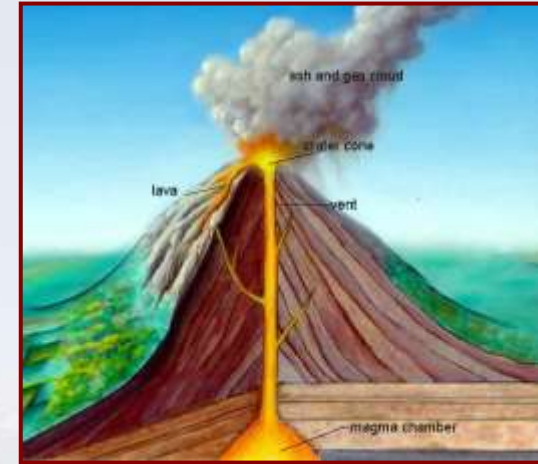
Maary w Górach Eifel (Niemcy)

### 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 w 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)

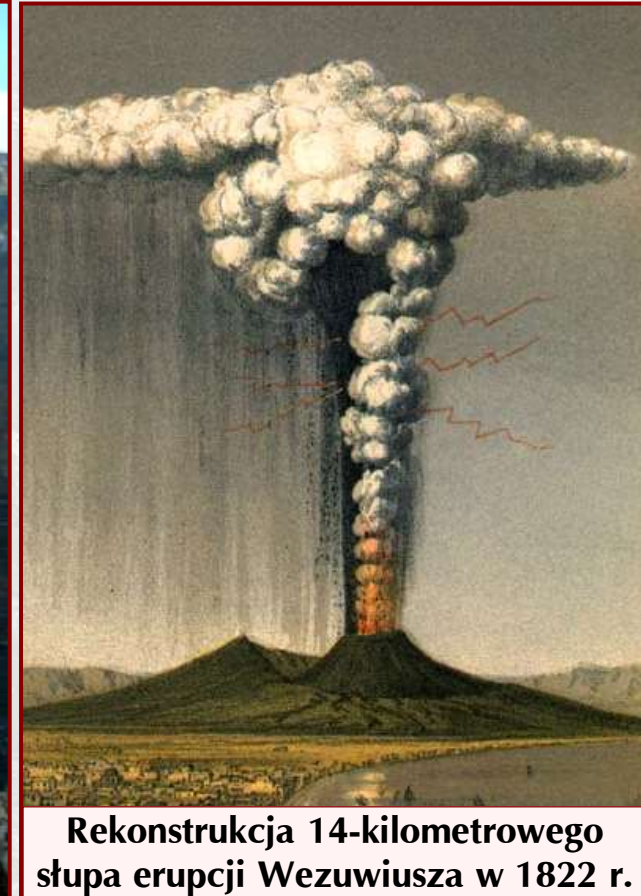
- **Wezuwiusz** (Włochy) – stratowulkan o wysokości 1281 m n.p.m., leżący nad Zatoką Neapolitańską we Włoszech.
- Od około 16 tys. lat przejawia on okresowo przejawy wzmożonej aktywności (ostatnio szczególnie w XVII-XIX wieku).
- Obecny stożek wulkaniczny leży w obrębie kaldery powstałej w czasie wybuchu 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



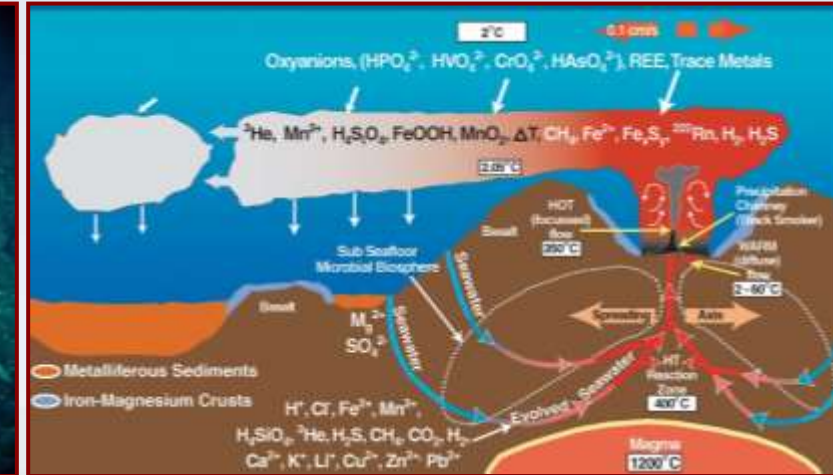
Rekonstrukcja 14-kilometrowego słupa erupcji Wezuwiusza w 1822 r.



Widok na Wezuwiusza

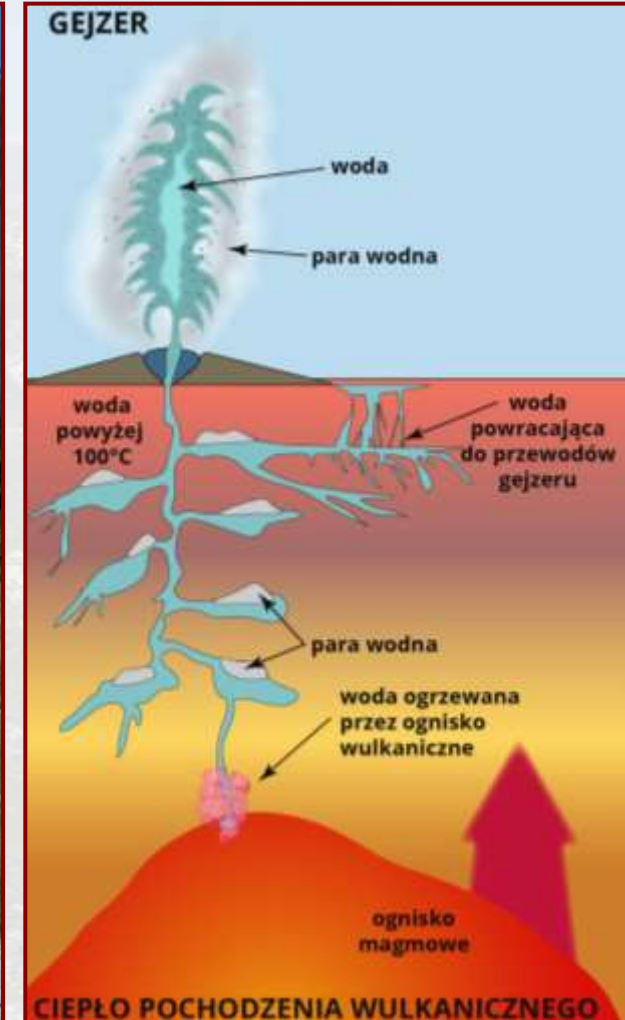
# Procesy postwulkaniczne

- Do **procesów postwulkanicznych** należą głównie **wyziwy gazów o różnej temperaturze**.
- Wzbogacają one atmosferę o olbrzymie ilości gazów włącznie z bardzo szkodliwymi dla świata żywego:
  - chlor, siarkowodór, chlorowodór, amoniak i dwutlenek siarki.
- Dolina Dziesięciu Tysięcy Dymów na Alasce wokół wulkanu Katmai uwalnia rocznie ponad 1 milion ton HCl i 300 tys. ton H<sub>2</sub>S.
- Skutkiem procesów postwulkanicznych są **procesy hydrotermalne**.
  - W sąsiedztwie intruzji magmowych następuje migracja gorących wód o temperaturze od 100°C do 400°C.
  - Wody te przemieszczając się przyczyniają się do rozpuszczania określonych związków chemicznych i wytrącania się ich (w zmienionej postaci) w innym miejscu.
  - W ten sposób tworzą się liczne złoża, tj. rudy żelaza, miedzi, niklu, wolframu, tytanu, molibdenu, chromu, cynku i ołowiu, platyny, uranu oraz niektórych kamieni szlachetnych.



# Gejzery

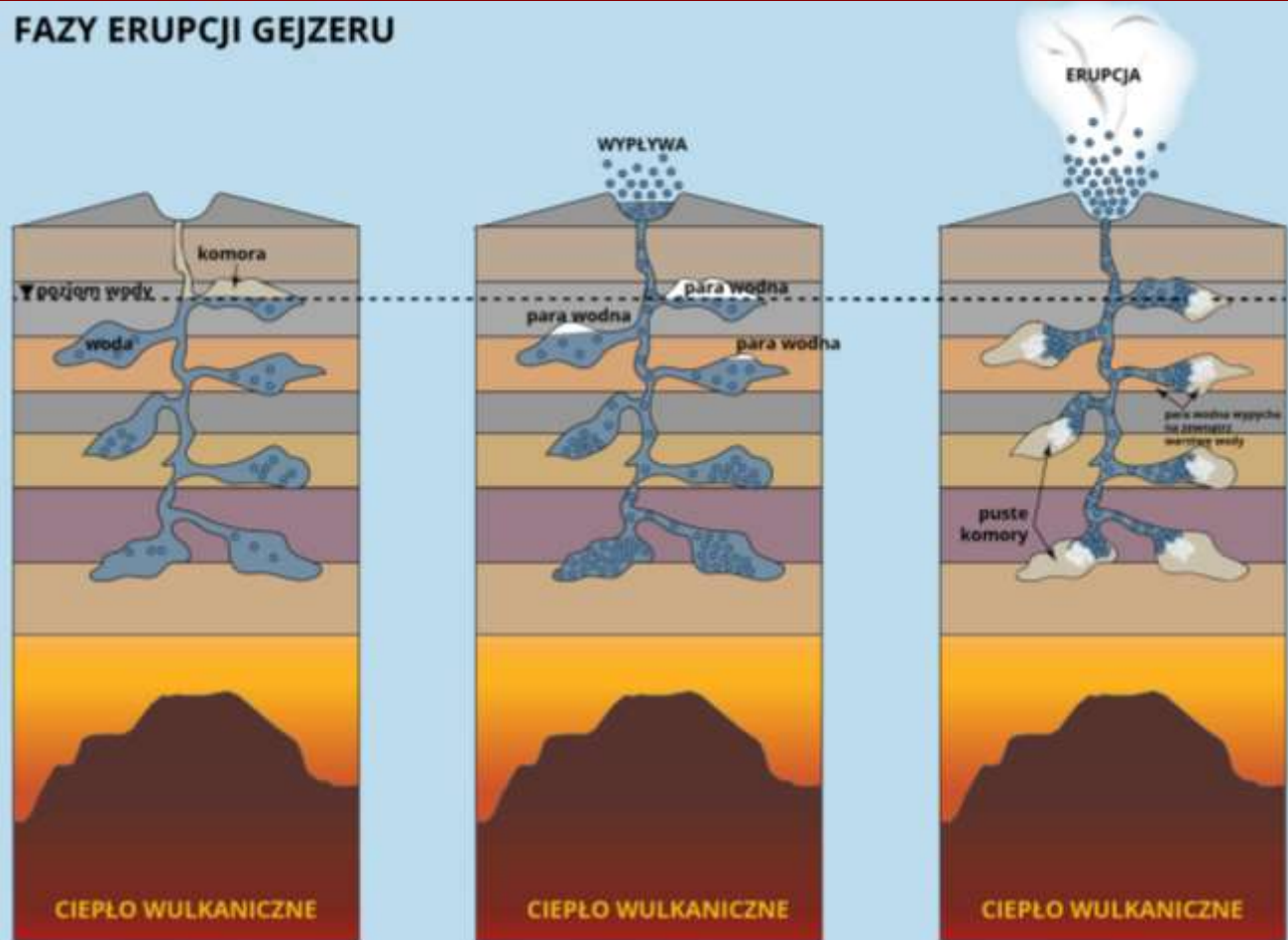
- 🌐 **Gejzery** występują na obszarach wulkanicznych lub w których notowano jeszcze niedawno aktywności wulkanicznej, tam gdzie w skałach krążą wody hydrotermalne (zawierają rozpuszczone substancje mineralne).
- 🌐 Są to gorące, cyklicznie wyrzucające parę i wodę (czasem z domieszką cząstek skalnych) źródła.
- 🌐 Gejzery posiadają specyficzne ujście w postaci szczeliny lub krateru wypełnionego wodą.



# Gejzery

- Erupcje gejzerów zachodzą z różną częstotliwością w przypadku różnych gejzerów (od minut do kilku dni).
- Jednak w przypadku konkretnego gejzery wybuchy już są bardzo regularne – niemal jak w zegarku.
- Woda w szczelinach może osiągać temperatury nawet powyżej 100°C (dzięki dużemu ciśnieniu nie staje się parą).
- Po osiągnięciu określonej temperatury (po odpowiednim podgrzaniu wody) i odpowiedniego wzrostu ciśnienia następuje wybuch wody (do wysokości 60 m) i pary wodnej (do wysokości nawet powyżej 300 m).

## FAZY ERUPCJI GEJZERU





# Gejzery – występowanie i wykorzystanie

🌐 Najwięcej gejzerów (atrakcja turystyczna) występuje w:

- 🌐 **Stanach Zjednoczonych** (Park Narodowy Yellowstone i Alaska – wykorzystywane do celów leczniczych),
- 🌐 **Islandii** (wykorzystywane do ogrzewania domów),
- 🌐 **Japonii** (wykorzystywane w medycynie),
- 🌐 **Chile,**
- 🌐 **Rosji** (Kamczatka),
- 🌐 **na Nowej Zelandii.**



# KONIEC



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

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

**WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE  
- KOPIOWANIE ZABRONIONE -**