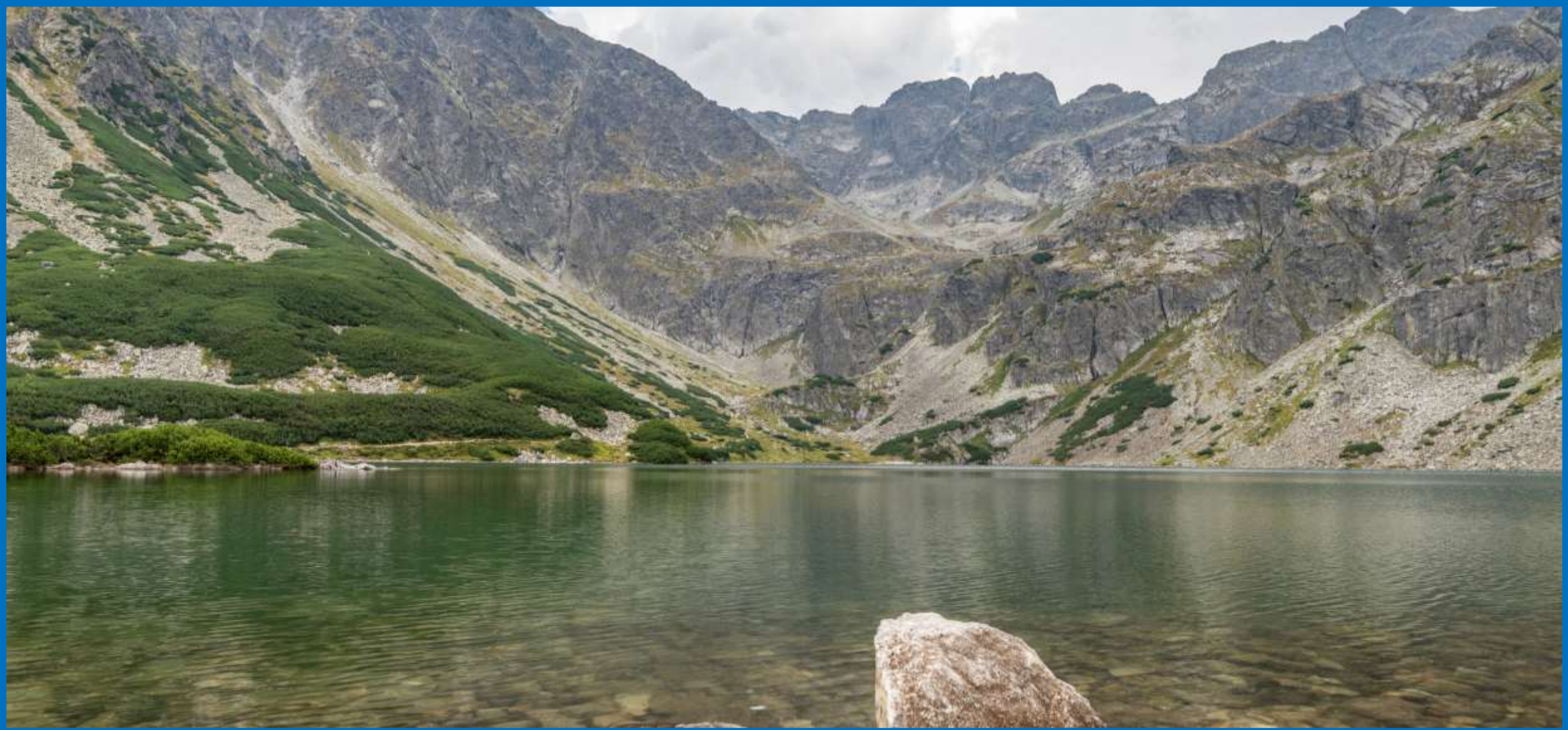




VI. Procesy egzogeniczne

1. Wietrzenie skał



Procesy egzogeniczne (zewnętrzne)

Rola procesów egzogenicznych w kształtowaniu rzeźby naszej planety

→ **Procesy egzogeniczne (zewnętrzne)** – obejmują różnorodne procesy rzeźbotwórcze zachodzące na powierzchni Ziemi, prowadzące do wyrównywania powierzchni naszej planety.

→ Są one napędzane głównie **energią promieniowania słonecznego** oraz **siłą grawitacji**.

→ Bezpośrednia praca rzeźbotwórcza następuje w wyniku działania procesów i czynników zewnętrznych, w tym:

- **wietrzeń,**
- **ruchów masowych,**
- **erozji,** będącej efektem ruchu wody, lodu i wiatru.



Rola procesów egzogenicznych – denudacja i działalność rzeźbotwórcza

- Procesy zewnętrzne stanowią naturalną **przeciwwagę dla sił wnętrza Ziemi** (takich jak ruchy górotwórcze czy wulkanizm), które prowadzą do powstawania wypukłych form terenu.
- To właśnie ich **działalność powoduje denudację**, czyli **stopniowe wyrównywanie rzeźby terenu** w wyniku systematycznego niszczenia różnych form – od najwyższych łańcuchów górskich, przez wyżyny, aż po niziny.



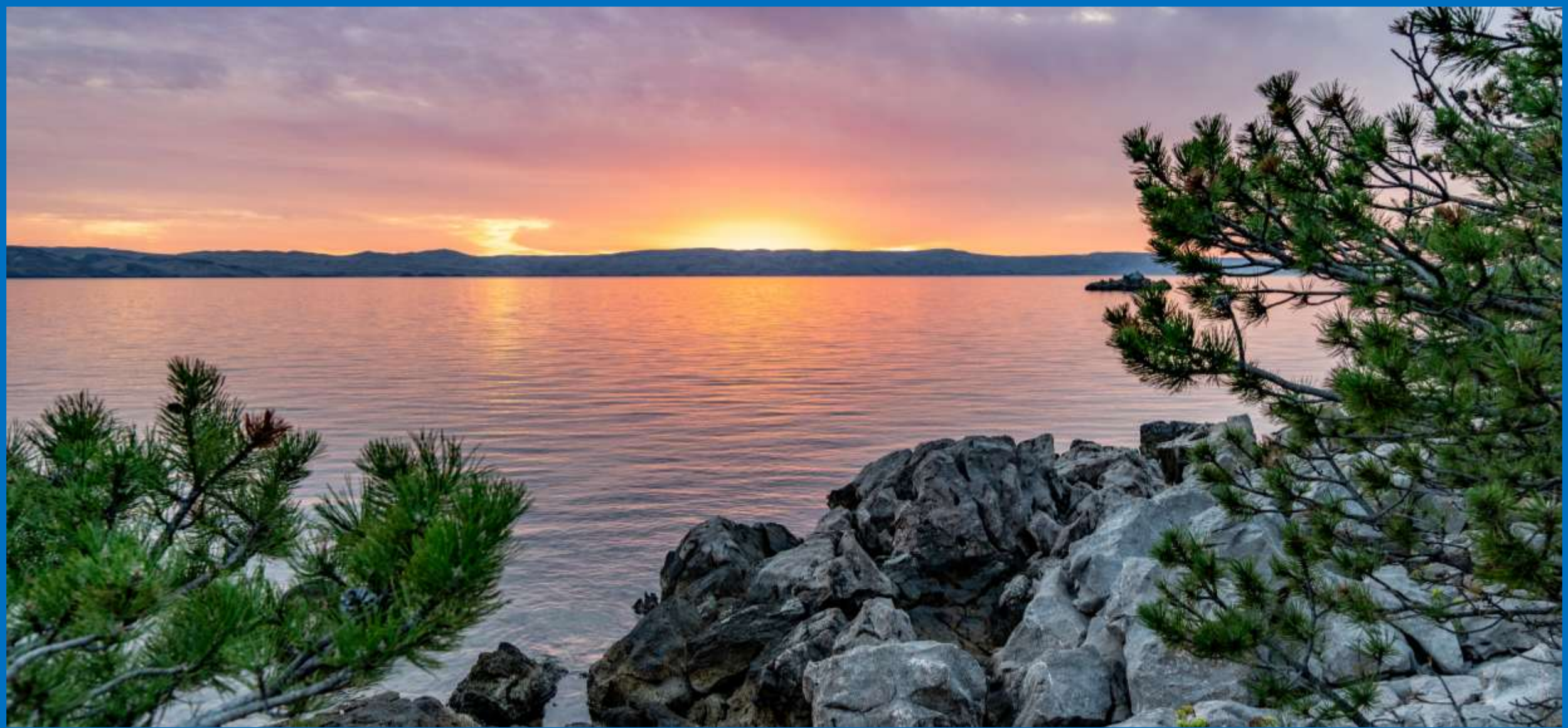
Góry, wyżyny i niziny podlegają nieustannemu przekształcaniu ich rzeźby w wyniku działania procesów zewnętrznych (procesów egzogenicznych), np. wietrzenia oraz rzeźbotwórczej działalności wiatru, rzek, morza, lodowców górskich i lądolodów. Przyczyniają się one do spłaszczania poszczególnych form rzeźby – wzniesienia są niszczone, zaś materiał pochodzący z nich trafia do zagłębień.

Wszystko to ma swój cel – powstanie nowych form terenu

- Procesy egzogeniczne nie ograniczają się jednak wyłącznie do destrukcji.
- Rozdrobniony materiał skalny podlega następnie **transportowi** – jest przenoszony na znaczne odległości przez wiatr, rzeki, wody morskie czy przemieszczające się masy lodu (lodowce).
- Gdy siła nośna tych czynników słabnie, rozpoczyna się budujący etap cyklu, czyli **akumulacja (osadzanie)**.
- Przenoszony materiał gromadzi się w obniżeniach terenu i płytkich zbiornikach wodnych, formując zupełnie nowe, **akumulacyjne formy rzeźby** (takie jak piaszczyste wydmy, rozległe równiny, stożki napływowe czy delty rzeczne).
- W ten sposób procesy egzogeniczne zamykają odwieczny cykl zniszczenia i budowy.



W ostatecznym rozrachunku procesy egzogeniczne nie oszczędzą żadnej, nawet najpotężniejszej formy rzeźby na powierzchni Ziemi. Całkowite zniszczenie i zrównanie każdego wzniesienia to wyłącznie kwestia czasu oraz oporu, jaki stawiają budujące je skały.



Wietrzenie

Pojęcie wietrzenia

- **Wietrzenie** – proces przystosowywania się skał do panujących na Ziemi warunków fizycznych i chemicznych.
- Zachodzi na styku głównych **powłok ziemskich**: **litosfery z atmosferą, hydrosferą i biosferą**.
- Proces ten polega na fizycznym rozdrabnianiu (kruszeniu) lub chemicznym rozkładzie materiału skalnego.
- Prowadzi to do systematycznego zmniejszenia jego zwięzłości i spoistości.



Gdzie zachodzi wietrzenie?

- **Wietrzenie** jest procesem zachodzącym dokładnie **w miejscu występowania skały**, niezależnie od wysokości nad poziomem morza – zjawisko to niszczy podłoże z równą bezwzględnością na płaskich nizinach, jak i w wysokich górach.
- Przestrzeń, w której nieustannie przebiegają te procesy niszczące, nazywamy **strefą wietrzenia**.
- Obejmuje ona przypowierzchniową, zewnętrzną warstwę litosfery.
- Strefa ta sięga w głąb ziemi tak daleko, jak potrafią przeniknąć główne czynniki rzeźbotwórcze, czyli wpływy termiczne Słońca, przesiąkająca woda, gazy atmosferyczne oraz systemy korzeniowe roślin.
- W zależności od panującego klimatu oraz rodzaju skały, grubość strefy wietrzenia waha się od zaledwie kilku do nawet kilkudziesięciu metrów.



Jaki jest skutek wietrzenia?

- **Proces wietrzenia** nie transportuje materiału, ale odgrywa kluczową rolę przygotowawczą – bezpośrednio poprzedza i warunkuje wystąpienie kolejnych procesów rzeźbotwórczych: **erozji**, **transportu**, a w ostateczności **akumulacji**.
- Wietrzenie odgrywa kluczową rolę przygotowawczą w kształtowaniu rzeźby terenu – bez wcześniejszego rozdrobnienia skał, procesy erozji byłyby drastycznie spowolnione.
- **Materiał zwietrzelinowy** (gruz i okruchy skalne) porwany przez wodę, lód lub wiatr staje się potężnym, naturalnym narzędziem ściernym.
- Dzięki niemu żywioły te potrafią niszczyć i żłobić twarde podłoże ze wielokrotną siłą.

Woda, lód i wiatr są czynnikami rzeźbotwórczymi, w wyniku których następuje niszczenie podłoża skalnego, czyli zachodzi erozja. Niszczony materiał skalny jest następnie transportowany w inne miejsce, gdzie osadza się on, czyli akumuluje.



Czynniki warunkujące proces wietrzenia

- **Rodzaj, intensywność oraz tempo przebiegu wietrzenia** nie są wszędzie jednakowe.
- Zależą one przede wszystkim od czterech **głównych grup czynników wietrzenia**, obejmujących:
 - **warunki klimatyczne** (temperaturę i opady),
 - **budowę podłoża skalnego** (rodzaj skały),
 - **warunki orograficzne i ekspozycję stoków**,
 - **wpływ świata organicznego** (zwłaszcza szaty roślinnej).



Czynniki warunkujące proces wietrzenia

- Podstawowym uwarunkowaniem procesów wietrzeniowych jest współdziałanie klimatu z lokalnymi cechami skały.
- **Warunki klimatyczne (temperatura i opady)** – najważniejszy czynnik decydujący o tempie niszczenia skał.
- Dostępność wody oraz roczne i dobowe wahania temperatur bezpośrednio determinują, jakie zjawiska zaobserwujemy w danym regionie.
- Od tych parametrów zależy, czy skały będą rozsadzane od wewnątrz przez zamarzającą w szczelinach wodę, kruszone na skutek ekstremalnego nagrzewania i wychładzania na pustyniach, czy też poddawane głębokiemu rozkładowi w wyniku reakcji chemicznych z udziałem wody i gazów atmosferycznych.

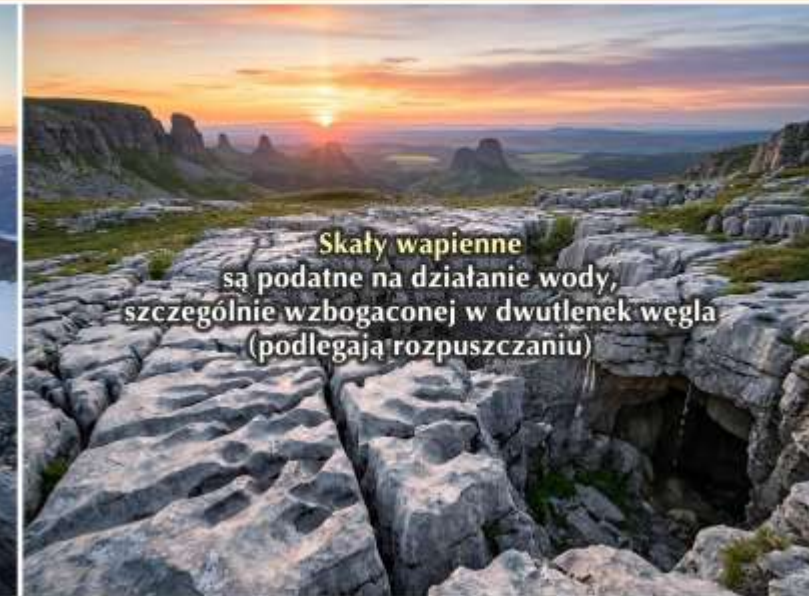
Wpływ warunków klimatycznych na proces wietrzenia



Czynniki warunkujące proces wietrzenia

- Podstawowym uwarunkowaniem procesów wietrzeniowych jest współdziałanie klimatu z lokalnymi cechami skały.
- **Budowa podłoża skalnego (rodzaj skały)** – wpływa bezpośrednio na odporność skały na niszczenie zależy wprost od jej cech wewnętrznych.
- Kluczowy jest skład mineralny (podatność konkretnych minerałów np. na rozpuszczanie lub utlenianie) oraz struktura skały: jej porowatość, uławicenie i uszczelinienie.
- Im więcej naturalnych spękań posiada skała, tym łatwiej i głębiej wnikają w nią niszcząca woda, gazy oraz korzenie roślin.

Wpływ budowy podłoża skalnego na proces wietrzenia



Czynniki warunkujące proces wietrzenia

→ Choć klimat i rodzaj skały odgrywają rolę pierwszoplanową, o ostatecznym tempie i charakterze wietrzenia silnie decyduje również ukształtowanie terenu.

→ **Warunki orograficzne i ekspozycja stoków** – warunkują dynamikę i specyfikę zmian rzeźby terenu.

→ Na stromych stokach grawitacja stale usuwa zwietrzelinę, nieustannie odsłaniając “świeżą” skałę na kolejne ataki czynników niszczących (tym samym w górach wietrzenie zachodzi znacznie szybciej niż na nizinach).

→ Ponadto ekspozycja stoku (jego wystawa na promienie słoneczne) silnie wpływa na lokalne nagrzewanie i wilgotność, co może drastycznie potęgować lub hamować proces wietrzenia.

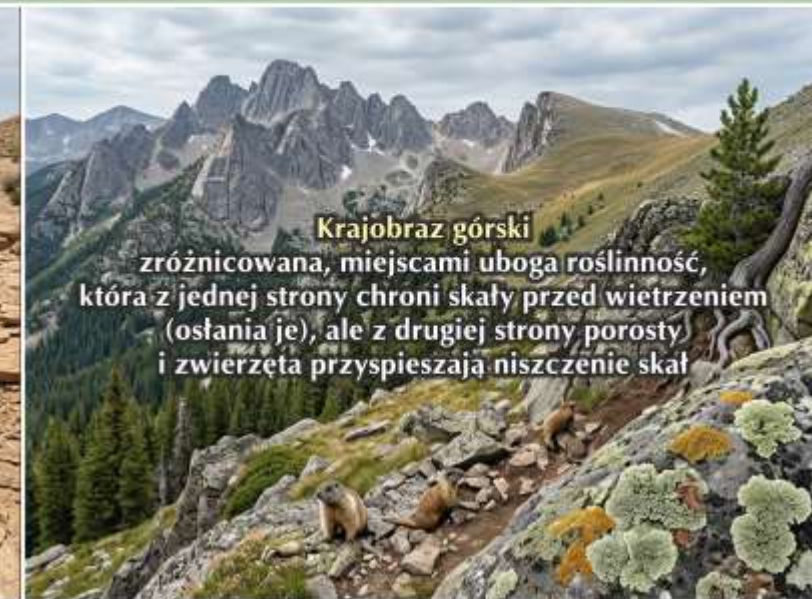
Wpływ warunków orograficznych i ekspozycji na proces wietrzenia



Czynniki warunkujące proces wietrzenia

- Choć klimat i rodzaj skały odgrywają rolę pierwszoplanową, o ostatecznym tempie i charakterze wietrzenia silnie decyduje również aktywność organizmów żywych.
- **Wpływ świata organicznego** – zwłaszcza szaty roślinnej, pełni podwójną rolę.
 - Z jednej strony osłania grunt przed nagłymi zmianami temperatur (co hamuje przebieg wietrzenia).
 - Z drugiej jednak strony – mechaniczny nacisk rozrastających się korzeni rozsadza skały, a powstające z rozkładu szczątków organicznych agresywne kwasy humusowe potężnie przyspieszają ten proces.

Wpływ świata organicznego na proces wietrzenia



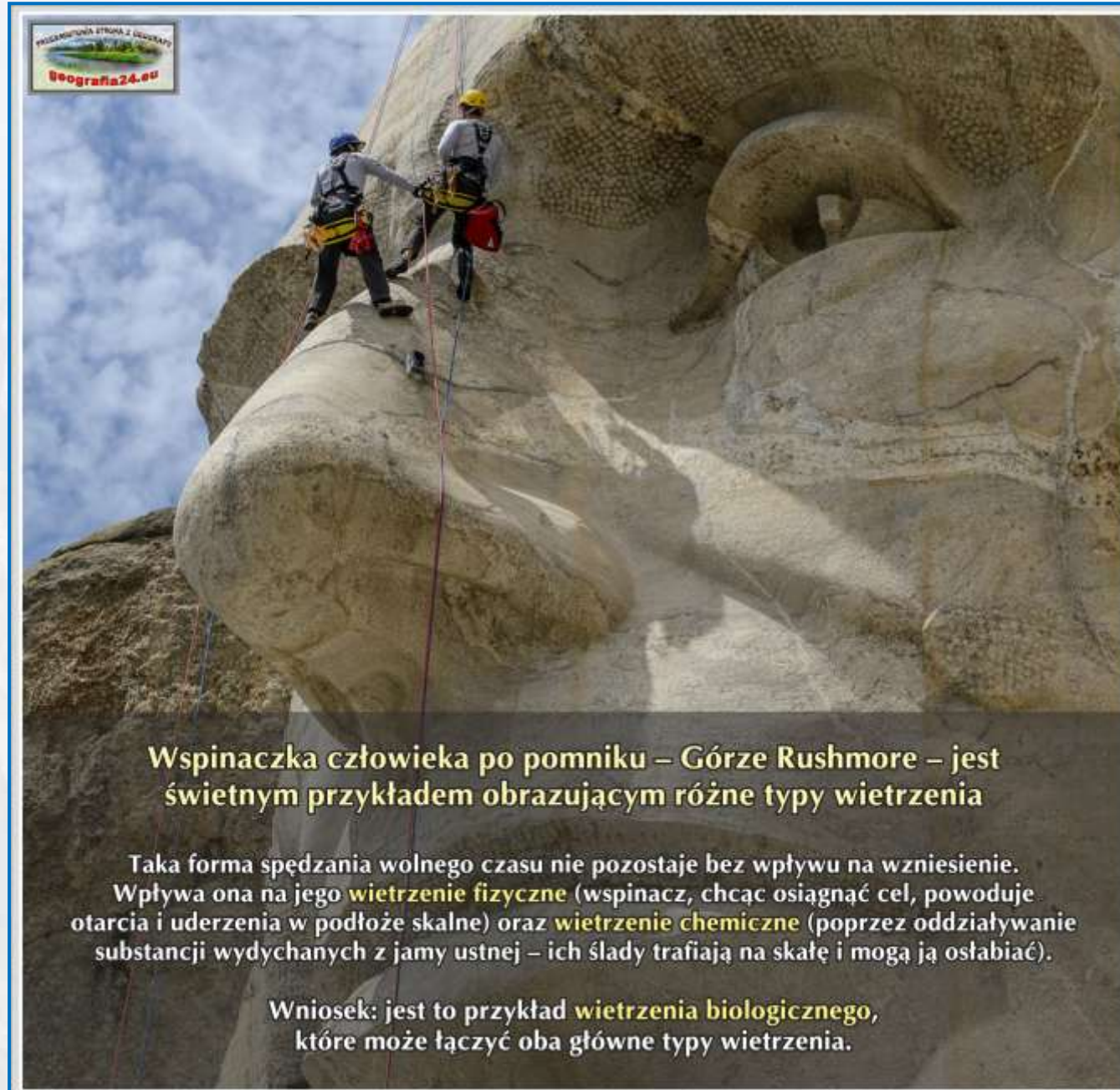
Czy przed wietrzeniem można uciec?

- Na Ziemi **nie istnieje żadna naturalna skała**, która **byłaby w stanie całkowicie oprzeć się procesom wietrzenia**.
- Rozpad każdego odsłoniętego fragmentu Ziemi to wyłącznie kwestia czasu, a nie tego, czy zjawisko to w ogóle nastąpi.
- Oznacza to, że prędzej czy później nawet najtwardsze minerały ulegną nieubłaganej presji sił przyrody.



Główne typy wietrzenia

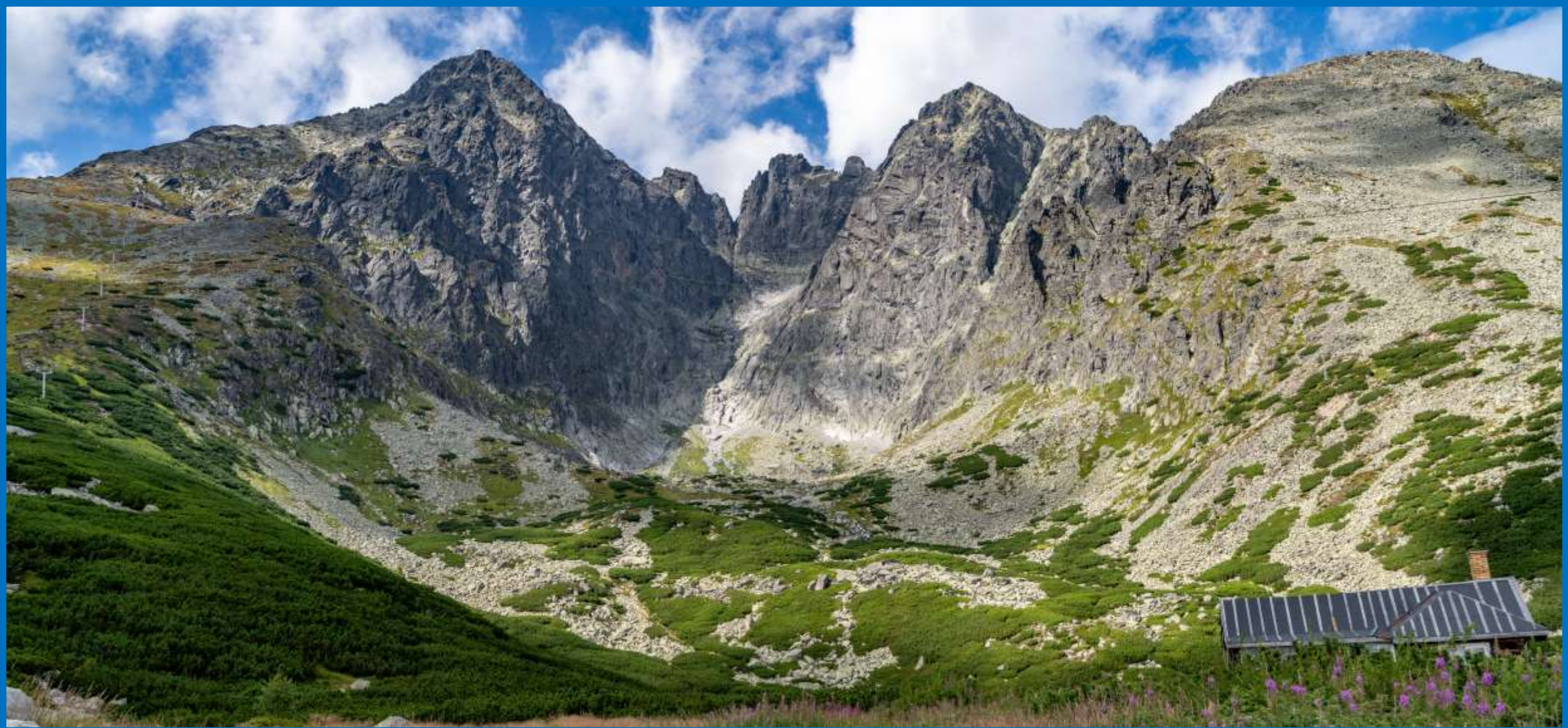
- Wyróżniamy **trzy główne typy wietrzenia**.
 - **Wietrzenie fizyczne (mechaniczne)** – prowadzi wyłącznie do zmian cech fizycznych podłoża.
 - Jego rezultatem jest rozpad litych skał na coraz mniejsze fragmenty (bloki, okruchy, ziarna, aż po pył).
 - W procesie tym drastycznie zmniejsza się zwięzłość i spoistość materiału, jednak jego pierwotny skład chemiczny pozostaje całkowicie nienaruszony.
 - **Wietrzenie chemiczne (dekompozycja)** – proces, w wyniku którego zmianie ulega nie tylko fizyczna spoistość materiału, ale przede wszystkim skład chemiczny i mineralny skały, co prowadzi do powstania zupełnie nowych związków chemicznych.
 - **Wietrzenie biologiczne** – obejmuje destrukcyjne zmiany podłoża będące bezpośrednim efektem rozwoju i aktywności życiowej organizmów.
 - Łączy ono w sobie cechy niszczenia mechanicznego (np. rozsadzanie przez korzenie) oraz chemicznego (np. działanie kwasów organicznych).



Wspinaczka człowieka po pomniku – Górze Rushmore – jest świetnym przykładem obrazującym różne typy wietrzenia

Taka forma spędzania wolnego czasu nie pozostaje bez wpływu na wzniesienie. Wpływa ona na jego **wietrzenie fizyczne** (wspinacz, chcąc osiągnąć cel, powoduje otarcia i uderzenia w podłoże skalne) oraz **wietrzenie chemiczne** (poprzez oddziaływanie substancji wydychanych z jamy ustnej – ich ślady trafiają na skałę i mogą ją osłabiać).

Wniosek: jest to przykład **wietrzenia biologicznego**, które może łączyć oba główne typy wietrzenia.



Wietrzenie fizyczne

Wietrzenie fizyczne (mechaniczne)

- **Wietrzenie fizyczne (mechaniczne)** – prowadzi wyłącznie do zmian cech fizycznych podłoża skalnego poprzez jego rozdrabnianie.
- Jego rezultatem jest rozpad litych skał na coraz mniejsze fragmenty (bloki, okruchy, ziarna, aż po pył).
- W procesie tym znacząco maleje zwięzłość i spoistość materiału, a jednocześnie wzrasta jego całkowita powierzchnia, jednak jego pierwotny skład chemiczny pozostaje całkowicie nienaruszony.



Przedstawiona góra w kolejnych etapach ulega stopniowemu niszczeniu – od wysokiej, stromej i słabo spękanej formy po coraz niższą, silniej spękaną i rozdrobnioną, przy jednoczesnym gromadzeniu się u jej podnóża coraz większej ilości materiału skalnego. W trakcie kolejnych etapów wietrzenia mechanicznego zmieniają się wyłącznie cechy fizyczne skał, natomiast ich skład chemiczny pozostaje niezmienny.

Główne przyczyny wietrzenia fizycznego (mechanicznego)

→ **Głównymi przyczynami wietrzenia fizycznego** są:

1. **wahania temperatury w obrębie jednej skały** wywołane zmianami nasłonecznienia,
2. **proces wietrzenia mrozowego (kongelacji)**, polegający na naprzemiennym zamarzaniu i rozmarzaniu wody w szczelinach skał,
3. **cykliczne zmiany wilgotności podłoża**, które prowadzą do pęcznienia i kurczenia się minerałów,
4. **krystalizacja soli mineralnych** w szczelinach i porach skalnych (**wietrzenie solne**), której narastające kryształy rozsadzają skałę od środka,
5. **odciążenie skał** w wyniku usuwania warstw leżących powyżej, co prowadzi do ich rozprężania i pękania,
6. **mechaniczna działalność organizmów roślinnych i zwierzęcych**, bezpośrednio naruszająca strukturę skały.

Główne rodzaje wietrzenia fizycznego (mechanicznego)



1. Wietrzenie insolacyjne (termiczne)

- **Wietrzenie insolacyjne (termiczne)** – proces mechanicznego rozpadu skał wywołany częstymi i gwałtownymi zmianami ich temperatury, szczególnie na obszarach o dużych dobowych amplitudach temperatury powietrza.
 - Dogodne warunki występują **na pustyniach gorących strefy zwrotnikowej** i terenach położonych **w górach**.
 - Pod wpływem promieniowania słonecznego skały ulegają wielokrotnemu, naprzemiennemu silnemu nagrzanemu (np. w dzień), a następnie, w wyniku wypromieniowania ciepła, gwałtownemu schłodzeniu (np. w nocy).
 - Proces ten przebiega najintensywniej w przypadku skał **o niejednorodnym składzie mineralnym** (np. w **granitach**).
 - **Ciemne ziarna minerałów** charakteryzują się niskim albedo, przez co **nagrzewają się szybciej i silniej**, co prowadzi do ich znacznego rozszerzania.
 - Z kolei **jasne ziarna minerałów** w większym stopniu **odbijają promienie słoneczne**, ogrzewając się wolniej i słabiej.
 - Na granicy stykających się ziaren o różnych kolorach powstają potężne naprężenia wewnętrzne, które ostatecznie prowadzą do kruszenia i rozpadu litej skały.



Wietrzenie insolacyjne (termiczne)

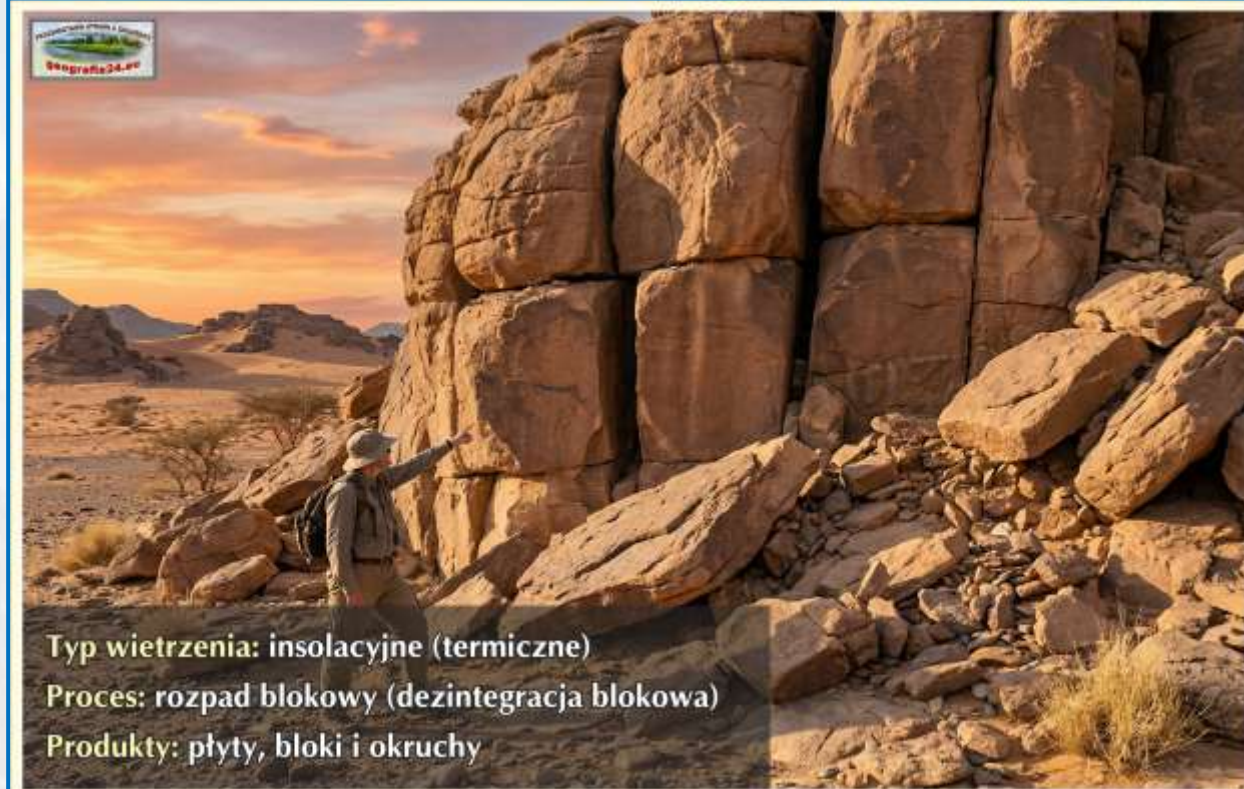
- Obecność chmur w ciągu dnia może paradoksalnie przyspieszać wietrzenie termiczne poprzez zwiększenie częstotliwości cykli nagrzewania i wychładzania.
- Zjawisko to jest szczególnie widoczne przy chmurach Cumulus, gdy słońce jest wielokrotnie zasłaniane i odsłaniane.
- Powoduje to szybkie zmiany temperatury powierzchni skały oraz naprzemienne rozszerzanie i kurczenie się minerałów.
- W efekcie powstają częste naprężenia osłabiające wiązania między minerałami skuteczniej niż pojedynczy cykl dobowy.



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

- ♦ Wskutek wielokrotnych zmian temperatury (ogrzewania i wychładzania skał) dochodzi do zluźnienia wiązań między poszczególnymi minerałami, co skutkuje wykruszaniem się pojedynczych ziaren z powierzchni skały.
- ♦ Proces ten nazywamy **rozpadem ziarnistym** (**dezintegracją granularną**), a jego bezpośrednim produktem jest tzw. **kasza ziarnista**.

- ♦ W innym przypadku, gdy skała traci ciepło, jej partie zewnętrzne kurczą się gwałtowniej niż cieplejsze wnętrze, co prowadzi do powstawania głębokich szczelin prostopadłych do powierzchni, dzielących skałę na mniejsze, lecz wciąż masywne fragmenty.
- ♦ Zjawisko to nazywamy **rozpadem blokowym** (**dezintegracją blokową**), prowadzącym do rozpadu skał tworzących większe struktury na **płyty**, **bloki** i **okruchy**.



Wietrzenie insolacyjne (termiczne) – łuszczenie (eksfoliacja)

- **Łuszczenie (eksfoliacja)** – specyficzna odmiana wietrzenia termicznego, wynikająca z bardzo słabego przewodnictwa cieplnego skał litych i dość mało zróżnicowanych kolorystycznie.
- Podczas intensywnej insolacji **nagrzaniu ulega jedynie zewnętrzna warstwa skały** (zwykle do głębokości kilkudziesięciu cm), podczas gdy jej głębsze partie pozostają znacznie chłodniejsze.
- Różnica temperatur między cieplejszą powierzchnią (bardziej ogrzaną i bardziej powiększającą się) a chłodnym wnętrzem skały generuje **silne napięcia**, prowadzące do powstawania **pęknięć** biegnących równoległe do powierzchni terenu.
- Z biegiem czasu szczeliny te powiększają się i łączą, co skutkuje oddzielaniem się od litej skały kolejnych, cienkich warstw przypominających łuski lub łupiny cebuli.



2. Wietrzenie mrozowe (kongelacja)

Wietrzenie mrozowe (kongelacja)

Kluczowe znaczenie ma naprzemienne zamarzanie w nocy i odmarzanie w dzień wody w szczelinach skalnych, wynikające z wahań temperatury wokół 0°C . Rosnące ciśnienie lodu rozszerza szczeliny i prowadzi do mechanicznego rozpadu skały.



- **Wietrzenie mrozowe (kongelacja)** – polega na mechanicznym rozpadzie skał porowatych i szczelinowych wskutek **zamarzania wody**, która zwiększa wtedy swoją objętość o **9%**.
 - Wywierane wówczas ciśnienie rozsadza strukturę skały od wewnątrz, prowadząc do jej systematycznego niszczenia.
 - Efektywność tego procesu zależy przede wszystkim od **częstotliwości wahań temperatury w pobliżu 0°C** .
 - Im częściej dochodzi do naprzemiennego zamarzania i rozmarzania wody w szczelinach, tym gwałtowniejsze są skutki niszczenia – zjawisko to nazywamy **multigelacją**.
 - Z tego powodu wietrzenie mrozowe dominuje w regionach o **klimacie zimnym i wilgotnym**, głównie w **strefach polarnych, subpolarnych oraz w górach**.

2. Wietrzenie mrozowe (kongelacja)

- Wielokrotne niszczenie mrozowe prowadzi do **rozpadu blokowego, okruczowego, ziarnistego** lub **pyłowego**, dając w efekcie **materiał ostrokrawędzisty**.
- W wyniku tego procesu powstają charakterystyczne formy rzeźby, takie jak **stożki usypiskowe (piargi)** u podnóża ścian skalnych oraz rozległe **rumowiska skalne**.
- Najbardziej znanymi przykładami takich rumowisk w Polsce są **gołoborza w Górach Świętokrzyskich (Łysogóry)** oraz **rozwaliska skalne** występujące w **Karkonoszach i Tatrach**.
- Proces ten daje o sobie znać również w polskich warunkach klimatycznych, czego namacalnym dowodem są liczne pęknięcia asfaltu odłaniane wiosną na drogach.



Efekt wietrzenia mrozowego – gołoborza w Górach Świętokrzyskich



Kolejne etapy wietrzenia mrozowego (kongelacji), będącego efektem wielokrotnego, naprzemiennego zamarzania i odmarzania wody w szczelinach skalnych

3. Wietrzenie solne (salinarne, eksudacja)

- **Wietrzenie solne (salinarne, eksudacja)** – polega na mechanicznym niszczeniu skał (zwłaszcza porowatych skał osadowych) przez krystalizujące w ich porach i szczelinach **sole (sodowe, potasowe, magnezowe)**.
- W odmianach bardziej wilgotnych klimatu dominującym procesem jest ich **ługowanie (wymywanie) soli**, co tworzy puste przestrzenie wewnątrz skał, prowadząc do osłabienia ich struktury i zapadania się i w efekcie **rozpadu ziarnistego**.
- W odmianach bardziej suchych klimatu i w strefach nadmorskich intensywne parowanie powoduje **krystalizację roztworów solnych**.
 - Rosnące wewnątrz skały kryształy wywierają potężny nacisk na ściany szczelin, powodując ich rozsadzanie i niszczenie spójności podłoża.
 - Rezultatem wietrzenia solnego jest powstanie pokrywy zwietrzelinowej złożonej z ostrokrawędzistego gruzu, łusek i pyłu solnego, określanego mianem **“mleka pustynnego”** i form typu **tafoni** (struktury typu **plastra miodu**).



4. Wietrzenie skał ilastych (deflokulacja)

- **Wietrzenie skał ilastych (deflokulacja)** – polega na mechanicznym niszczeniu spistości skał ilastych wskutek **naprzemiennej hydracji i dehydracji**.
- Zjawisko to występuje najintensywniej w regionach, gdzie **po ulewnych deszczach następują okresy suszy**.
- **W porze wilgotnej minerały ilaste nasiąkają wodą i pęcznieją**, co znacznie zwiększa ich objętość, natomiast **w porze suchej** – w wyniku intensywnego parowania – **gwałtownie się kurczą**.
- Te cykliczne zmiany objętości prowadzą do rozluźnienia struktury skały oraz powstawania sieci pęknięć – tzw. **szczelin z wysychania**, które dzielą powierzchnię terenu na charakterystyczne **wieloboczne poligony**.
- Tak osłabione podłoże staje się bardzo podatne na dalsze niszczenie przez wodę opadową i wiatr.

Wietrzenie skał ilastych (deflokulacja)

PORA WILGOTNA

Minerały ilaste ulegają hydratacji.
Powoduje to ich nasiąkanie wodą i pęcznienie.
Prowadzi to do zwiększenia objętości skał ilastych.

PORA SUCHA

Minerały ilaste ulegają dehydratacji.
Powoduje to ich kurczenie się.
Prowadzi to do powstawania szczelin z wysychania
(wielobocznych poligonów na powierzchni Ziemi).

5. Wietrzenie odciążeniowe

- **Wietrzenie odciążeniowe** – proces wietrzenia fizycznego polegający na stopniowym rozluźnianiu i pękaniu skał wskutek nagłego spadku ciśnienia wywieranego przez nadległe warstwy skalne.
- Skały formujące się głęboko w litosferze powstają pod ogromnym ciężarem mas skalnych leżących powyżej.
- Gdy procesy erozji i denudacji usuną ten zewnętrzny nadkład, skały znajdujące się głębiej **zostają nagle odciążone**.
- Uwolnione od potężnego nacisku podłoże **zaczyna się rozpręzać**, co skutkuje pękaniem skały i powstaniem gęstej sieci szczelin, zwanych **spękaniem ciosowymi** (np. w **Górach Stołowych** tworzą one fantastyczne formacje skalne).
- Szczeliny te otwierają drogę wodzie, gazom i organizmom, co drastycznie przyspiesza inne rodzaje wietrzenia.

Wietrzenie odciążeniowe





Wietrzenie chemiczne (dekompozycja)

Wietrzenie chemiczne (dekompozycja)

- **Wietrzenie chemiczne (dekompozycja)** – prowadzi do głębokiego rozkładu skał oraz trwałej zmiany ich pierwotnego składu mineralnego i chemicznego.
- Najważniejszym czynnikiem napędzającym ten proces jest woda (opadowa, podziemna), która w atmosferze lub w podłożu skalnym reaguje z gazami, takimi jak tlen i dwutlenek węgla, a na obszarach uprzemysłowionych także ze związkami azotu i siarki oraz związkami chloru obecnymi w zanieczyszczeniach powietrza.
- Przenikając w głąb podłoża, woda tworzy **aktywne roztwory chemiczne** – m.in. **kwas węglowy**, **siarkowy** i **kwas humusowy** pochodzące z rozkładu materii organicznej.
- Rozkład skał przebiega najszybciej w warunkach wysokiej temperatury, dużej wilgotności oraz przy silnym rozdrobnieniu materiału skalnego.
- Oznacza to, że intensywne wietrzenie fizyczne, poprzez rozdrabnianie skał, znacząco zwiększa ich powierzchnię kontaktu z roztworami wodnymi, co przyspiesza przebieg procesów chemicznych.



Główne procesy – rodzaje wietrzenia chemicznego (dekompozycji)

→ W zależności od składu chemicznego skał oraz warunków środowiskowych wietrzenie chemiczne zachodzi poprzez takie procesy jak: **utlenianie (oksydacja)**, **redukcja**, **rozpuszczanie (solucja)**, **uwęglanowienie (karbonatyzacja)**, **uwodnienie (hydracja)** i **hydroliza**.

Główne rodzaje wietrzenia chemicznego (dekompozycji)



1. Utlenianie (oksydacja)



2. Redukcja



3. Rozpuszczanie (solucja)



4. Uwęglanowianie (karbonatyzacja)



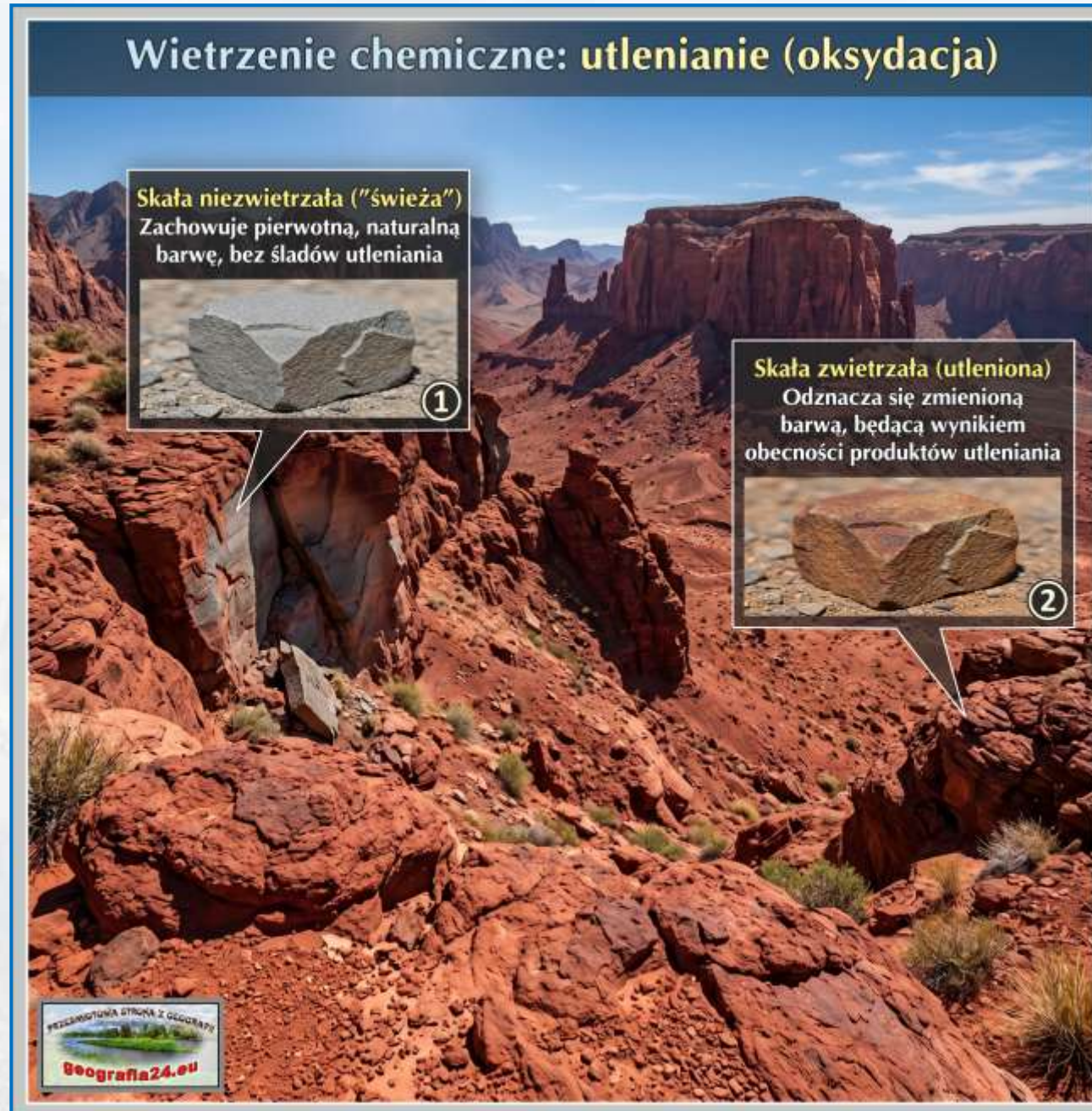
Uwodnienie (hydracja)



6. Hydroliza

1. Utlenianie (oksydacja)

- **Utlenianie (oksydacja)** – polega na chemicznym łączeniu się składników mineralnych z tlenem (zachodzi np. w piaskowcach lub bazaltach).
- Proces ten dotyczy głównie pierwiastków o zmiennej wartościowości (żelazo, mangan i siarka) i prowadzi do zmian ich stanu utlenienia:
 - **związki beztlenowe przekształcają się w tlenowe**: np. siarczki (jak piryt) przechodzą w siarczany (jak gips).
 - **wzrost stopnia utlenienia pierwiastków**: związki żelaza dwuwartościowego Fe^{2+} (zazwyczaj o barwie zielonkawej lub czarnej) przechodzą w związki żelaza trójwartościowego Fe^{3+} .
 - Zmiana barwy skał jest najbardziej widocznym efektem tych procesów, np. **przejście czarnego magnetytu w czerwony hematyt** (częste w klimacie gorącym i suchym).
 - To właśnie utlenianie odpowiada za charakterystyczne “rdzawe” przebarwienia na powierzchniach skalnych.
- Utlenianie wpływa również na materię organiczną – **ciemne substancje** zawierające węgiel (C) w wyniku reakcji z tlenem **ulegają rozkładowi i odbarwieniu**, co prowadzi do wyraźnego rozjaśnienia osadów.



2. Redukcja

- **Redukcja** – proces będący **przeciwnieństwem utleniania**, zachodzący w środowisku pozbawionym wolnego tlenu, czyli beztlenowym (anaerobowym).
- Zjawisko to jest najczęściej wywołane działalnością bakterii beztlenowych oraz rozkładem materii organicznej w warunkach silnego uwodnienia, np. na dnie zbiorników wodnych lub w bagnach.
- Widocznym efektem tego procesu jest **zmiana wartościowości pierwiastków** (zmniejszenie **wartościowości**, np. redukcja żelaza z Fe^{3+} do Fe^{2+}), co w stale uwodnionych, dolnych poziomach profilu glebowego prowadzi do **procesu oglejenia**.
- Skutkuje to charakterystyczną **zmianą barwy** – zanikiem odcieni ciepłych (rdzawych) na rzecz barw zimnych: **szarych, zielonkawych lub niebieskawych**.



3. Rozpuszczanie (solucja)

- **Rozpuszczanie (solucja)** – polega na **przechodzeniu minerałów do roztworu wodnego** pod wpływem rozpuszczającego działania wody i ubytku masy skały.
- Niektóre minerały i skały (tzw. ewaporaty) rozpuszczają się bardzo łatwo nawet w czystej wodzie opadowej, np.: **halit (sól kamienna – chlorek sodu)** i **gips (siarczan wapnia)**.
- Intensywność tego procesu zależy od stopnia nasycenia roztworu – im mniej substancji jest już w nim rozpuszczonych, tym większa jest zdolność wody do rozpuszczania minerałów.

Wietrzenie chemiczne: rozpuszczanie (solucja)

Woda opadowa inicjująca proces rozpuszczania

Częściowo zwietrzałe skały
(widoczne ubytki to efekt rozpuszczania soli kamiennej)

Woda nasycona minerałami
(mlecznobiały roztwór zawierający rozpuszczony gips)



Wietrzenie chemiczne: rozpuszczanie (solucja)

Woda opadowa inicjująca proces rozpuszczania

Częściowo zwietrzałe skały
(widoczne ubytki to efekt rozpuszczania gipsu)

Woda nasycona minerałami
(mlecznobiały roztwór zawierający rozpuszczony gips)



Rozpuszczanie soli kamiennej

Niezależnie od skały, przebieg solucji pozostaje niezmienny: woda przekształca stałą strukturę mineralną w "mobilny" roztwór

4. Uwęglanowanie (karbonatyzacja)

- **Uwęglanowanie (karbonatyzacja)** – proces wietrzenia chemicznego polegający na oddziaływaniu na skały **wody** zawierającej **rozpuszczony dwutlenek węgla (CO_2)**, czyli słabego **roztworu kwasu węglowego**, który ma zdolność **rozpuszczania minerałów węglanowych**.
- Proces ten prowadzi do **rozpuszczania i wymywania węglanów wapnia i magnezu**.
- Objawia się to intensywnym rozkładem skał zbudowanych z **kalcytu** (np. **wapieni**), które pod wpływem kwasu węglowego ulegają stopniowemu **przechodzeniu w roztwór wodny**, z którego mogą powstawać kolejne formy, np. **nacieki jaskiniowe**.
- Zjawisko to jest najlepiej widoczne w środowisku krasowym, np. w **jaskiniach**, gdzie główny składnik wapieni – kalcyt (CaCO_3) – ulega rozpuszczaniu już w słabym roztworze kwasu węglowego.



5. Uwodnienie (hydracja)

- **Uwodnienie (hydracja)** – polega na **chemicznym łączeniu się minerałów z wodą**, co prowadzi do włączenia cząsteczek wody do ich struktury krystalicznej i przejścia minerałów bezwodnych w uwodnione.
 - Procesowi temu często towarzyszy zwiększenie objętości skały (nawet o kilkadziesiąt procent).
- Przykłady minerałów ulegających uwodnieniu – przykłady zmian:
 - **czerwony hematyt** → **żółty/brunatny limonit** (w klimatach wilgotnych współprowadzi to do powstawania żółtoziemów);
 - **anhydryt (siarczan wapnia)** → **gips** (powstaje siarczan wapnia o znacznie większej objętości);
 - **miedź** → **zielony malachit** (współuczestniczy w powstawaniu zielonej patyny na powierzchni miedzi).

Opady inicjują proces hydracji minerałów

Przemiana anhydrytu w gips
(znaczný wzrost objętości)

Przemiana hematytu w limonit
(tworzenie się żółtoziemów)

Wietrzenie chemiczne: uwodnienie (hydracja)

czerwony
hematyt



HYDRACJA



żółty/brunatny
limonit

anhydryt



HYDRACJA



gips

miedź



HYDRACJA



malachit

6. Hydroliza – proces laterytyzacji i kaolinityzacji (odmiany wilgotne klimatu)

- **Hydroliza** – proces chemicznego **rozkładu minerałów zachodzący w klimatach wilgotnych** (głównie krzemianów i glinokrzemianów) pod wpływem **wody**, która w obecności **CO₂** działa jak słaby kwas.
- Jest to jeden z najważniejszych procesów wietrzenia chemicznego, istotny w **rozpadzie skał** – powszechnych minerałów budujących górną część litosfery (szczególnie skały magmowe i metamorficzne).
- W wyniku hydrolizy minerały ulegają rozkładowi na:
 - **składniki rozpuszczalne** (głównie kationy, takie jak **sód, potas, wapń, magnez**, a w dłuższym czasie także **żelazo i mangan**), które są **wymywane (wyługowywane) i transportowane do głębszych warstw skały lub do wód gruntowych**;
 - **składniki nierozpuszczalne**, które **pozostają na miejscu** (są to głównie trudno rozpuszczalne **związki glinu i krzemionka**), przy czym ich proporcje zależą od warunków środowiska.
- W zależności od warunków środowiskowych proces może przebiegać w dwóch kierunkach:
 - **kaolinityzacji** – gdy słabsze wymywanie powoduje względne nagromadzenie **związków glinu** i powstawanie **minerałów ilastych (kaolinitu)**,
 - **laterytyzacji** – gdy bardzo silne wymywanie prowadzi do **usunięcia większości krzemionki** i pozostawienia głównie **tlenków glinu i żelaza**.



Hydroliza – proces kaolinityzacji (klimat umiarkowany morski i przejściowy)

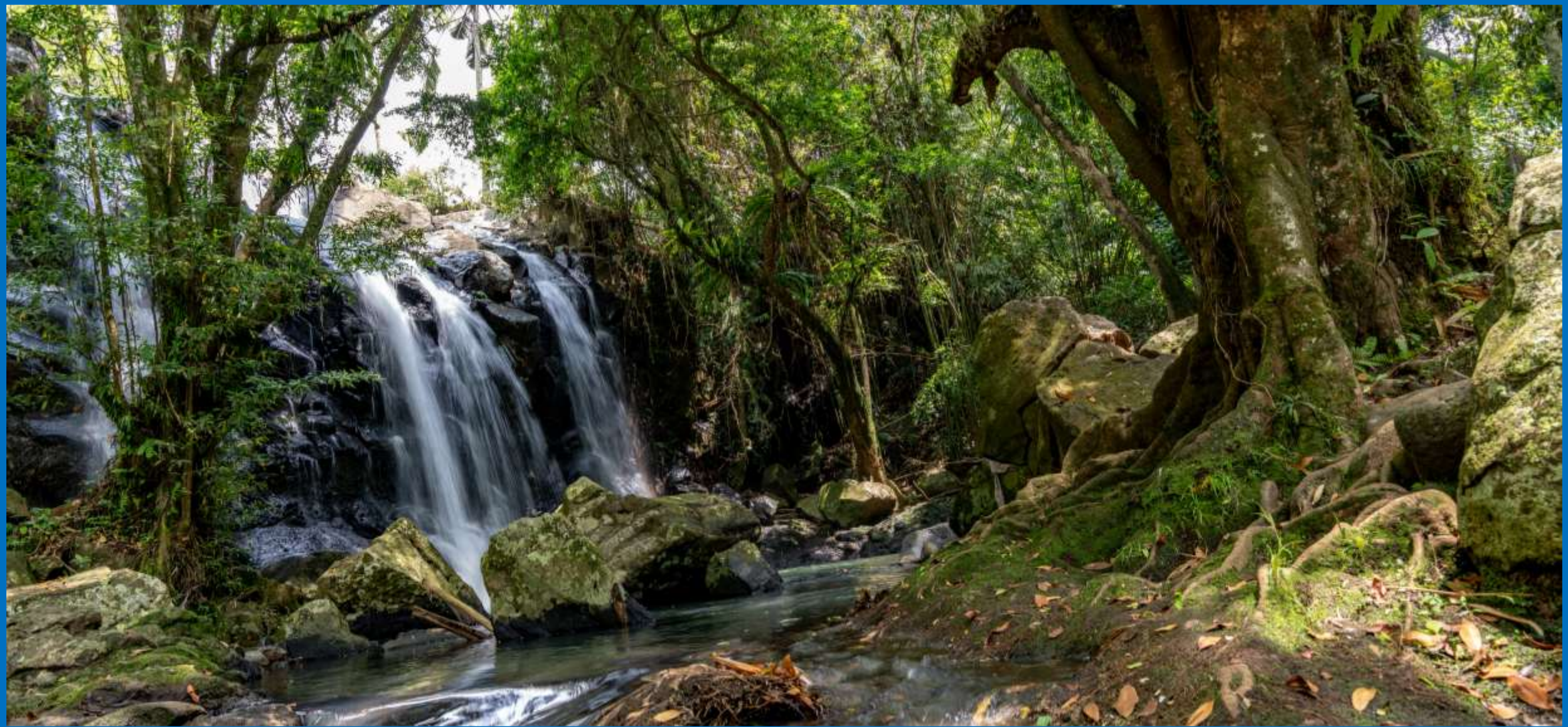
- **Kaolinityzacja** – proces **przeobrażania skał** (zawartych np. w granitach i piaskowcach) **w minerały ilaste**.
- Jest to ważny sposób wietrzenia chemicznego w klimatach umiarkowanych morskich i przejściowych.
- W wyniku rozkładu skał **powstają minerały ilaste**, w tym **białawy nierozpuszczalny kaolinit** (**glina porcelanowa**).
- Nagromadzenie tych minerałów tworzy złoża kaolinu, wykorzystywane przez **przemysł ceramiczny**.



Hydroliza – proces laterytyzacji (klimat równikowym oraz monsunowy)

- **Laterytyzacja** – odmiana hydrolizy zachodząca w klimacie równikowym oraz monsunowym na podłożu skał zasobnych w związki żelaza i magnezu.
- W przeciwieństwie do kaolinityzacji, tutaj **krzemionka jest intensywnie wmywana**.
- W górnej części **powstają pokrywy laterytowe** złożone niemal wyłącznie **z wodorotlenków glinu i żelaza**.
- Gliny laterytowe mają intensywnie **czerwoną barwę**, są **twarde, skorupowe i słabo nasiąkają wodą**.
- Proces ten prowadzi to do powstawania jałowych, “zardzewiałych” powierzchni, które są bardzo trudne do uprawy.





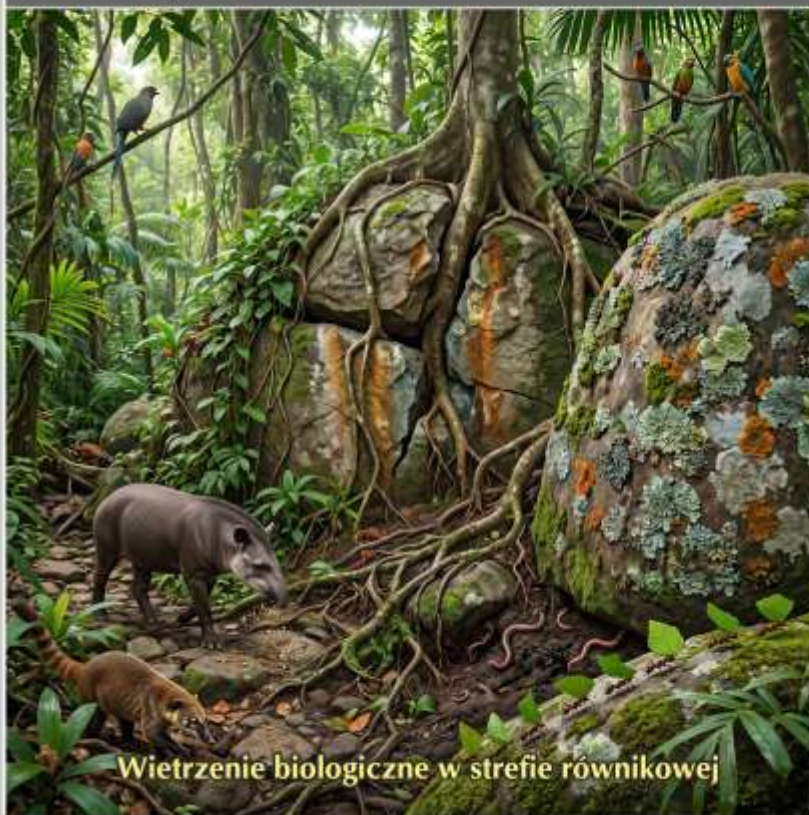
Wietrzenie biologiczne

C. Wietrzenie biologiczne

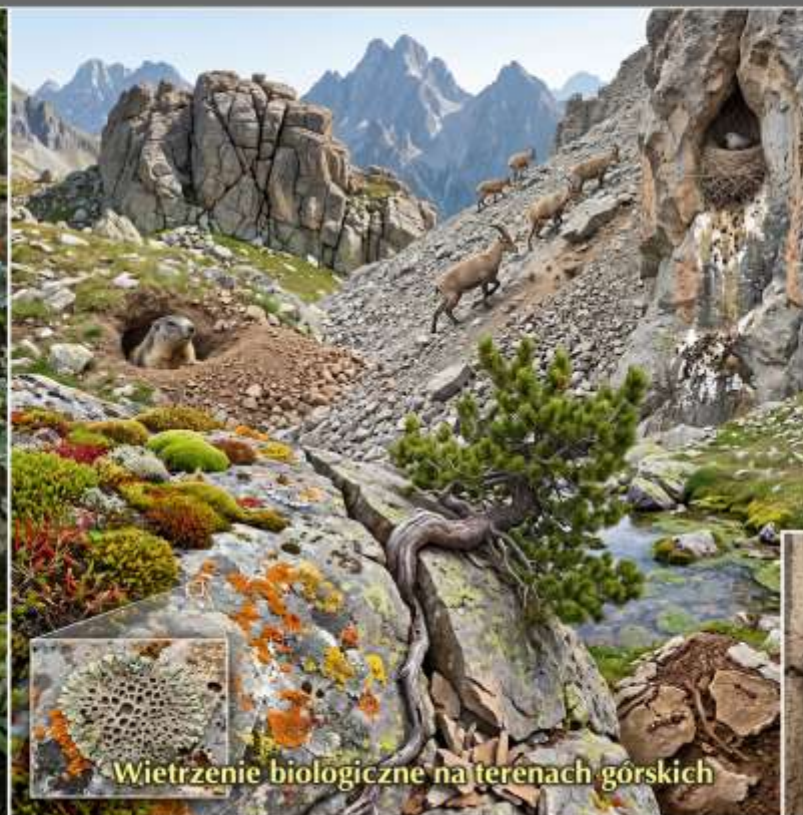
- **Wietrzenie biologiczne** – polega na niszczeniu skał w wyniku bezpośredniego lub pośredniego **oddziaływania organizmów żywych** (roślin, zwierząt, grzybów i drobnoustrojów).
 - Jest to forma wietrzenia, która łączy procesy mechaniczne i chemiczne wywołane działalnością organizmów.
 - Najintensywniej zachodzi w klimatach gorących i wilgotnych (równikowych i monsunowych), gdzie biomasa jest największa, a rozkład materii organicznej przebiega bardzo szybko (na innych terenach przebiega słabiej).

Wietrzenie biologiczne

Wietrzenie biologiczne to niszczenie skał przez organizmy żywe, zachodzące zarówno mechanicznie (np. poprzez rozsadzanie szczelin przez korzenie drzew), jak i chemicznie (poprzez działanie kwasów organicznych).



Wietrzenie biologiczne w strefie równikowej



Wietrzenie biologiczne na terenach górskich



Wietrzenie biologiczne na pustyniach



Wietrzenie biologiczne w miastach

Główne czynniki i mechanizmy wietrzenia biologicznego

→ Główne czynniki i mechanizmy wietrzenia biologicznego

1. Działalność mechaniczna (biofizyczna):

- **siła korzeni**, które wnikają w szczeliny skał i wraz ze wzrostem działają jak kliny, poszerzając pęknięcia, np. korzeń o długości 1 m i grubości 10 cm jest w stanie rozsadzić blok skalny o ciężarze nawet 40 ton;
- **zwierzęta ryjące** (np. krety, dżdżownice, mrówki, gryzonie) drążą nory i korytarze, co prowadzi do rozluźnienia, rozdrobnienia i przemieszczania materiału skalnego (np. mrowiska osiągające wysokość 30-150 cm).

2. Działalność chemiczna (biochemiczna):

- **żywe korzenie roślin** wydzielają **kwasy organiczne**, które reagują z minerałami i osłabiają strukturę skał;
- **kwasy humusowe** powstające podczas **rozkładu materii organicznej (próchnicy)** przyspieszają chemiczne wietrzenie minerałów;
- **produkty przemiany materii oraz rozkładu organicznego** (np. amoniak, siarkowodór) mogą lokalnie uczestniczyć w procesach chemicznego niszczenia skał.

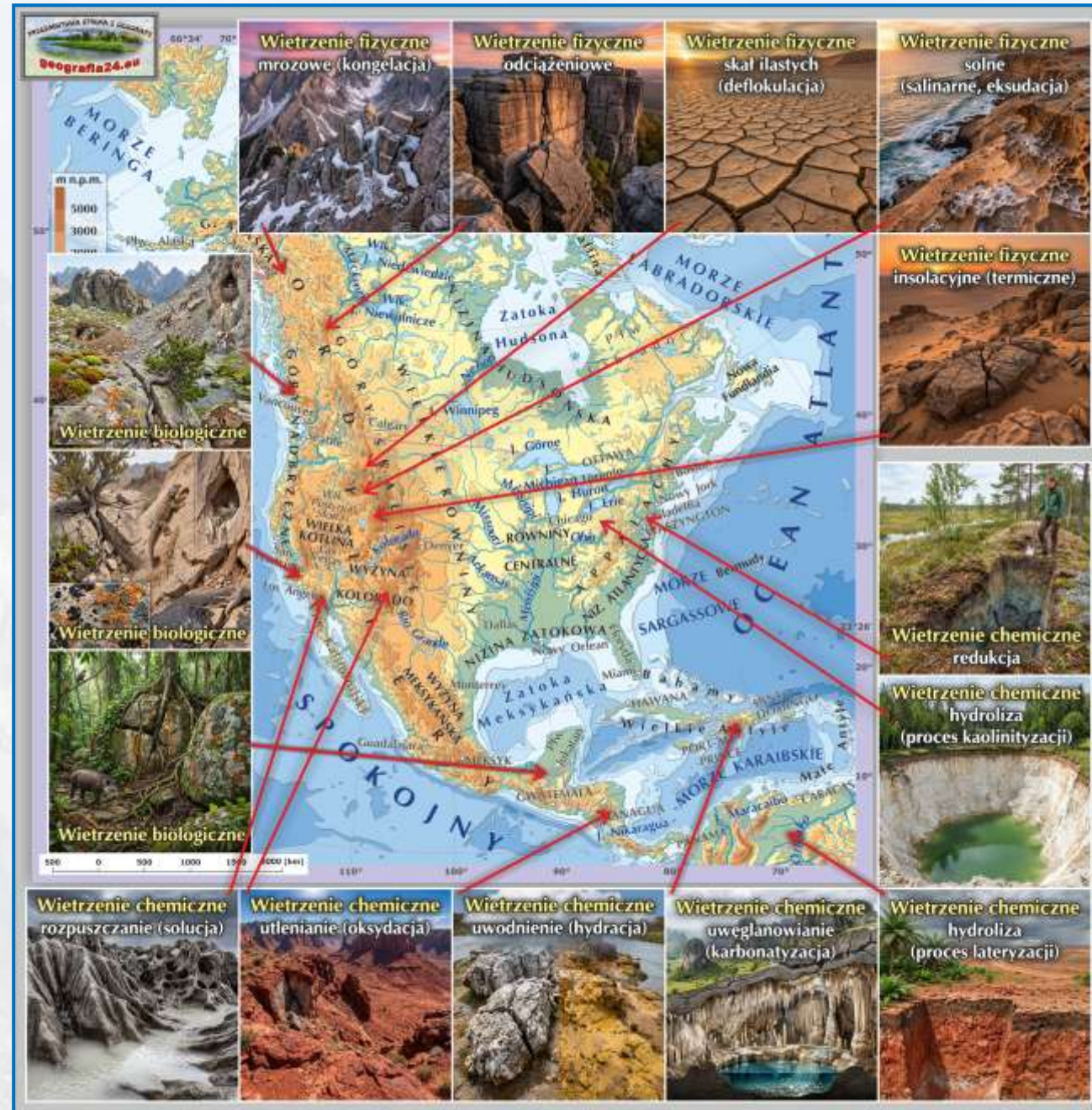
3. Rola organizmów pionierskich:

- **porosty i inne organizmy pionierskie** jako jedne z pierwszych kolonizują gołe skały, działając zarówno mechanicznie (wnikanie strzępek w mikroszczeliny), jak i chemicznie (wydzielanie kwasów porostowych);
- prowadzi to do stopniowego osłabienia skały, jej łuszczenia się i rozpadu.



Wpływ klimatu na charakter i intensywność wietrzenia

- **Rodzaj i tempo wietrzenia** są wynikiem współzależności między temperaturą powietrza a ilością opadów, co decyduje o dominacji procesów mechanicznych lub chemicznych w danym regionie.
- Zależność od strefy klimatycznej:
 - **klimat okołobiegunowy (polarny i subpolarny) i wysokogórski**: znikoma ilość wody w stanie ciekłym oraz częste przejścia temperatury przez 0°C powodują, że dominuje wietrzenie mechaniczne, głównie wietrzenie mrozowe (kongelacja);
 - **klimat umiarkowany**: występuje sezonowość procesów wietrzenia – zimą dominuje wietrzenie mechaniczne (mrozowe), natomiast w cieplejszej części roku większe znaczenie ma wietrzenie chemiczne;
 - **klimat zwrotnikowy suchy (pustynny)**: niedobór opadów ogranicza wietrzenie chemiczne, dlatego dominuje wietrzenie fizyczne, przede wszystkim: insolacyjne (termiczne) i solne (salinarne, eksudacja);
 - **klimat równikowy wilgotny lub monsunowy**: wysoka temperatura i wilgotność silnie przyspieszają reakcje chemiczne, dlatego dominuje wietrzenie chemiczne, które prowadzi do powstawania pokryw laterytowych.



Wietrzenie – podsumowanie

- **Wietrzenie** to **najcierpliwszy rzeźbiarz wszechświata**: podczas gdy za 100 lat jedynie nieznacznie nadgryzie mury naszych domów i pomników, za milion lat zdoła zrównać z poziomem morza dzisiejsze potężne łańcuchy górskie, a za miliard lat – po niezliczonych cyklach chemicznego i fizycznego rozpadu – uczyni z tego samego pyłu planetę o zupełnie nowym, całkowicie nierozpoznawalnym dla nas dzisiaj krajobrazie.
- Wracając dzisiaj do domu, spróbuj sobie wyobrazić, jak wygląda Twoje ulubione miejsce w takich skalach czasowych.



KONIEC



Materiały pomocnicze do nauki
Opracowane w celach edukacyjnych (niekomercyjnych)

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

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE
- KOPIOWANIE ZABRONIONE -