



VI. Procesy egzogeniczne

1. Wietrzenie

Pojęcie wietrzenia

- **Wietrzeniem** nazywamy proces przystosowywania się skały do panujących warunków fizycznych i chemicznych.
 - Zachodzi ono na styku litosfery z atmosferą, hydrosferą i biosferą.
 - **Proces wietrzenia** polega na rozdrabnianiu skały, co prowadzi do zmniejszenia jej zwięzłości i spoistości.



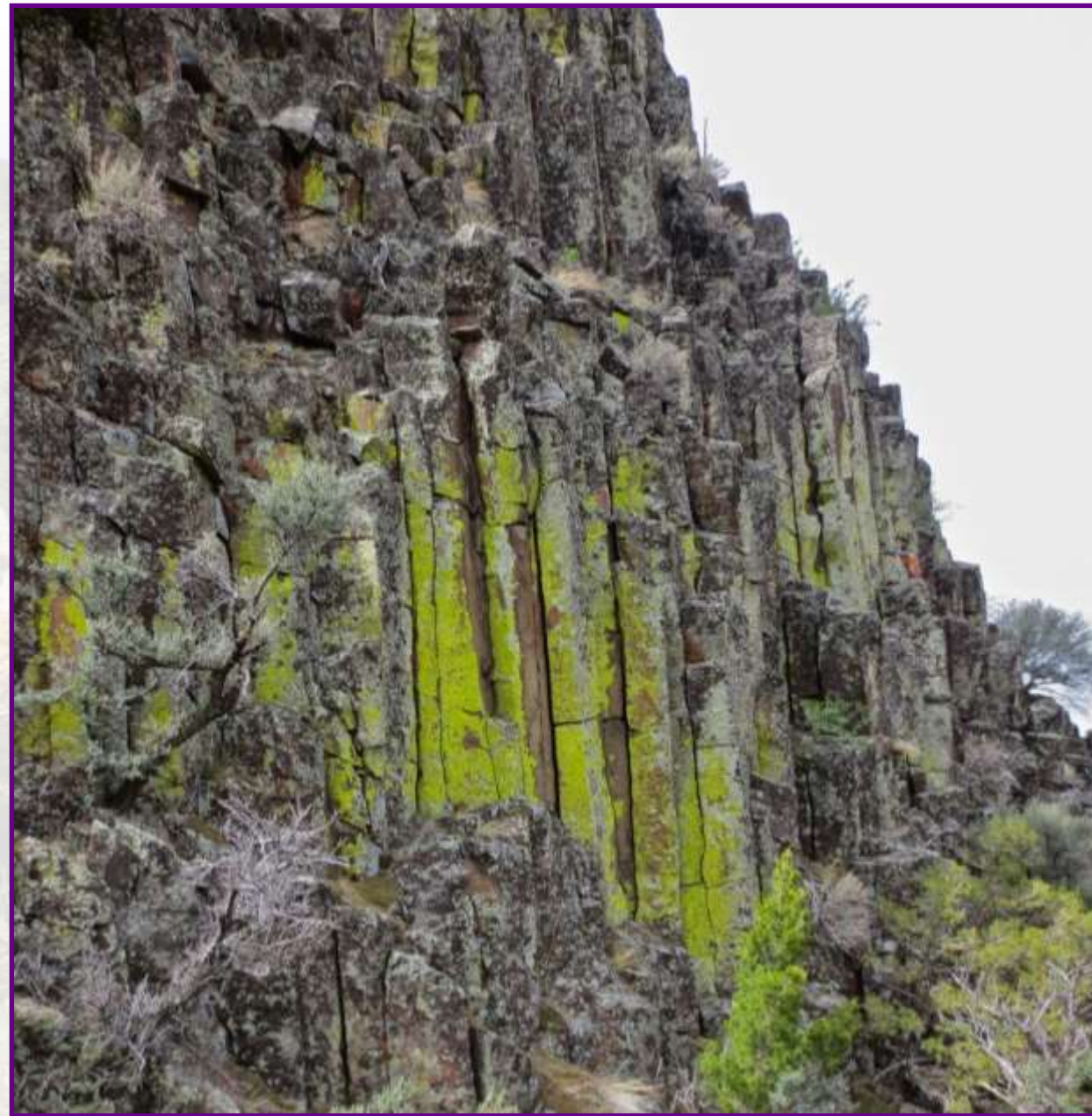
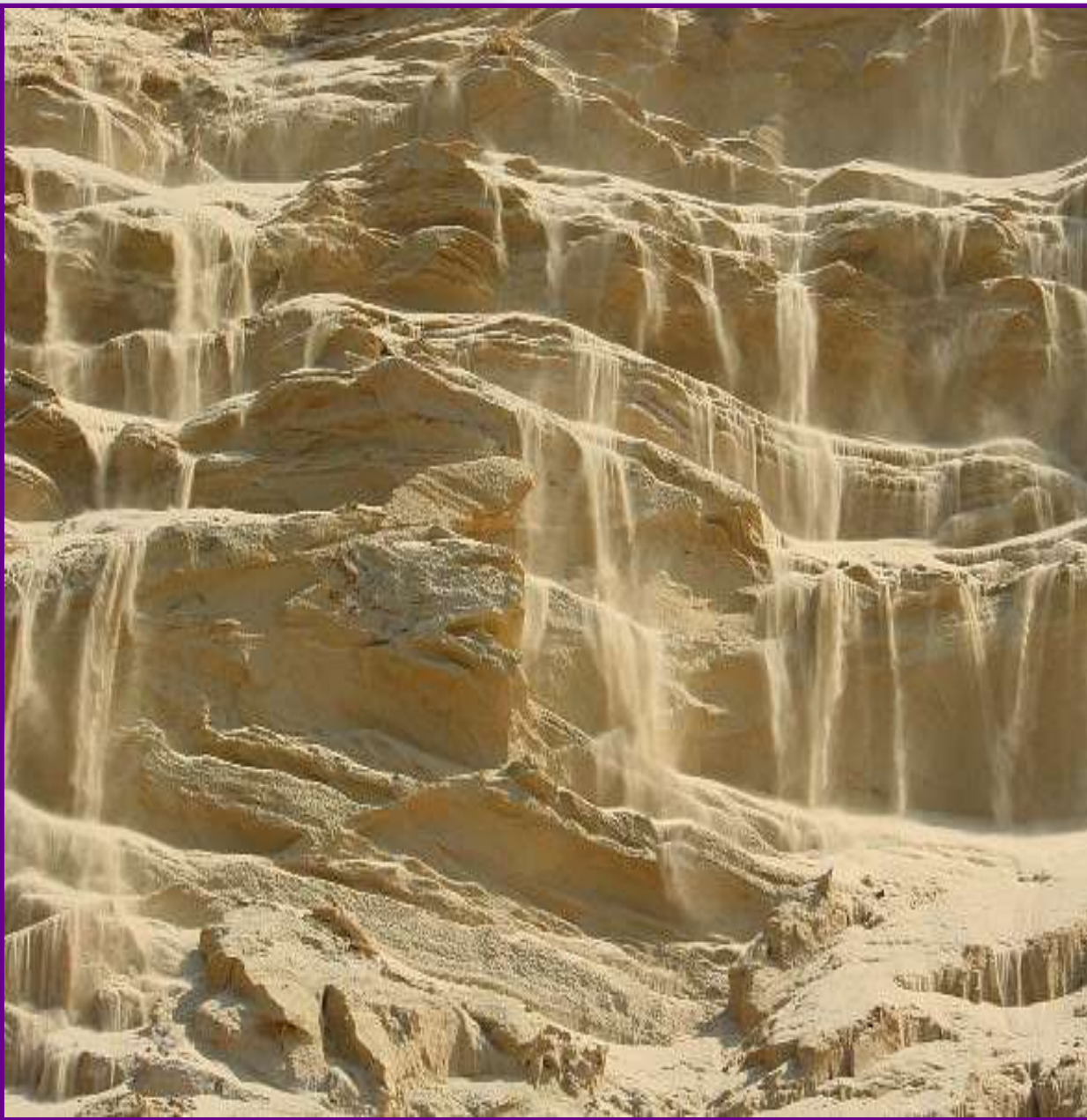
Gdzie występuje wietrzenie – środowisko występowania



Wietrzenie na styku głównych sfer Ziemi



Jak szybko zachodzi wietrzenie?



Czy jest coś co się może przeciwstawić wietrzeniu?



Główne rodzaje wietrzenia – definicje głównych typów wietrzenia

Wyróżniamy trzy główne typy wietrzenia:

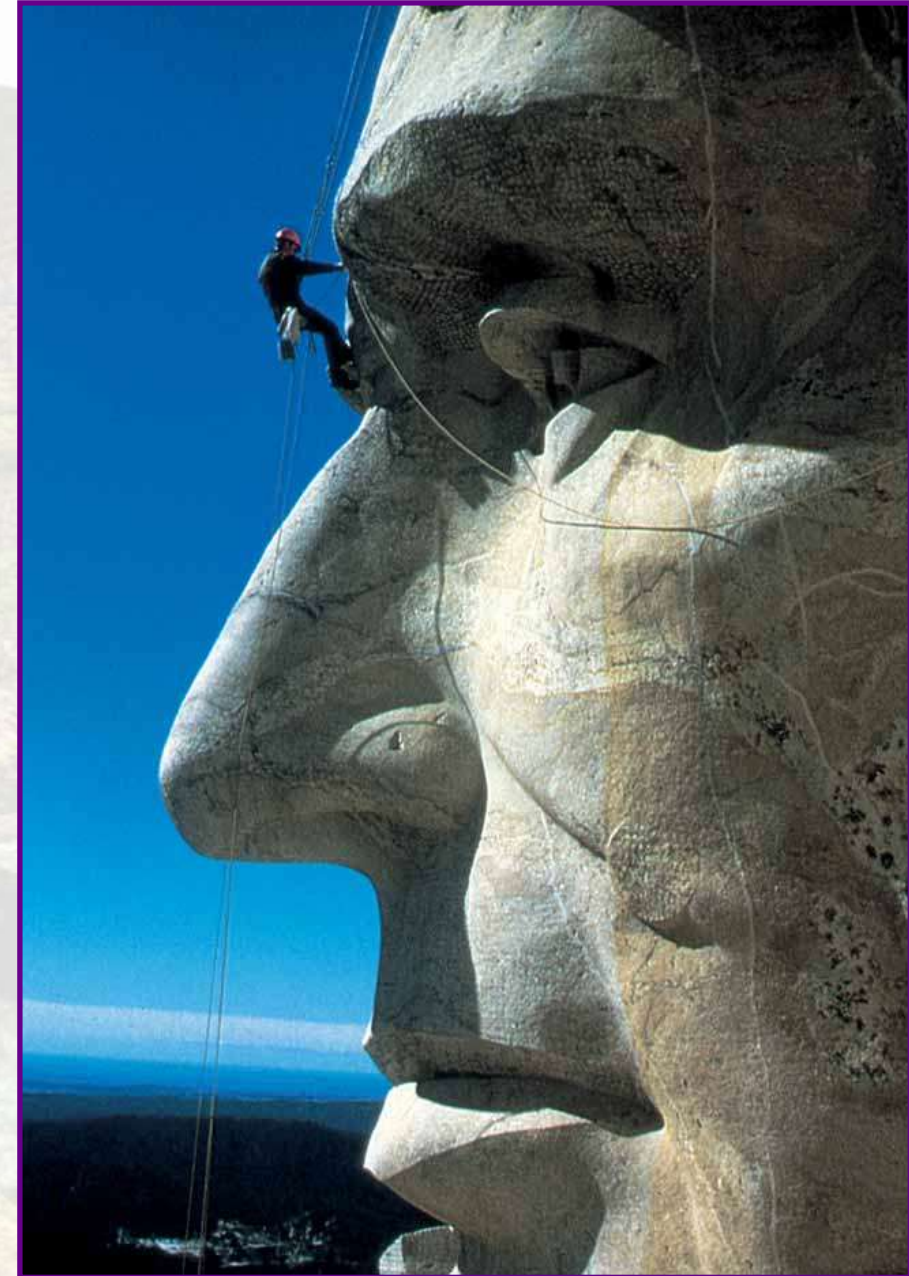
A. wietrzenie fizyczne lub **wietrzenie mechaniczne** – proces doprowadzający do zmian fizycznych,

- rezultatem wietrzenia fizycznego jest **rozpad skały**,
- skała rozpada się na bloki, głazy, okruchy i coraz drobniejsze cząstki, aż po pył, przy czym **zmienia się jej spistość**, a nie zmienia się skład chemiczny;

B. wietrzenie chemiczne lub **dekompozycja** – proces doprowadzający do zmian chemicznych skały,

- rezultatem wietrzenia chemicznego jest **rozkład skały**,
- w trakcie rozkładu **zmienia się zarówno spistość skały, jak i jej skład chemiczny**;

C. wietrzenie biologiczne – obejmuje zmiany powstałe pod wpływem rozwoju i aktywności życiowej organizmów.



Czynniki wpływające na rodzaj i przebieg wietrzenia

- Rodzaj i przebieg wietrzenia zależą przede wszystkim od:
 - **warunków klimatycznych**, głównie stosunków termicznych i opadowych;
 - **budowy podłoża skalnego (rodzaju skały)**, a więc składu mineralnego, uławicenia, porowatości i uszczelinienia;
 - **warunków orograficznych i ekspozycji stoków**;
 - **świata organicznego**, a zwłaszcza szaty roślinnej.



Czym jest wietrzenie i gdzie występuje?

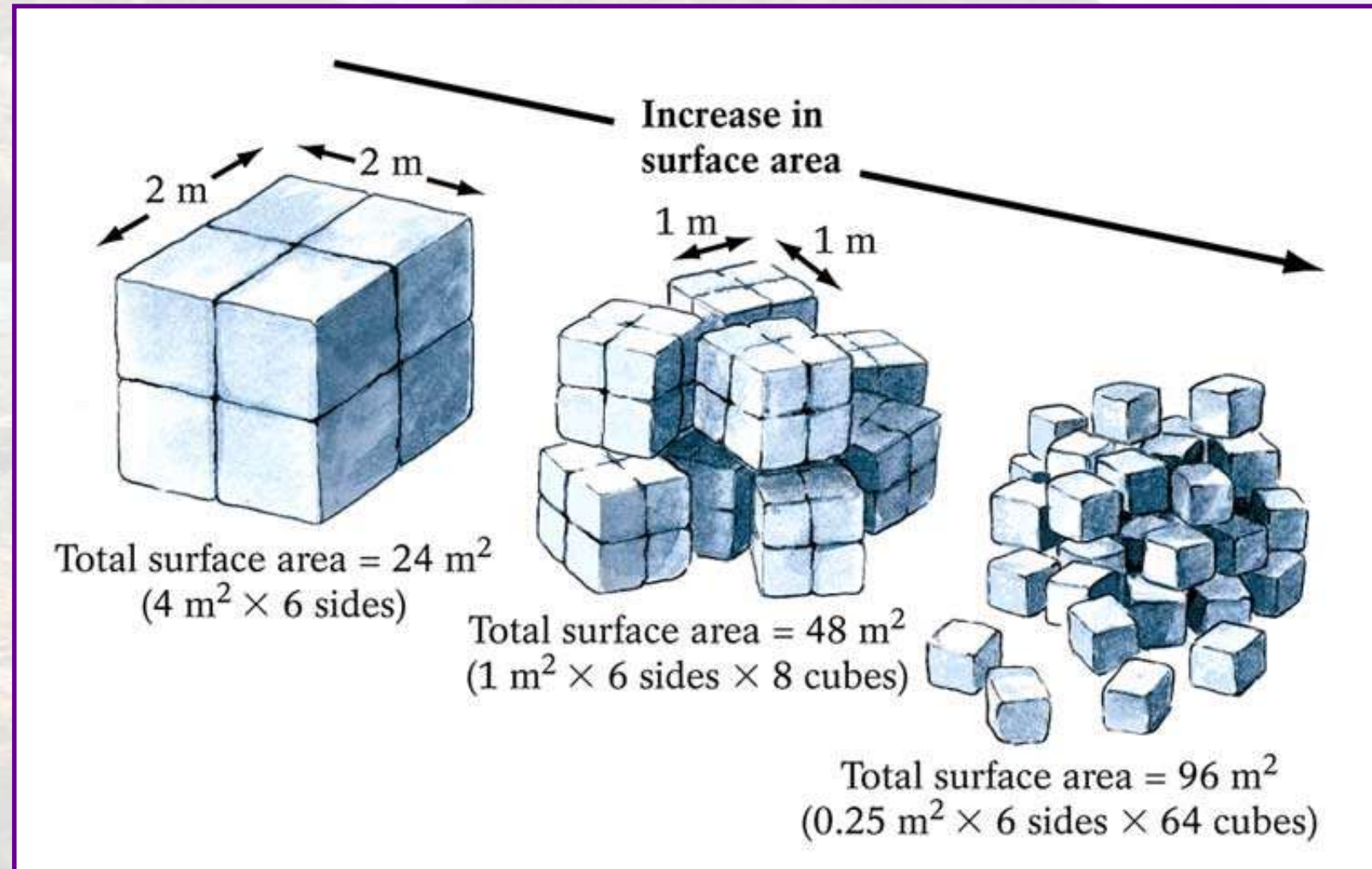


- **Proces wietrzenia** zachodzi w przypowierzchniowej strefie skorupy ziemskiej zwanej **strefą wietrzenia**.
 - Sięga ona tak głęboko, jak głęboko docierają wpływy termiczne Słońca oraz chemiczna działalność wody i gazów:
 - do głębokości od kilku do kilkudziesięciu metrów.
- **Wietrzenie** nie stwarza form, ale jest procesem przygotowującym, a nawet warunkującym powstawanie i rozwój form egzogenicznych na powierzchni Ziemi.
 - Bez wietrzenia i bez udziału materiału wietrzeniowego w procesach modelujących powierzchnię Ziemi nie zachodziłyby procesy denudacji i erozji.
 - Bowiem woda, lód i wiatr powinny zawierać gruz lub okruchy skalne, chociażby najmniejsze, by wykonywać pracę niszczącą.

A. Wietrzenie fizyczne (mechaniczne)

Przyczyną wietrzenia fizycznego są:

- zmiany w intensywności promieniowania słonecznego (**insolacja**),
- na przemian zamarzanie i odmarzanie gruntu (**kongelacja**),
- zmiany wilgotności gruntu (**hydracja i dehydracja**),
- mechaniczna **działalność organizmów roślinnych i zwierzęcych**.



1. Wietrzenie insolacyjne (termiczne)

- **Wietrzeniem insolacyjnym (termicznym)** jest nazywany rozpad skały, spowodowany zmianami temperatury, wielokrotnym na przemian nagrzewaniem i ochładzaniem, następującym wskutek działania Słońca.
- Najsilniejsze jest w obrębie skał zbudowanych z różnokolorowych minerałów:
 - **ciemne ziarna minerałów** – szybciej i silniej się nagrzewają (bardziej się rozszerzają),
 - **jasne ziarna minerałów** – odbijają w większym stopniu promienie słoneczne – ogrzewając się wolniej i słabiej (rozszerzają się mniej).
- Na granicy ziaren tworzą się **naprężenia**, które przyczyniają się do rozkruszania skał.



Wietrzenie insolacyjne (termiczne)

- Pojawiające się w dzień na niebie **chmury** mogą dodatkowo wpływać na wzrost intensywności wietrzenia.
- Znikające i pojawiające się Słońce wskutek nasuwania się na nie chmur (szczególnie typu Cumulus) może powodować wielokrotnie następujące po sobie fazy ogrzewania i wychładzania skał, skutkujące rozszerzaniem i kurczeniem się ziaren – czyli powstawaniem i zanikaniem naprężeń pomiędzy różnokolorowymi minerałami w obrębie skały.



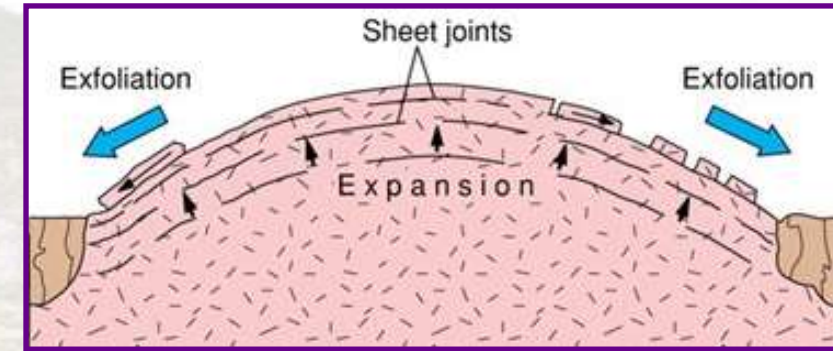
Wietrzenie insolacyjne (termiczne) – rozpad ziarnisty (dezintegracja granularna)

- Wskutek wielokrotnych zmian temperatury powstają z czasem zluźnienia pomiędzy ziarnami i z powierzchni skalnej wykruszają się pojedyncze ziarna,
- efekt to **rozpad ziarnisty**, czyli **dezintegracja granularna**,
 - produktem jest **kasza ziarnista**.



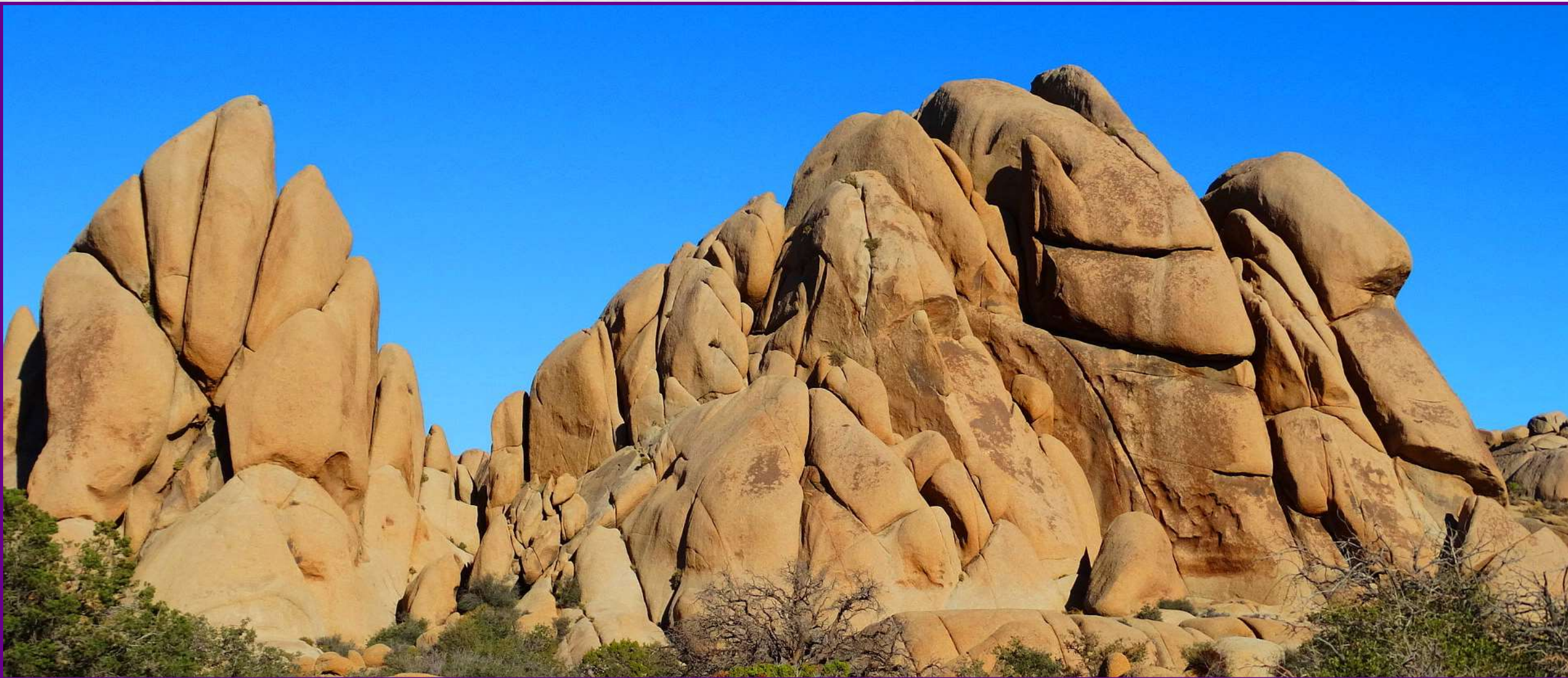
Wietrzenie insolacyjne (termiczne) – łuszczenie (eksfoliacja)

- **Łuszczenie (eksfoliacja)** – następuje wskutek insolacji – nagrzewania się nie tylko powierzchni skały, ale także warstwy przypowierzchniowej.
 - Głębsze partie skały podlegają coraz słabszemu ogrzewaniu, i to tylko do pewnej głębokości.
 - Powoduje to powstawanie napięć (górną część skały powiększa się bardziej), doprowadzających do tworzenia się drobnych pęknięć przypowierzchniowych, równoległych do powierzchni skalnych.
 - Pęknięcia z biegiem czasu się powiększają.
 - Wzdłuż tych pęknięć warstewki przypowierzchniowe oddzielają się.

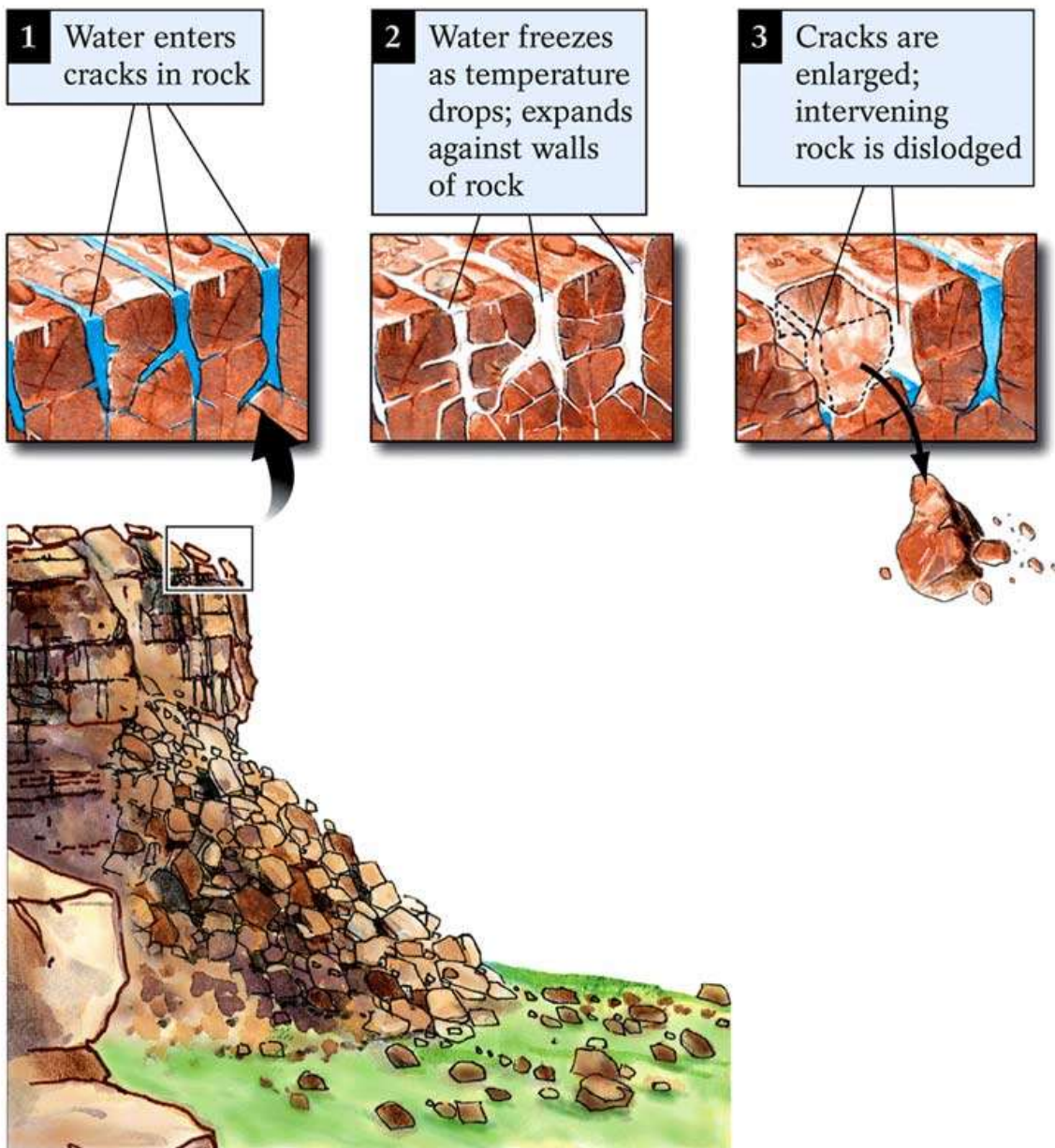


Wietrzenie insolacyjne (termiczne) – rozpad blokowy (dezintegracja blokowa)

- ☉ W wyniku ochładzania skały partie zewnętrzne kurczą się bardziej aniżeli wewnętrzne i powstają szczeliny prostopadłe do poprzednich, dzielące warstwę przypowierzchniową na płyty, bloki i okruchy.
- ☉ Jest to **rozpad blokowy** albo **dezintegracja blokowa**.



2. Wietrzenie mrozowe (kongelacja)



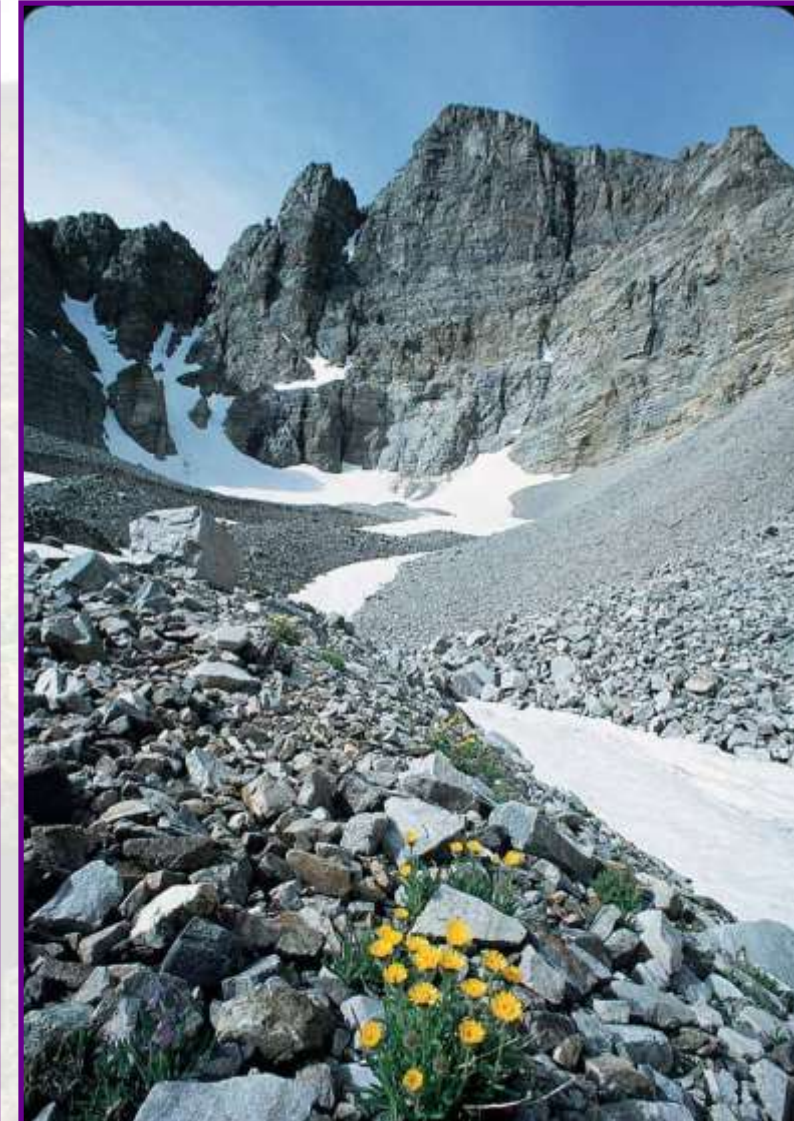
- **Wietrzenie mrozowe (kongelacja)** – polega na rozsadzaniu i rozdrabnianiu skały przez zamarzającą wodę.
- Podlegają mu skały porowate i uszczelinione.
- Woda wypełniająca pory i szczeliny, zamarza i zwiększa swoją objętość o 9%.
 - Im częstsze są wahania temperatury w pobliżu 0°C i jeśli częściej zachodzi **na przemian zamarzanie i odmarzanie wody** w szczelinach, tym większe są efekty wietrzenia mrozowego.
 - Proces ten nosi nazwę **multigelacji**.
 - Takie warunki panują w regionach o klimacie zimnym: **polarnych i wysokogórskich**.
- Wielokrotne zamarzanie i odmarzanie wody w szczelinach i porach oraz związane z tym **rozsadzanie, rozkruszanie, odłupywanie i rozdrabnianie** doprowadza do:
 - **rozpadu blokowego,**
 - **rozpadu okruchowego,**
 - **rozpadu ziarnistego,**
 - **rozpadu pyłowego.**

Wietrzenie mrozowe (kongelacja)



Efekt wietrzenia mrozowego - gołoborza

W wyniku wietrzenia mrozowego następuje rozdrabnianie skał na mniejsze ostrokrawędziste części (następuje rozpad blokowy, okrucowy, ziarnisty lub pyłowy). Skały te w górach wchodzi w skład różnych form, m.in. stożków usypiskowych i rozwalisk (np. w Tatrach, Karkonoszach) oraz rumowisk, w postaci gołoborza (najbardziej typowe występują na stokach Łysogór).



Efekt wietrzenia mrozowego - rumowisko skalne

3. Wietrzenie solne (salinarne) (eksudacja)

- **Wietrzenie solne (salinarne) (eksudacja)** – zachodzi w obrębie skał osadowych, zawierających sole sodowe, potasowe i magnezowe:
 - w obszarach o klimacie wilgotnym są one wymywane, ługowane i odprowadzane do mórz i oceanów – dotyczy to w szczególności soli,
 - powoduje to **powstawanie pustych przestrzeni** w skałach, które się mogą zapadać.
- w obszarach o klimacie suchym, w regionach nadmorskich nastąpiła duża ich koncentracja w pokrywach zwietrzelinowych i jeziorach bezodpływowych,
 - **krystalizacja roztworów solnych w przestrzeniach zamkniętych** powoduje rozsadzanie szczelin, rozrywanie okruchów, niszczenie spójności skały,
 - powstaje pokrywa gruzowa, złożona z ostrokrawędzistych okruchów i łusek, a materiał pyłowy tworzy **“mleko pustynne”**.



Wietrzenie solne –
róża pustyni

4. Wietrzenie skał ilastych (deflokulacja)

- **Wietrzenie skał ilastych (deflokulacja)**, czyli rozbijanie spójności skał ilastych wskutek **hydracji** i **dehydracji**, odbywa się na obszarach zbudowanych **ze skał ilastych**:
 - w porze wilgotnej utwory ilaste **nasiąkając wodą** opadają **pęcznieją** — rośnie ich objętość,
 - w porze suchej w związku z wyparowywaniem wody **kurczą się**.
- Powtarzające się wielokrotnie procesy nawodnienia i odwodnienia skał ilastych prowadzą do powstawania licznych **szczelin z wysychania**, ograniczających poligony różnych rozmiarów.



Szczeliny z wysychania

5. Wietrzenie odciążeniowe

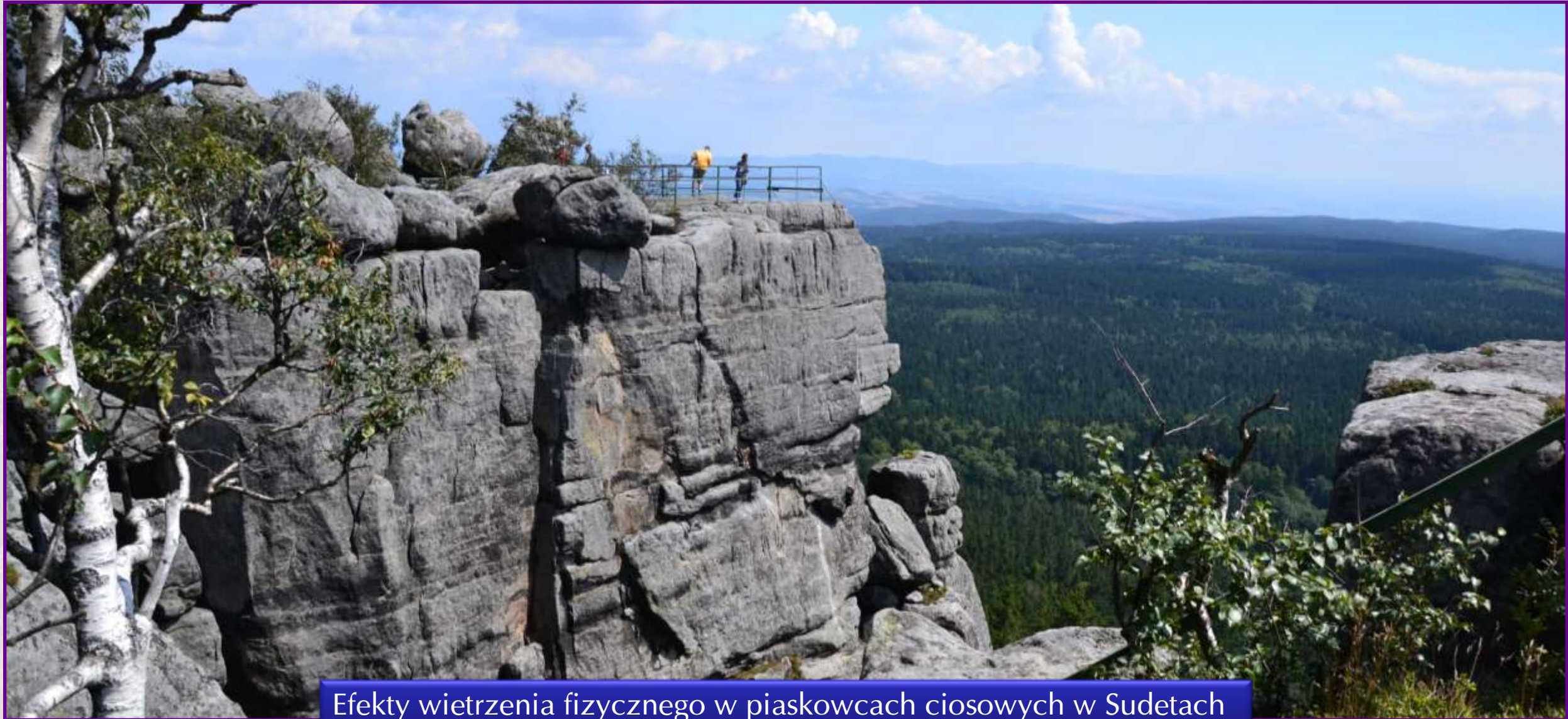
☉ **Wietrzenie odciążeniowe** zachodzi etapowo.

- ☉ Powstawanie skał odbywa się w głębi skorupy ziemskiej przy znacznie wyższym ciśnieniu niż przy powierzchni.
- ☉ W miarę usuwania przez procesy niszczące kolejnych mas skalnych leżących wyżej, następuje odciążenie skał znajdujących się głębiej.
- ☉ Odciążone skały podłoża, które pozbawione są ciężaru zdjętej okrywy – wskutek procesów erozyjno-denudacyjnych, pękają (następuje rozprężenie), powstaje w nich rozległa i gęsta sieć **SPEKAŃ CIOSOWYCH**.



Wietrzenie odciążeniowe – spękania ciosowe

- Spękania ciosowe otwierają drogę różnym rodzajom wietrzenia.
- Z tego typu wietrzeniem mamy do czynienia w Górach Stołowych, zbudowanych z piaskowców ciosowych.



Efekty wietrzenia fizycznego w piaskowcach ciosowych w Sudetach

B. Wietrzenie chemiczne (dekompozycja)

- Wietrzenie chemiczne doprowadza do rozkładu skały, do **przeobrażenia jej składu mineralnego i chemicznego**.
- Głównym czynnikiem wietrzenia chemicznego jest **WODA OPADOWA**, zawierająca:
 - głównie gazy pobrane z powietrza:
 - tlen, azot, dwutlenek węgla**;
 - w niewielkich ilościach także:
 - amoniak, tlenek azotu i chlor**, dostarczane głównie przez przemysł.
- Woda wsiąkająca w głąb podłoża skalnego rozpuszcza różne minerały i tworzy nowe związki i aktywne składniki przyspieszające dalsze wietrzenie.
 - Są to:
 - kwask siarkowy, kwas węglowy oraz kwasy humusowe**, dostarczane przez gnijącą materię organiczną.
- Różne składniki dostarczane w coraz większych ilościach przez **zakłady przemysłowe** bardzo przyspieszają proces wietrzenia chemicznego.
- Rozkład skały przebiega szybciej przy **wyższych temperaturach wody i przy dużym rozdrobnieniu i uszczelinieniu skały**.
 - Daleko posunięte **wietrzenie fizyczne przyspiesza wietrzenie chemiczne**.



Czynniki wietrzenia chemicznego - rodzaje wietrzenia chemicznego (dekompozycji)

• **Czynniki wietrzenia chemicznego** atakując skały powodują w zależności od ich składu chemicznego oraz warunków środowiskowych:

- **utlenianie**, czyli **oksydację**,
- **redukcję**,
- **rozpuszczanie**, czyli **solucję**,
- **uwęglanowanie** (karbonatyzacja),
- **uwodnienie**, czyli **hydrację**,
- **hydrolizę**.



1. Utlenianie (oksydacja)

- ☉ **Utlenianie (oksydacja)** – polega na łączeniu składników mineralnych z wolnym tlenem atmosferycznym.
- ☉ Wskutek tego:
 - ☉ ciała beztlenowe przechodzą w tlenowe,
 - ☉ np. siarczki w siarczany,
 - ☉ związki słabiej utlenione przechodzą w bardziej utlenione,
 - ☉ np. czarny magnetyt w czerwony hematyt (np. w warunkach klimatu suchego), tlenki żelaza dwuwartościowego w tlenki żelaza trójwartościowego.
- ☉ Pod wpływem utlenienia ciemne substancje organiczne zawierające węgiel (C) ulegają rozjaśnieniu.



2. Redukcja

- **Procesy redukcyjne** są przeciwieństwem utleniania (oksydacji).
- **Redukcja** – spowodowana jest głównie działalnością bakterii lub rozkładem materii organicznej w środowisku pozbawionym wolnego tlenu - beztlenowym (np. w wodzie).
 - W wyniku redukcji hematyt (Fe_2O_3) przechodzi w magnetyt (FeO).
- W glebach w uwodnionej części profilu glebowego zachodzi **oglejenie**, czyli redukcja żelaza do postaci Fe^{2+} , w wyniku której możemy zaobserwować zmianę odcienia w profilu na **kolor szarzielony**.



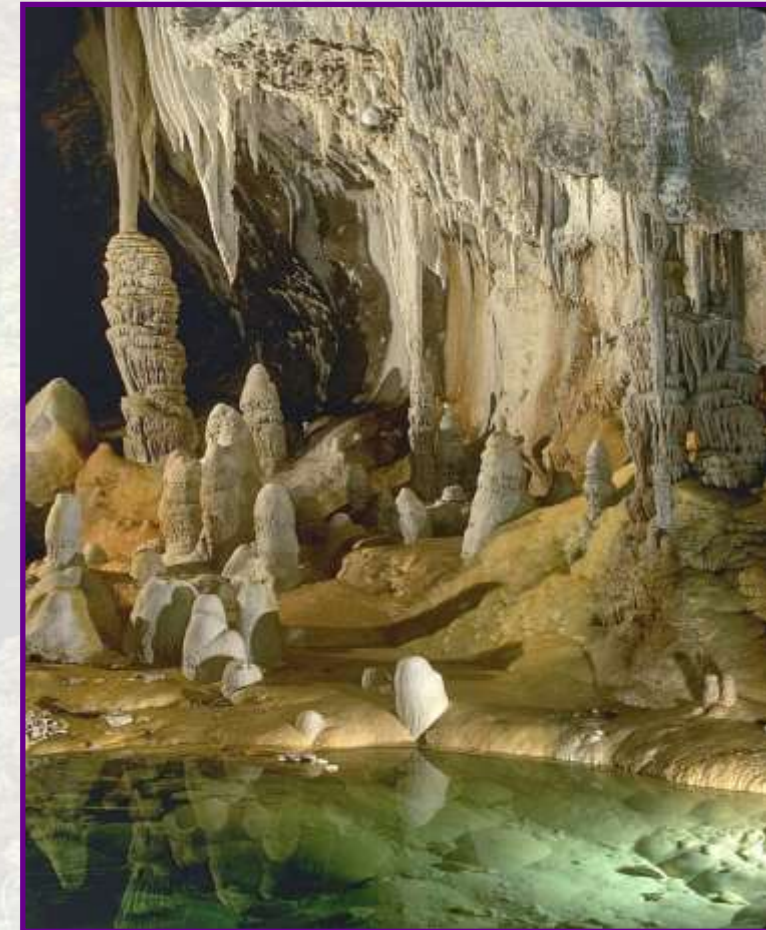
3. Rozpuszczanie (solucja)

- **Rozpuszczanie (solucja)** – polega na przechodzeniu minerałów w roztwory wodne.
- Niektóre z minerałów bardzo łatwo się rozpuszczają w czystej wodzie.
 - Należą do nich halit (chlorek sodu) i gips.



4. Uwęgławianie (karbonatyzacja)

- **Uwęgławianie (karbonatyzacja)** – jest związana z obecnością w wodzie dwutlenku węgla i polega na rozpuszczaniu i wypieraniu przez wodę, zawierającą CO_2 , węglanów wapnia, magnezu, żelaza i na rozkładaniu krzemianów oraz glinokrzemianów i przechodzeniu ich w węglany.
- Proces ten dobrze jest widoczny podczas wietrzenia skał węglanowych, których główny składnik, kalcyt, słabo rozpuszcza się w czystej wodzie, natomiast bardzo szybko w słabym nawet roztworze kwasu węglowego.



5. Uwodnienie, czyli hydracja

- **Uwodnienie**, czyli **hydracja** – polega ona na łączeniu się niektórych minerałów z wodą,
 - a więc przechodzeniu minerału bezwodnego w uwodniony, np.:
 - **czerwony hematyt** przeobraża się w **żółty limonit**,
 - **anhydryt** (siarczan wapnia) przechodzi w **gips** (uwodniony siarczan wapnia),
 - **miedź** w **malachit**.



Czerwony hematyt



Żółty limonit



Anhydryt



Gips



Miedź



Malachit

6. Hydroliza – proces laterytyzacji i kaolinityzacji

- W wyniku **hydrolizy** pod wpływem **wody zawierającej CO_2** następuje **rozkład minerałów na kwaśne i zasadowe**.
 - **Jeden** z produktów rozkładu **ulega wyługowaniu i przemieszczeniu do niższej warstwy**.
 - **Drugi**, nierozpuszczalny, **pozostaje na miejscu**.
- Wskutek tego procesu ulegają rozkładowi krzemiany, a szczególnie **skalenie**.
 - Są to minerały najbardziej powszechne, stanowią ponad połowę składników górnej części litosfery.
 - W toku hydrolitycznego rozkładu skaleni ulegają wyługowaniu i odprowadzeniu do roztworu: sól, magnez, potas, wapń, a najwolniej żelazo i mangan.
- W zależności od warunków klimatycznych i środowiskowych skalenie podlegają:
 - procesowi **kaolinityzacji** lub **laterytyzacji**.



Hydroliza – proces kaolinityzacji

- W procesie **kaolinityzacji** (w wyniku wietrzenia chemicznego – hydrolizy) następuje **przeobrażanie się minerałów krzemionkowych**, przede wszystkich **skalni** (zawartych w wietrzejących granitach i arkozach) **w kaolinit**.
- Wydzielona krzemionka ulega krystalizacji i powstają nowe minerały zwane minerałami ilastymi:
 - illity, montmorylonity, kaolinity (glinka porcelanowa) i haloizyty.
- Tworzą one specyficzne nagromadzenia **kaolinu** (**kaolinizacja**).



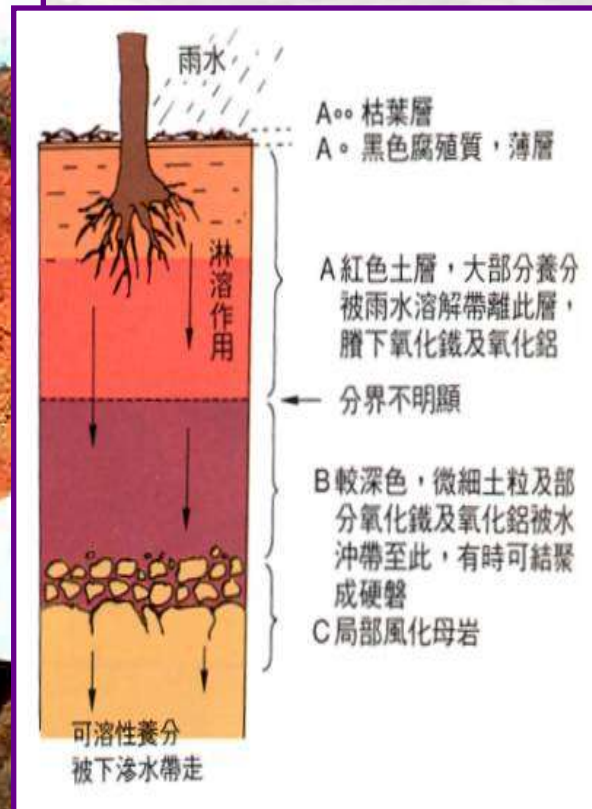
Wietrzenie chemiczne – Hydroliza
(pokrywa kaolinowa)

Hydroliza – proces laterytyzacji

- **Wietrzenie laterytowe** przyczynia się do powstawania czerwonych **pokryw laterytowych**, złożonych z **wodorotlenków glinu oraz żelaza**, które są **całkowicie pozbawione krzemionki**.
- Lateryty są ostatecznym produktem długotrwałego wietrzenia chemicznego w warunkach klimatu gorącego, okresowo suchego, zachodzącego na podłożu skał zasadowych.
- Gliny laterytowe nie nasiakają wodą, są twarde, skorupowe, rozmazujące, ale nie są plastyczne, co ma swoje konsekwencje geomorfologiczne i gospodarcze.



Wietrzenie chemiczne – hydroliza (pokrywa laterytowa)

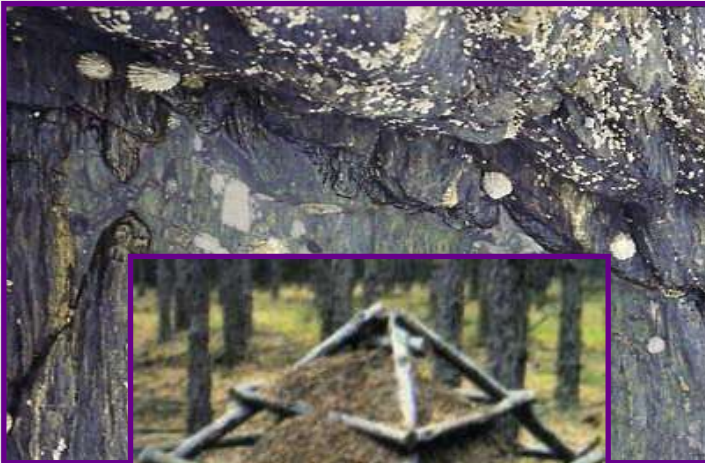


C. Wietrzenie biologiczne

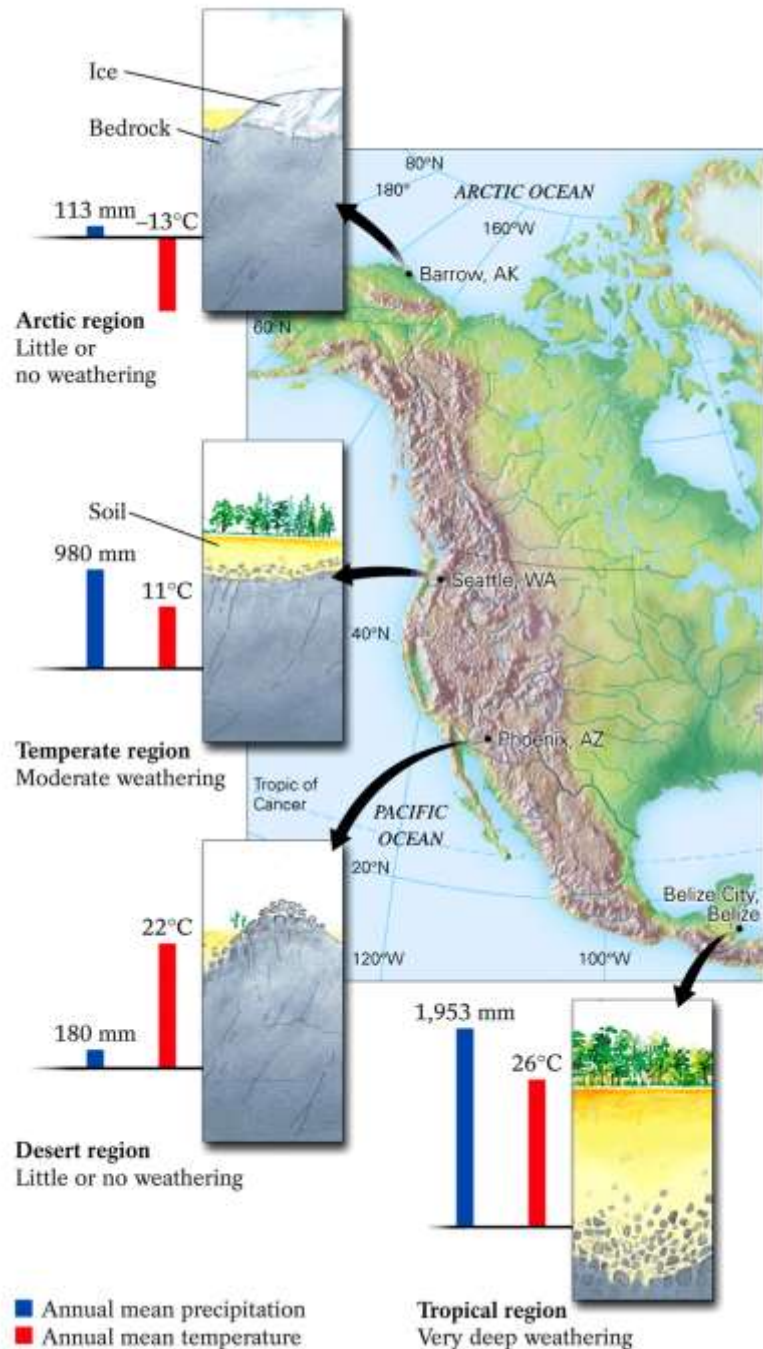
- Również organizmy żywe przyczyniają się do wietrzenia skał, zarówno **fizycznego**, jak i **chemicznego**.
- Podstawowym czynnikiem jest **obecność organizmów żywych**, np.:
 - **korzenie roślin wnikają w szczeliny skał i poszerzają je:**
 - korzenie są w stanie bezproblemowo rozsadzać nawet lite skały – np. korzeń o długości 1 m i grubości 10 cm może pokruszyć blok o ciężarze 40 ton;
 - **korzenie roślin wydzielają kwasy organiczne** przy kontakcie ze skałą, a następnie drążą w niej kanaliki powodujące osłabienie i rozkruszenie skały;
 - **w reakcje chemiczne wchodzi również kwasy humusowe (kwasy organiczne)**, będące produktem rozpadu materii organicznej,
 - np. amoniak czy siarkowodór biorą udział w wietrzeniu chemicznym;
 - **małe organizmy**,
 - np. porosty, bardzo ściśle przylegają do podłoża skalnego, powodują łuszczenie się skał i rozpad skały na drobne okruchy;
 - **zwierzęta ryją i kopią nory:**
 - mogą one rozpulchniać, rozdrabniać i przenosić zwietrzały materiał, np. wysokość mrowiska wynosi 30-150 cm.



Wietrzenie biologiczne i jego efekty



Wietrzenie a klimat



- Charakter wietrzenia i jego intensywność zależą od klimatu:
 - **w klimacie zimnym (polarnym) i w wysokich górach:**
 - dominuje wietrzenie mechaniczne głównie zamróz;
 - **w klimacie umiarkowanym działa:**
 - wietrzenie fizyczne zimą – zamróz,
 - wietrzenie chemiczne głównie latem;
 - **w klimacie gorącym suchym pustynnym:**
 - dominuje wietrzenie fizyczne (insolacyjne),
 - wietrzenie solne – wody gruntowe zawierające sole mineralne, krystalizują w porach i szczelinach skalnych;
 - **w klimacie gorącym wilgotnym:**
 - przeważa wietrzenie chemiczne,
 - produktami wietrzenia są gliny zwietrzelinowe: laterytowe, kaolinitowe.

Wietrzenie - podsumowanie



KONIEC



Materiały pomocnicze do nauki
Opracowane w celach edukacyjnych (niekomercyjnych)

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

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE
- KOPIOWANIE ZABRONIONE -