

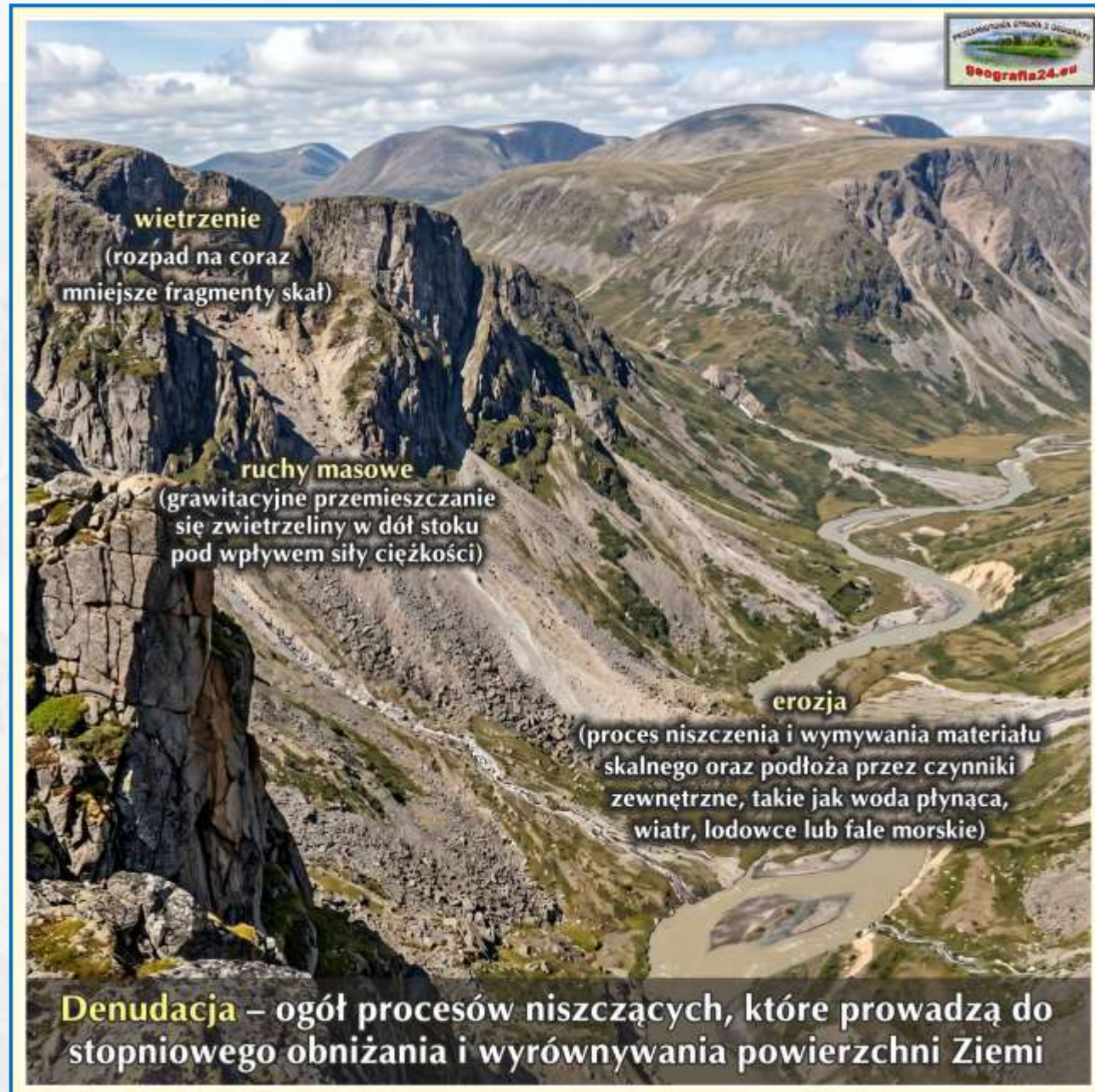


VI. Procesy egzogeniczne

2. Ruchy masowe

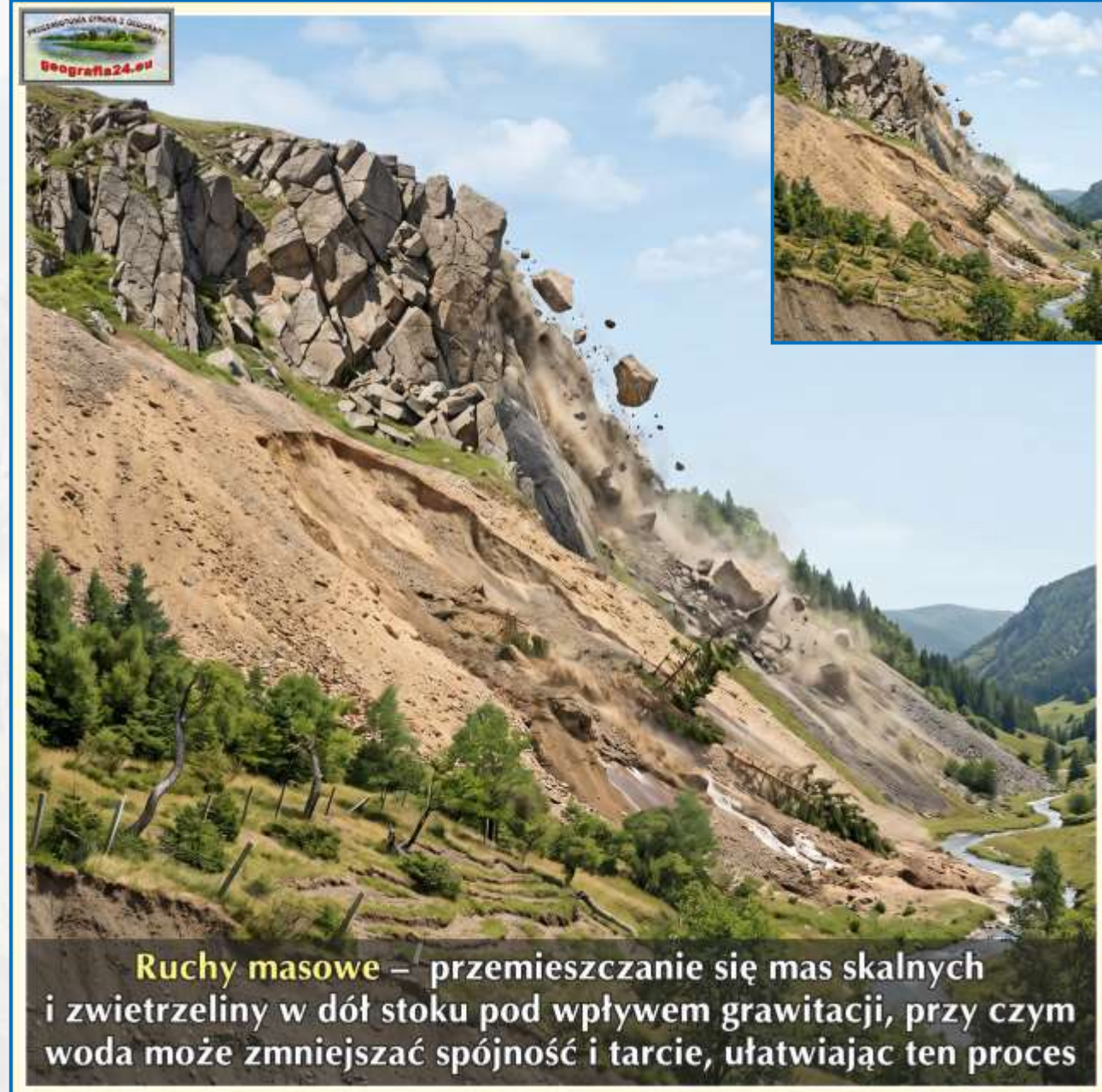
Denudacja i ruchy masowe – procesy niszczące powierzchnię Ziemi

- **Denudacja** – zespół długotrwałych procesów zewnętrznych (egzogenicznych) prowadzących do wyrównywania i obniżania powierzchni Ziemi.
 - Istotą procesu jest usunięcie i **transport zwietrzeliny** (zwietrzałego i rozkruszonego materiału skalnego) dzięki **ruchom masowym** i **splukiwaniu** (działaniu wód opadowych i roztopowych) pod wpływem **siły ciężkości** (grawitacji), które powoduje odstąpienie skał litych.
 - Prowadzi to do obniżenia form terenu oraz zainicjowania dalszego **wietrzenia**.
- W szerszym ujęciu geomorfologicznym w skład denudacji wchodzi trzy powiązane z sobą wzajemnie etapy:
 - **wietrzenie** – niszczenie struktury skał (fizyczne, chemiczne, biologiczne);
 - **ruchy masowe** – transport materiału skalnego w dół pod wpływem siły ciężkości;
 - **erozja** – proces niszczenia i wymywaniaa materiału przez czynniki zewnętrzne (woda, wiatr, lodowiec i fale morskie).



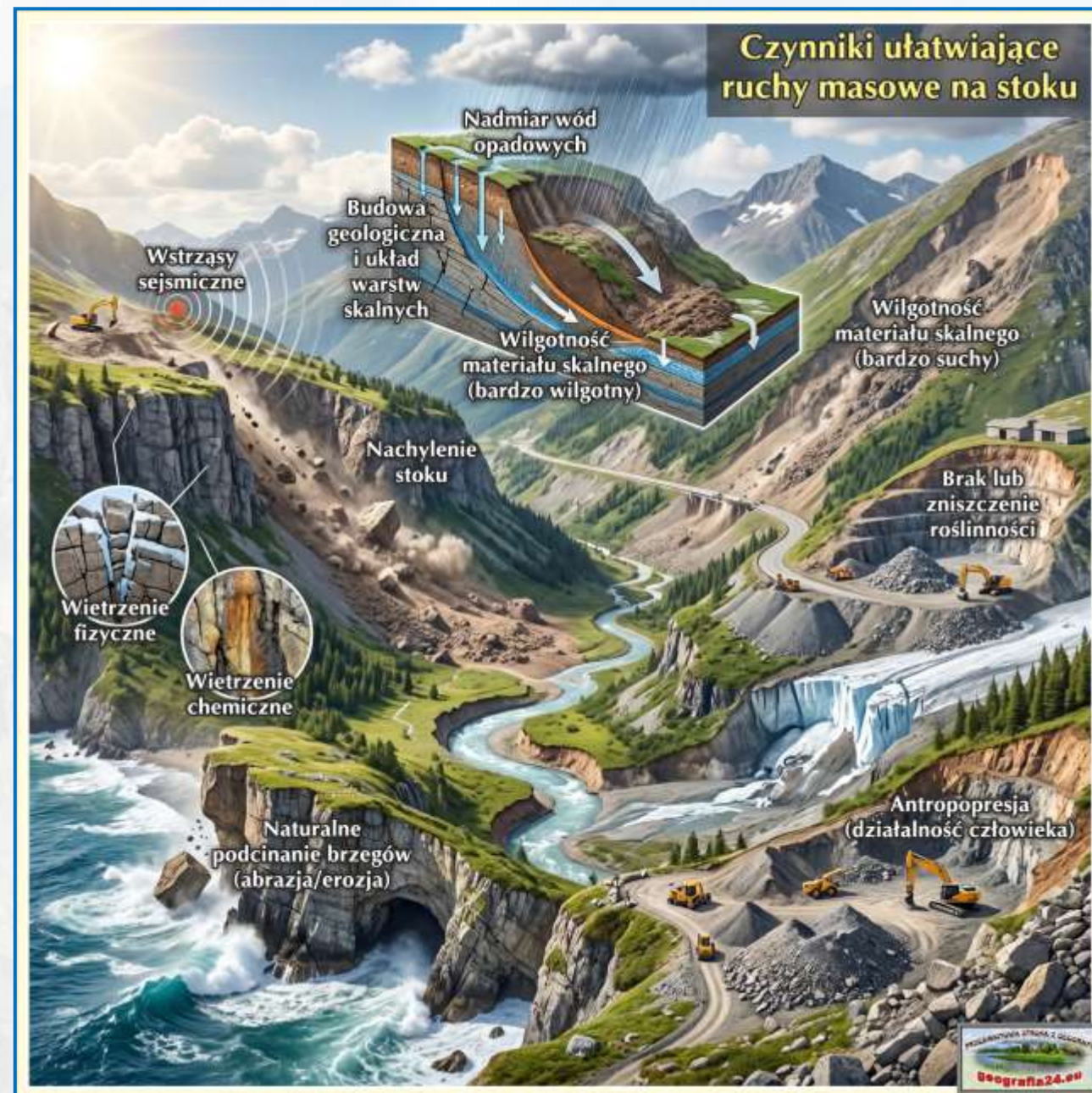
Ruchy masowe

- **Ruchy masowe** – procesy polegające na naturalnym przemieszczaniu się materiału skalnego (zwietrzeliny, luźnych osadów lub litych bloków skalnych) w dół stoku pod wpływem siły grawitacji (zgodnie z siłą ciężkości).
- **Zachodzą bezpośrednio na stoku, bez udziału głównego czynnika transportującego**, takiego jak woda czy wiatr, choć mogą one jedynie ułatwiać ten proces.
- Mogą przebiegać bardzo powoli, niemal niezauważalnie, albo nagle i gwałtownie, powodując szybkie osuwanie się dużych ilości materiału.
- Ruchy masowe zależą do kąta nachylenia stoku, który z kolei zależy m.in. od materiału skalnego który go buduje.
- Wielkie bloki w postaci kanciastych boków skalnych, gruzu i głazów tworzą wzniesienia, których nachylenie przekracza zwykle 40° .
- Gruboziarnisty piasek tworzy formy o nachyleniu wynoszącym około 35° .
- Drobnziarnisty materiał skalny tworzy wzniesienia, których kąt nachylenia z reguły nie przekracza 33° .



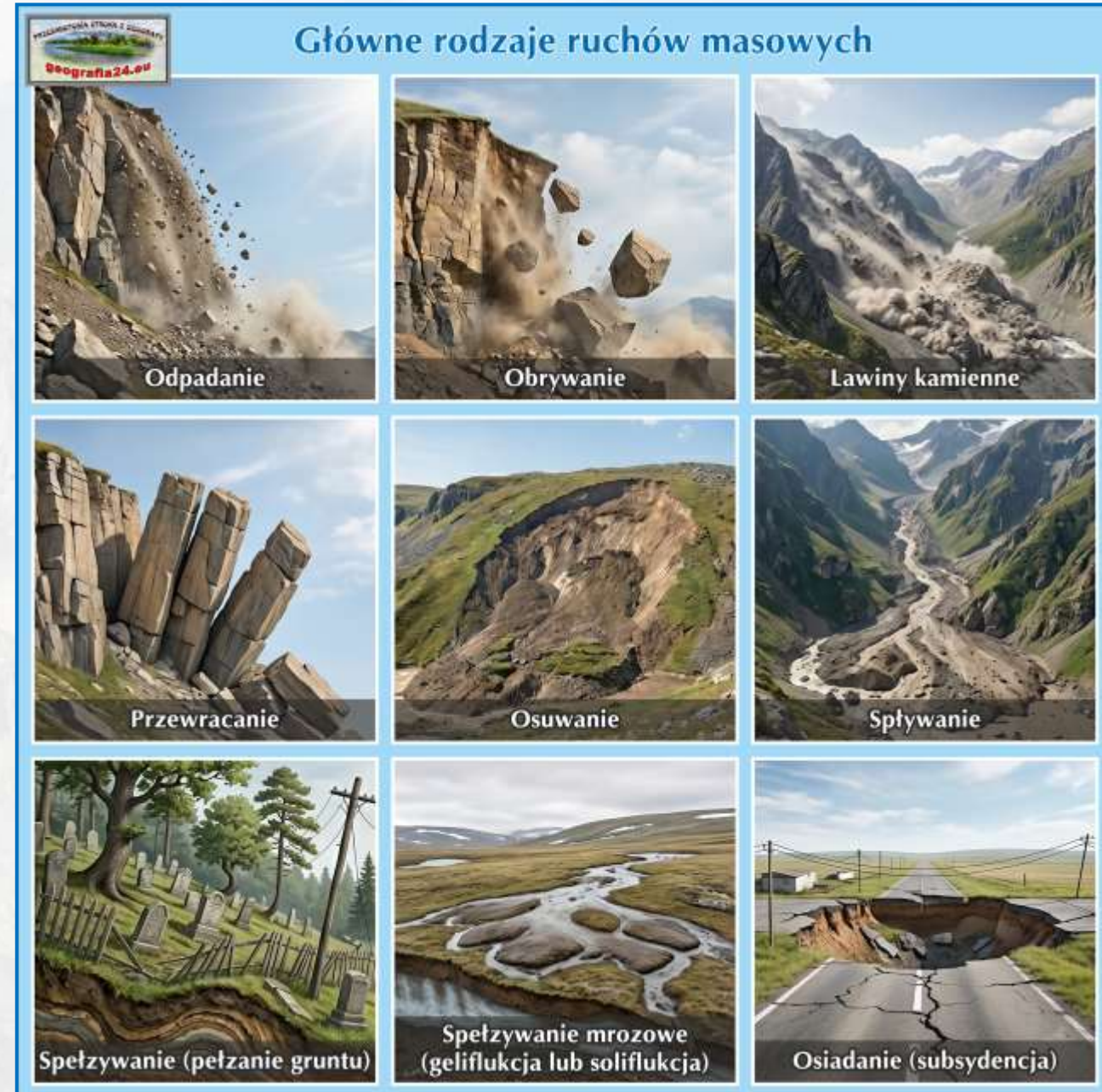
Czynniki ułatwiające ruchy masowe

- **Ruchy masowe** zależą od **czynników ułatwiających przemieszczanie materiału skalnego po stoku**, takich jak:
 - **postępujące wietrzenie fizyczne i chemiczne**;
 - **nachylenie stoku** (im większe, tym większe prawdopodobieństwo ruchów masowych);
 - **budowa geologiczna i układ warstw skalnych** (warstwowa budowa może sprzyjać niektórym ruchom masowym);
 - **nadmiar wód opadowych** (zwiększają ciężar skał i zmniejszają tarcie, tworząc powierzchnię poślizgu);
 - **wilgotność materiału skalnego** (zarówno bardzo suchy – traci spoistość, jak i bardzo wilgotny – staje się cięższy – łatwiej ulega przemieszczaniu);
 - **wstrząsy sejsmiczne** (trzęsienia ziemi);
 - **brak lub zniszczenie roślinności**;
 - **podcinanie naturalne brzegów** (abrazja klifów, erozja rzeczna i lodowcowa);
 - **antropopresja** (działalność gospodarcza, górnicza i inżynierska człowieka obciążająca zbocza).



Rodzaje ruchów masowych

- Podstawowy **podział ruchów masowych**, uwzględniający **mechanizm ruchu**, **rodzaj przemieszczanego materiału** oraz **czynnik kinetyczny** (energia i siła wywołująca ruch), obejmuje kilka głównych typów.
- **Odpadanie i obrywanie** – gwałtowne przemieszczanie materiału skalnego drogą swobodnego spadku lub toczenia się po stoku.
- **Lawiny kamienne** – potężne masy skał pędzące w dół stoku z zawrotną **prędkością**.
- **Przewracanie** – rotacyjny ruch bloków skalnych wokół ich podstawy przy zachowaniu kontaktu z gruntem.
- **Osuwanie** – gwałtowny ruch mas wzdłuż powierzchni poślizgu przy stałym kontakcie z podłożem.
- **Spływanie** – szybki ruch upłynnionnej zwietrzliny tracącej spójność wewnętrzną.
- **Spelżywanie i soliflukcja** – powolne przemieszczanie wierzchnich warstw gruntu.
- **Osiadanie (subsydencja)** – pionowe obniżenie powierzchni terenu wskutek procesów naturalnych lub działalności człowieka.



1. Odpadanie

- **Odpadanie** – powszechny, stosunkowo ciągły i częsty proces grawitacyjnego przemieszczania się pojedynczych, relatywnie niewielkich odłamków skalnych lub drobnej zwietrzeliny ze stromych i bardzo stromych ścian skalnych.
- W zależności od nachylenia stoku, ruch materiału przyjmuje różny charakter.
 - Na pionowych i stromych ścianach transport odbywa się w formie **swobodnego spadku (lotu) w powietrzu**.
 - **Transport skokowy (saltacja)** występuje na nieco łagodniejszych, ale wciąż stromych fragmentach zbocza, na którym spadające odłamki wielokrotnie uderzają o załomy skalne.
 - Powoduje to ich podrzucanie, rotacyjne odbijanie się oraz dalszą **defragmentację** (rozpad pod wpływem uderzeń na jeszcze mniejsze frakcje).
- Odznacza się **dużą częstotliwością występowania**, ale jednorazowo obejmuje **niewielką objętość materiału**.
 - Zjawisko to ma jednak ogromne znaczenie ze względu na swój **ciągły charakter** – prowadzący do niemal ciągłego ruchu materiału skalnego w dół stoku i **zmniejszania tym samym stromości stoku**.



Czynniki inicjujące odpadanie

- **Bezpośrednią przyczyną ruchu masowego w postaci odpadania jest grawitacja.**
- Jednak **czynnikiem przygotowującym** (prekursorem), który narusza zwięźłość litej skały, jest **intensywne wietrzenie** (przede wszystkim fizyczne), które to otwiera szczeliny i odpaja materiał od macierzystej ściany.
- **Wietrzenie mrozowe (kongelacja)** – szczególnie oddziałuje w strefach peryglacjalnych i wysokogórskich (np. w Tatrach czy Alpach), gdzie nadrzędnym czynnikiem przygotowującym materiał do odpadania jest praca zamarzającej wody w szczelinach skalnych.
 - Powoduje ona zmiany objętości lodu, które systematycznie rozsadzają skałę.
- **Wietrzenie solne (salinarne, eksudacja) i termiczne (insolacyjne)** zachodzi na suchych obszarach klimatu zwrotnikowego i podzwrotnikowego oraz na wybrzeżach morskich, gdzie krystalizacja soli w porach skalnych lub gwałtowne zmiany temperatury powierzchni skał prowadzą do ich łuszczenia się i odpadania.



Ewolucja rzeźby w wyniku odpadania – główne formy rzeźby górskiej

- Długotrwałe działanie procesu odpadania jest jednym z czynników kształtujących **rzeźbę górską**.
- Sukcesywne niszczenie górnych partii masywów prowadzi do równoległego **cofania się ścian skalnych** i stopniowego **łagodzenia ich profilu**.
- Geomorfologiczne **formy rzeźby górskiej** kształtowane m.in. przez odpadanie to:
 - **turnie i iglice skalne** – ostre, urwiste formy o stromych ścianach;
 - **granie** – wąskie, strome i poszarpane grzbiety górskie oddzielające doliny;
 - **żleby (rynny skalne)** – strome, głębokie wcięcia stanowiące drogi transportu materiału skalnego;
 - **grzędy skalne** – wypukłe formy oddzielające sąsiednie żleby;
 - **stożki usypiskowe (piargi)** – wachlarzowate formy u wylotu żlebów, zbudowane z ostrokrawędzistego materiału.



Żleby (rynny skalne) – drogi transportu materiału po procesie odpadania

- **Żleby (rynny skalne)** – niezwykle **strome, wąskie i głębokie wcięcia w ścianach górskich** (prostopadłe do podłoża), o U-kształtnym profilu, urwistych ścianach bocznych i niewyrównanym dnie, często zakończonym progami skalnymi.
- Ich położenie zależy od budowy geologicznej – rozwijają się w strefach osłabienia skał (uskoki, dyslokacje tektoniczne, gęste spękania).
- W górnych partiach często tworzą rozgałęzione systemy w kształcie lejków, które zbierają materiał z dużej powierzchni ściany.
- Pełnią one funkcję naturalnych rynn, którymi gwałtownie przemieszcza się odspojony materiał skalny (np. wskutek odpadania), woda opadowa i roztopowa oraz lawiny śnieżne.
- Aktywność tych czynników (w tym podskakujący i toczący się gruz, tzw. saltacja) sprawia, że wraz z ewolucją stoku żleby nieustannie się pogłębiają i poszerzają.



Stożki usypiskowe (stożki piargowe – piargi) – formy akumulacyjne

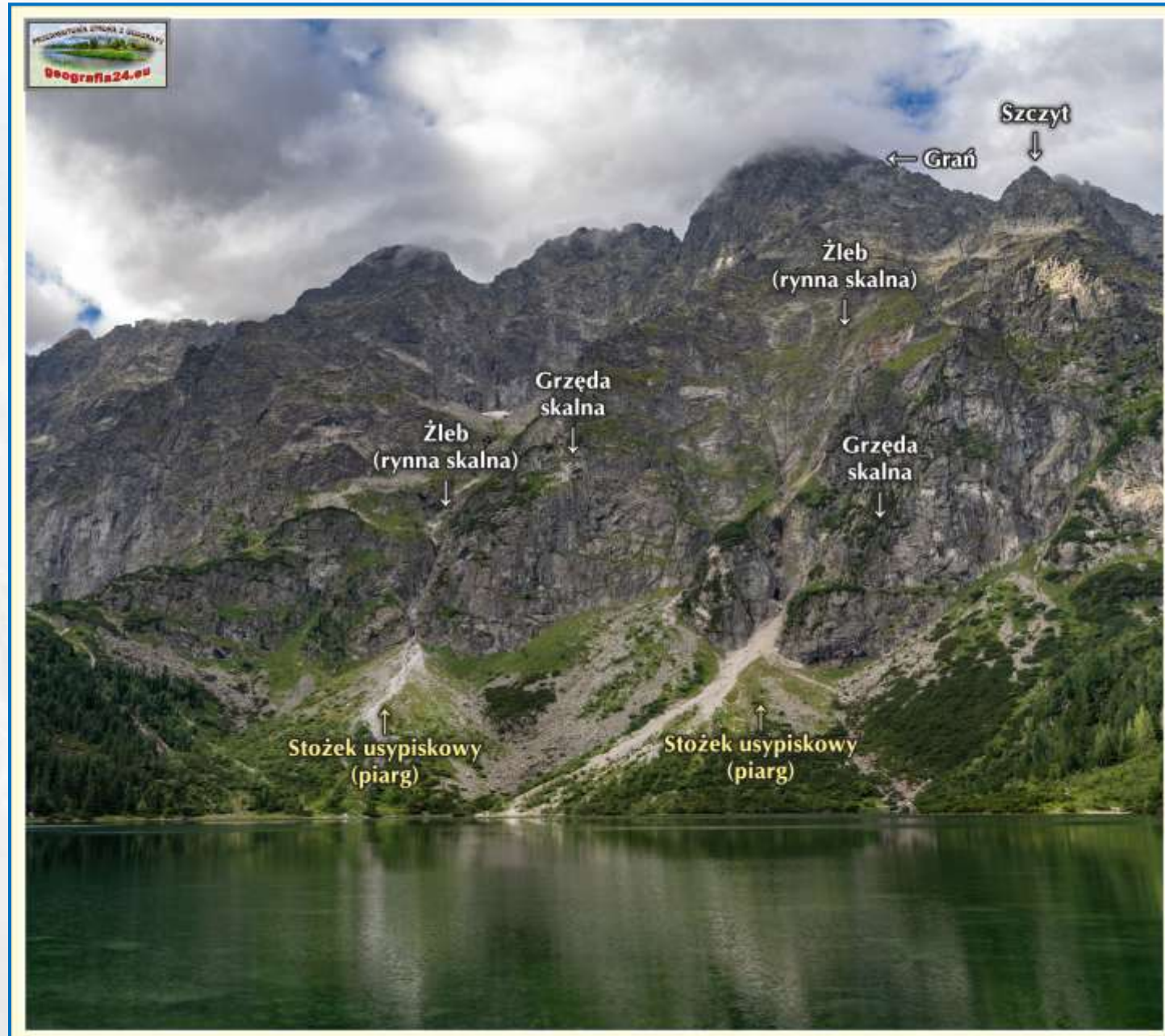
- **Stożki usypiskowe** (w Tatrach potocznie zwane **piargami**) – **wachlarzowate formy powstające u wylotu żlebów** (na dnie doliny lub łagodniejszym stoku) **wskutek akumulacji transportowanego materiału skalnego**.
- Ich nachylenie wynosi zazwyczaj 30° - 40° i jest uzależnione od wielkości i kanciastości spadających odłamków.
- Można wyróżnić dwie fazy ich ewolucji.
 - **Faza aktywna**: stożek nieustannie narasta (poszerza się i wydłuża w stronę dna doliny), a jego powierzchnia jest stale rozcinana przez przemieszczający się gruz i przemywana przez spływającą wodę.
 - **Faza pasywna (martwa)**: po osłabieniu dostawy nowego materiału skalnego lub zasypaniu dna doliny, forma ulega stabilizacji i powoli zarasta roślinnością.



Faza aktywna

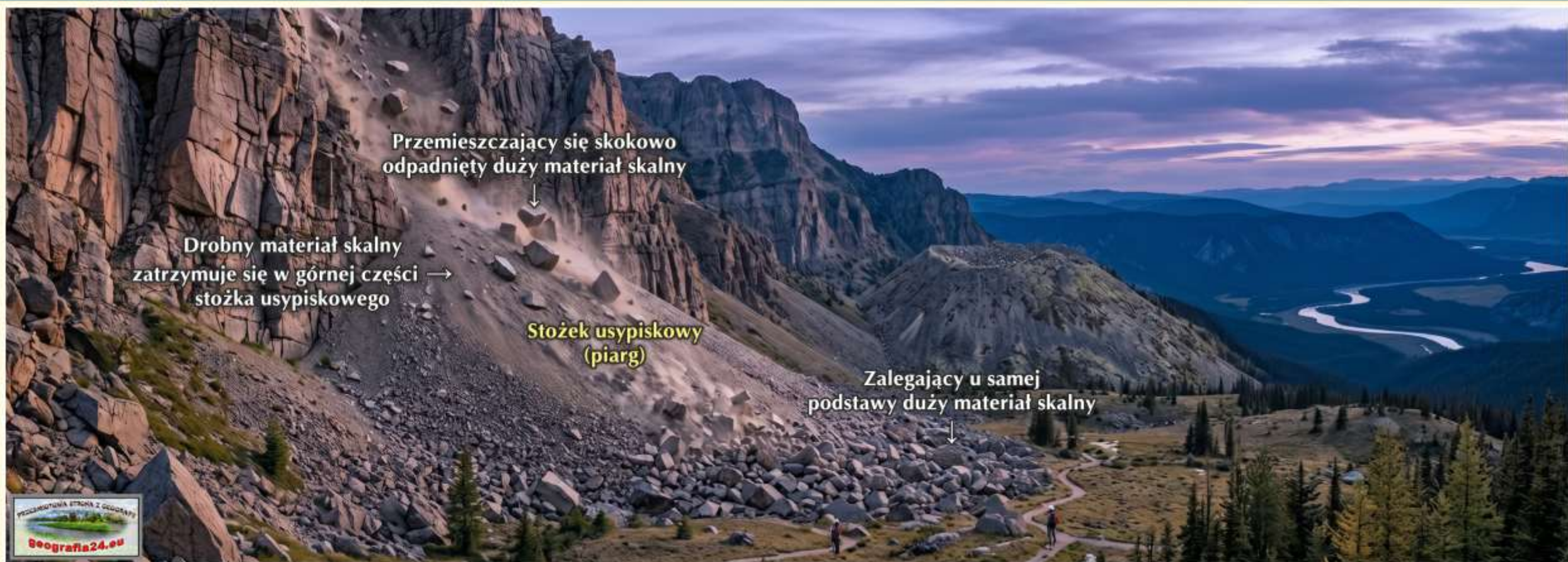


Faza pasywna



Grawitacyjna segregacja materiału w obrębie stożka usypiskowego

- Jedną z głównych cech **stożków usypiskowych** jest **naturalna segregacja (sortowanie)** spadającego gruzu skalnego.
- Wynika ona bezpośrednio z praw fizyki i energii kinetycznej spadających brył.
 - **Największe, najcięższe bloki i głazy** uzyskują największą energię kinetyczną i dzięki temu pokonują największą odległość oraz deponowane są **u samej podstawy stożka** (w tzw. części dystalnej).
 - **Mniejszy, drobniejszy materiał (gruz, żwir i piasek)** zatrzymuje się znacznie szybciej, jeszcze **w najwyższej części stożka**, ze względu na wyższe opory tarcia i brak odpowiedniej masy by kontynuować ruch w dół.



Grzędy skalne

- **Grzędy skalne** – wypukłe, strome i wyeksponowane formy rzeźby wysokogórskiej w postaci surowych, poszarpanych żeber skalnych, które stanowią naturalne bariery oddzielające od siebie sąsiadujące żleby.
- Występują powszechnie na urwistych ścianach (np. w **Tatrach** czy **Alpach**).
- Powstają w wyniku selektywnego wietrzenia mrozowego i procesów odpadania – procesy te szybciej pogłębiają rynny żlebów, pozostawiając między nimi odporniejsze fragmenty litej skały.
- Z czasem grzędy ulegają stopniowej degradacji – ich powierzchnia wietrzeje, a odpadający materiał skalny przyczynia się do ich sukcesywnego obniżania.



Ewolucja stoku i stadium równowagi

- **Rzów żleów** prowadzi do osiągnięcia przez nie **profilu równowagi** przy **nachyleniu około 30°**.
 - W takich warunkach cały materiał zwietrzelinowy jest na bieżąco odprowadzany, co zapobiega zarówno ich dalszemu wgłębniemu rozcinaniu, jak i zasypywaniu (dno przestaje się obniżać).
- Pod wpływem intensywnego wietrzenia i ciągłego odpadania następuje równoległe cofanie się ścian bocznych, dzięki czemu żleby zyskują ostatecznie charakterystyczny **profil płaskodenny**.
- Wznoszące się pomiędzy rynnami grzędy skalne ulegają stopniowemu rozczłonkowaniu i niszczeniu.
 - Prowadzi to do powstania tzw. "szczot" – w znacznej mierze wygładzonych stoków o nachyleniu rzędu 30-35°, ponad których powierzchnię sterczą jedynie dalej niszczone, pojedyncze ostańce skalne.
 - Ich zniszczenie kończy proces ewolucji stoku – w efekcie powstaje wygładzony, **dojrzały stok** o stabilnym nachyleniu około 30°, okryty **cienką pokrywą drobnego gruzu**.



2. Obrywanie (obryw)

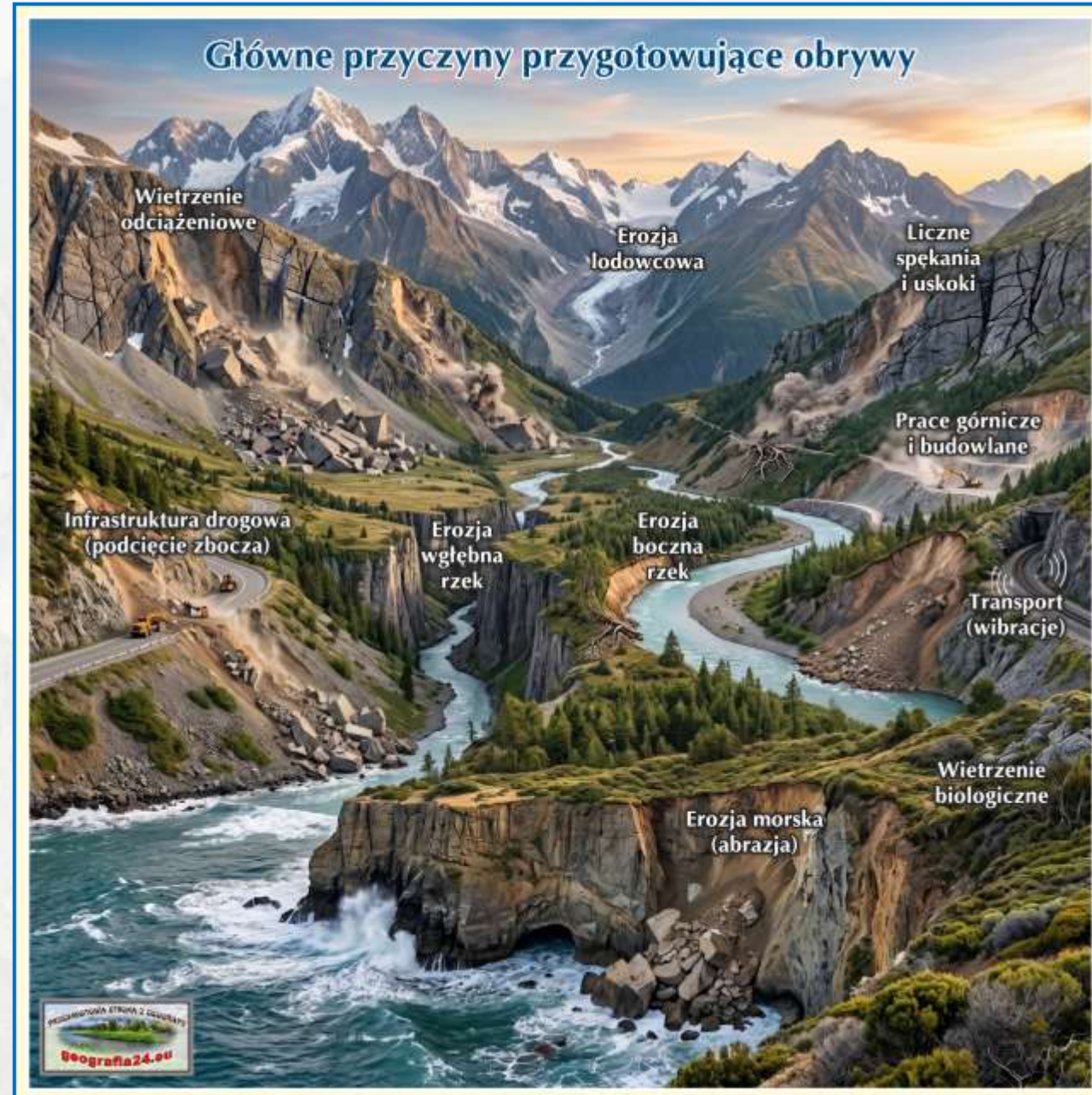
- **Obrywanie (obryw)** – dość rzadki, katastrofalny i gwałtowny ruch masowy, polegający na nagłym odspojeniu się od stromego zbocza ogromnych, litych mas skalnych, rzędu tysięcy, a nawet milionów metrów sześciennych.
- Przebieg obrywów jest bardzo podobny jak w odpadaniu – materiał ulega początkowo swobodnemu spadkowi.
 - Z uwagi jednak na gigantyczną masę, w trakcie zderzenia z podłożem skały ulegają strzaskaniu.
 - Zjawisko obrywania zdarza się stosunkowo rzadko (znacznie rzadziej niż odpadanie), jednak charakteryzuje się ogromną siłą niszczącą, znikomym czasem reakcji i bardzo dużymi objętościami przemieszczonego materiału skalnego.



Obrywanie – stosunkowo rzadki, katastrofalny proces grawitacyjny polegający na nagłym odspojeniu się od stromych zboczy ogromnych mas skalnych, które spadając, rozbijają się i tworzą u podstawy zwałowiska potężnych bloków i gruzu

Przyczyny obrywów – czynniki przygotowujące obrywy (długofalowe)

- **Obryw skalny** to nagły finał długotrwałej utraty statyki stoku i nośności skał.
- Do **głównych przyczyn przygotowujących** należą:
 - **postępujące podcinanie form terenu** zachodzące wskutek:
 - erozji bocznej i wstępnej rzek – podmywanie brzegów dolin rzecznych i pogłębianie doliny przez rzekę,
 - erozji lodowcowej – kształtowanie dolin U-kształtnych,
 - erozji morskiej (abrazji) – podmywanie klifu falami;
 - **układy gęstych spękań, uskoków tektonicznych i rozluźnienie struktury skały** (wietrzenie odciążeniowe);
 - **poszerzanie szczelin** przez erodującą wodę, jej zamarzanie (wietrzenie mrozowe) i krystalizację soli (wietrzenie solne), co drastycznie osłabia spójność warstw;
 - **wietrzenie biologiczne** – głównie mechaniczne działanie korzeni drzew rozszerzających szczeliny;
 - **antropopresja (wpływ człowieka)** – długofalowe podcinanie stoków pod infrastrukturę, ciągłe wibracje od transportu oraz prace górnicze i budowlane destabilizujące górotwór.



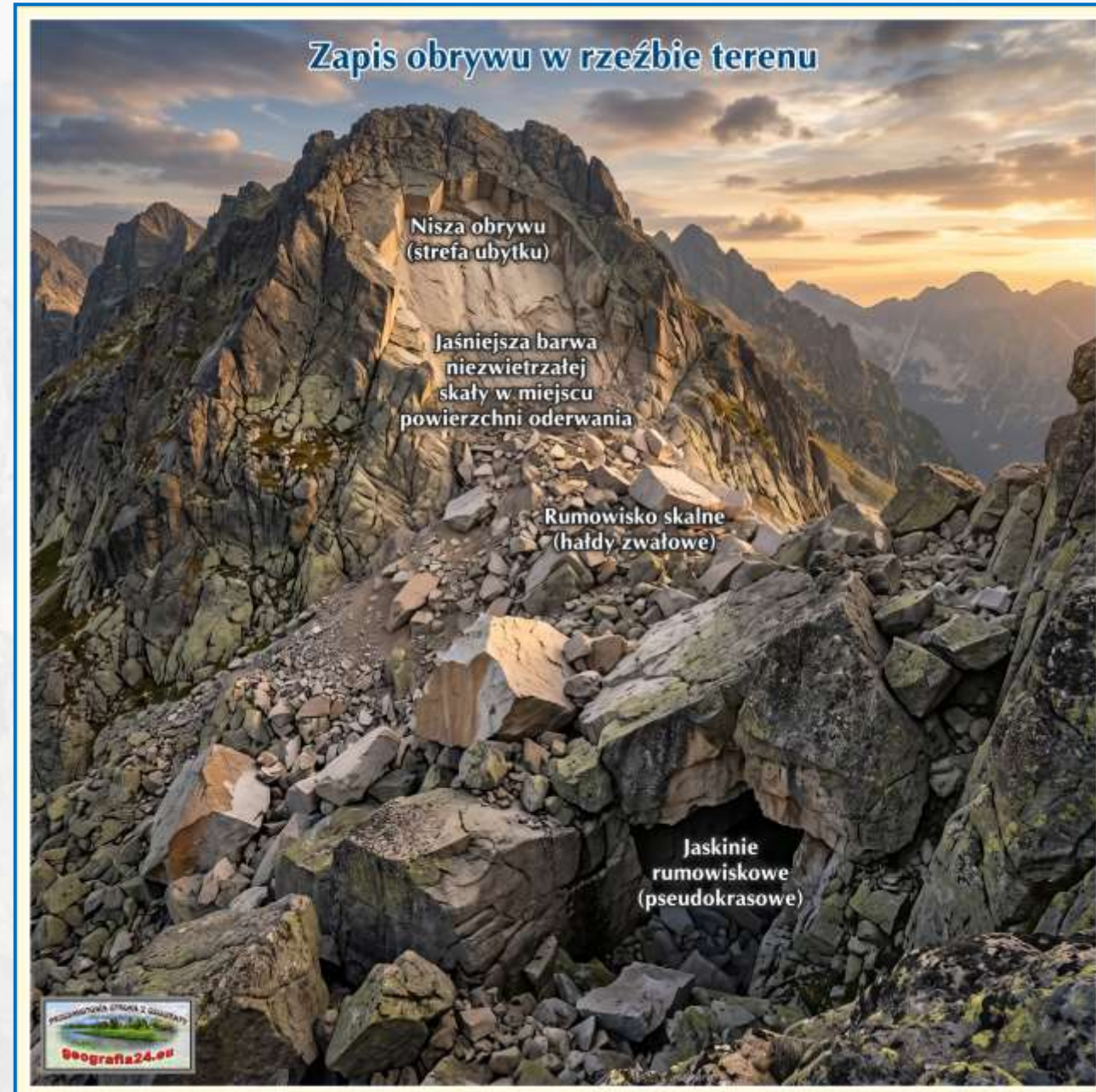
Przyczyny obrywów – czynniki spustowe (wyzwalające)

- Aby osłabione zbocze uległo **obrywowi**, zazwyczaj potrzebny jest bezpośredni impuls – **czynnik wyzwalający**, który prowadzi do nagłego zachwiania równowagi naprężeń w górotworze.
- Do **głównych przyczyn spustowych (wyzwalających) obrywy** należą:
 - **czynniki sejsmiczne**: trzęsienia ziemi (odpowiadają za najczęstsze i największe obrywy) i erupcje wulkanów;
 - **ekstremalne zjawiska meteorologiczne**: nawałne deszcze i gwałtowne roztopy (prowadzące do wzrostu ciśnienia wody w szczelinach oraz dociążenia stoku poprzez infiltrację), a także silne porywy wiatru;
 - **nagła antropopresja** (działalność człowieka): detonacje materiałów wybuchowych (w górnictwie lub budownictwie drogowym), tąpnięcia górnicze i silne vibracje od transportu;
 - **nagle, z pozoru niewielkie dociążenie lub drgania**: w przypadku skrajnie osłabionej skały (tuż na granicy utraty równowagi) “detonatorem” obrywu może być incydentalny nacisk lub vibracje wywołane przez chwilowe pojawienie się grupy turystów czy stada zwierząt (uderzają one).



Zapis obrywu w rzeźbie terenu (formy erozyjne i akumulacyjne)

- Każdy masywny obryw pozostawia po sobie bardzo wyraźny i trwały ślad w postaci specyficznych form.
- **Nisza obrywu (strefa ubytku)** – zlokalizowana jest w górnej części stoku i odznacza się gładką, często pionową, odsłoniętą **powierzchnią oderwania**, czyli świeżej, niezwiędniętej skały.
 - Odróżnia się wyraźnie od otoczenia, zwykle **jaśniejszą barwą skały** (świadczy to o braku wietrzenia w obrębie tej części skały) i całkowitym brakiem szaty roślinnej oraz zwierzeliny.
- **Rumowisko skalne (hałdy zawałowe)** – tworzone jest przez zwałowisko potężnych, całkowicie niesegregowanych i nieposortowanych odłamków skalnych u podnóża stoku (od pyłu, przez żwiry, po gigantyczne bloki i głazy osiągające nierzadko dziesiątki metrów długości).
 - W obrębie takich zawałowych rumowisk z wielkich brył powstają często puste przestrzenie – tzw. **jaskinie pseudokrasowe (labiryntowe; rumowiskowe)**, powstałe przez zablokowanie się na sobie ogromnych głazów.



Wpływ litologii (cech skały) na przebieg obrywów

- **Charakter obrywania**, jego skala i częstotliwość silnie zależą od **budowy geologicznej podłoża (litologii)**.
- **Skały masywne, twarde i krystaliczne** (np. granity, bazalty, masywne wapienie) obecne zarówno w górach, jak i niektórych wybrzeżach wysokich – cechują się **wysoką spójnością**.
- Górotwór bardzo długo opiera się zniszczeniu, kumulując naprężenia.
 - Gdy dojdzie do przekroczenia granicy wytrzymałości, obryw jest zazwyczaj jednorazowy, z ułamkiem sekund na reakcję, i ma katastrofalną, niewyobrażalną skalę (zrzut milionów ton materiału jednorazowo).
- **Osady sypkie lub słabo skonsolidowane** (np. gliny, piaski i lessy na wybrzeżach klifowych) – charakteryzują się stosunkowo **niewielką spoistością**.
- Obrywy (odpadanie i obrywy brył gliny morenowej np. na polskim wybrzeżu Bałtyku) występują w nich znacznie częściej (nawet kilka razy do roku w czasie sztormów), obejmując jednorazowo mniejsze fragmenty, ale prowadząc do bardzo szybkiego cofania się brzegu w skali dziesięcioleci.



Klify **Ponta de Sao Lourenço na Maderze** zbudowane ze skał bazaltowych (obrywy zachodzą zwykle rzadko obejmując jednorazowo duże skały)

Klif Orłowski w Gdyni zbudowany z gliny morenowej i osadów wodnolodowcowych, które są stosunkowo słabo skonsolidowane (obrywy zachodzą zwykle często obejmując jednorazowo małe skały)



3. Lawiny kamienne

- **Lawiny kamienne** – gwałtowne ruchy masowe polegające na **bardzo szybkim przemieszczaniu się suchego materiału skalnego** (bloków, głazów i gruzu) **niemal w stałym kontakcie z podłożem**.
- Mogą powstawać w wyniku ponownego wprowadzenia w ruch luźnego rumowiska zalegającego w stożkach usypiskowych u podnóża zboczy, gdy obryw z wyższego odcinka stoku uderza w ten materiał z dużą siłą, lub bezpośrednio w wyniku dużych obrywów, których rozdrobniony materiał pędzi dalej w dół stoku.
- Dzięki wysokiej energii kinetycznej masa skalna może pokonywać znaczne odległości, nawet przy bardzo niewielkim spadku terenu.
- Zjawisko to jest powszechne w wysokich górach, takich jak: Andy, Himalaje, Tienszan, Kaukaz i Alpy.



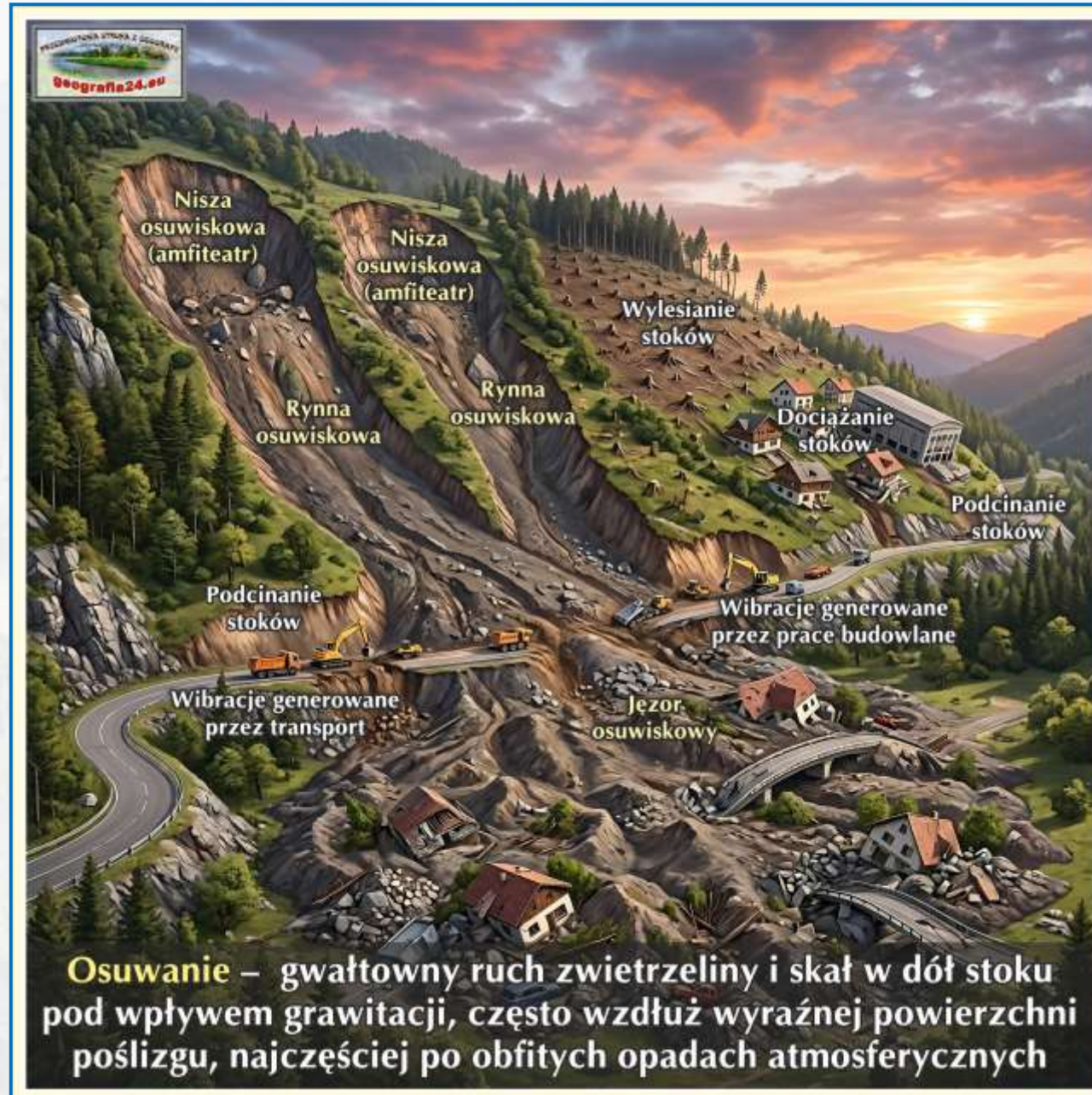
4. Przewracanie

- **Przewracanie** – ruchu polegający na rotacji wysokiego i wąskiego bloku skalnego lub kolumny wokół punktu podparcia u podstawy pod wpływem grawitacji.
- Proces ten zachodzi **na stromych stokach w skałach o wyraźnym, pionowym systemie spękań**, przebiegającym równoległe do krawędzi stoku, a jego rozwój sprzyja wietrzenie (np. mrozowe, odciążeniowe) osłabiające stabilność.
- W wyniku stopniowego poszerzania szczelin i odchylania się bloku od pionu osiągany jest stan graniczny, po którym górna część kolumny wychyla się, wykonując stopniowy łukowaty ruch, podczas gdy podstawa pozostaje w kontakcie z podłożem aż do momentu upadku.
- Ostatecznie materiał skalny ulega gwałtownemu rozbiciu, tworząc u podnóża stoku bezładne, **blokowe rumowisko**.



5. Osuwanie (osuwisko)

- **Osuwanie** – gwałtowne przemieszczenia skał lub zwietrzliny wzdłuż wyraźnej **powierzchni poślizgu** (**powierzchni ścięcia**), zachodzące przy stałym kontakcie z podłożem i prowadzące do powstania **osuwisk**.
- Nagły spadek prędkości na granicy między osuniętym pakietem a podłożem odróżnia je od splayów.
- Osuwiska rozwijają się w wyniku współdziałania następujących czynników:
 - **przyrodniczych** – występują głównie w strukturach słabo skonsolidowanych, zwłaszcza po intensywnych opadach, kiedy to woda zwiększa ciężar warstw, powoduje ich uplastycznienie i redukuje tarcie, co ułatwia poślizg;
 - **antropogenicznych** – są efektem naruszenia stabilności stoku wskutek niewłaściwej gospodarki, takiej jak:
 - niszczenie stabilizującej stok roślinności (wylesianie),
 - dociążanie stoków ciężką zabudową,
 - podcinanie podstawy stoku podczas budowy dróg lub eksploatacji surowców metodą odkrywkową,
 - generowanie wibracji przez transport i prace budowlane.



Budowa osuwisk

- Proces osuwania tworzy w rzeźbie terenu charakterystyczny zespół form:
 - **nisza osuwiskowa (amfiteatr)** – wyraźne obniżenie w górnej części stoku, powstałe w miejscu ubytku masy skalnej;
 - **rynna osuwiskowa** – rynnowate obniżenie na stoku, stanowiące drogę transportu przemieszczanego materiału;
 - **jęzor osuwiskowy (język osuwiskowy)** – wypukła forma u podnóża stoku, zbudowana z nagromadzonego materiału skalnego.
- Obszar, w którym zatrzymał się materiał (jęzor osuwiskowy), cechuje się chaotyczną rzeźbą – występują tam liczne pagórki i zagłębienia, które ze względu na bogactwo form trudno opisać jednym terminem.



Klasyfikacja osuwisk wg geometrycznego charakteru powierzchni ścięcia

- Podstawowym **kryterium podziału osuwisk** jest **geometryczny charakter powierzchni ścięcia**:
 - **osuwiska translacyjne (ześlizgowe)** – posiadają stosunkowo płaską (planarną) powierzchnię poślizgu (zwykle równoległą do stoku);
 - **osuwiska rotacyjne (obrotowe)** – charakteryzują się na ogół dość zakrzywioną, wklęsłą powierzchnią poślizgu.

Osuwiska translacyjne (ześlizgowe)



Osuwiska rotacyjne (obrotowe)



Osuwiska translacyjne (ześlizgowe)

- **Osuwiska translacyjne (ześlizgowe)** – odznaczają się obecnością planarnej (płaskiej) powierzchni poślizgu, która zazwyczaj jest nachylona pod nieco mniejszym kątem niż powierzchnia stoku, pozwalając na swobodny ześlizg całego pakietu skalnego.
- Powierzchnie te mają charakter strukturalny – ich przebieg jest zdeterminowany budową geologiczną.
 - Ześlizg dokonuje się po istniejących już w górotworze nieciągłościach, takich jak:
 - powierzchnie spękań i uskoków,
 - granice między ławicami skał,
 - granice litologiczne (styk różnych rodzajów skał).
- W osuwiskach tych poślizg następuje przy zachowaniu ciągłego kontaktu sąsiadujących ze sobą warstw.
 - Wewnątrz przemieszczanego pakietu praktycznie nie dochodzi do mieszania się materiału.
- Warstwy skalne leżące wyżej od innych po osunięciu zazwyczaj zachowują tę samą pozycję w pionie.
 - Oznacza to, że układ warstw wewnątrz osuniętego bloku pozostaje niemal identyczny jak przed wystąpieniem zjawiska.



Osuwisko rotacyjne (obrotowe)

- **Osuwisko rotacyjne (obrotowe)** – cechuje się zakrzywioną, wklęsłą powierzchnią poślizgu, której nachylenie stopniowo maleje wraz z głębokością.
- Nie wykorzystują one gotowych powierzchni strukturalnych, które pełniłyby rolę poślizgu.
- Tworzą się w obrębie grubych seriach skał słabo skonsolidowanych.
- Często sprzyja im zaleganie sztywnych skał (np. piaskowców, wapieni, bazaltów) na podłożu plastycznym (iły, mułowce).
- Pod naciskiem nadkładu w plastycznym podłożu tworzy się zakrzywiona linia ścięcia.
- W efekcie całe pakiety skalne ulegają rotacji, a osuwisko to zazwyczaj nie wykształca wyraźnej rynny osuwiskowej.



6. Spływanie

- **Spływanie** – gwałtowny proces ruchu nieskonsolidowanego i silnie nasyconego wodą materiału skalnego (zwietrzliny), który w wyniku uplastycznienia traci wewnętrzną spójność i **porusza się w sposób zbliżony do cieczy**.
- W przeciwieństwie do osuwisk, spływy nie posiadają jednej powierzchni poślizgu.
 - **Ruch ma charakter płynny**, a odkształcenie masy jest ciągłe i nieodwracalne, co prowadzi do całkowitej zmiany pierwotnej struktury skał.
 - W mikroskali poszczególne ziarna mineralne poruszają się indywidualnie, a przestrzenie między nimi wypełnia woda lub powietrze, które redukują tarcie.
- Charakteryzują się **bardzo dużą prędkością** (od kilku do ponad 100 km/h) i ogromnym zasięgiem, przekraczającym nieraz kilkanaście kilometrów.
 - Stanowią ekstremalne zagrożenie dla infrastruktury i życia ludzi.



Przyczyny powstawania spływów

- Wśród **głównych czynników sprzyjających występowaniu spływów** wyróżnia się:
 - **przyczyny naturalne:**
 - **gwałtowne (nawalne) opady deszczu**, szczególnie na obszarach z luźnym materiałem skalnym (dostarczające dużych ilości wody),
 - **nagłe topnienie śniegu lub lodowców** (prowadzące do intensywnego dopływu wody),
 - **trzęsienia ziemi** (powodujące upłynnienie gruntu);
 - **przyczyny antropogeniczne:**
 - **wylesianie**, prowadzące do usuwania roślinności, której systemy korzeniowe mechanicznie wiążą zwietrzelinę na bardziej stromych stokach,
 - **niewłaściwa uprawa**, wynikająca z błędów w użytkowaniu pól i pastwisk górskich (np. orka wzdłuż stoku),
 - **działalność górnicza i transportowa**, przyczyniające się do powstawania wibracji naruszających stabilność mas,
 - **pożary**, które niszczą pokrywę roślinną, odsłaniając glebę i zwiększając jej podatność na działanie wody opadowej.



Rodzaje spływów

→ W zależności od frakcji (wielkości) materiału wyróżniamy:

- **spływy gruzowo-błotne (debris flow; lub gruzowe)** – niosą wśród drobniejszego materiału (piszczysto-pyłastego) także gruby, w tym bloki o średnicy powyżej 1 m,
 - wysoka gęstość masy pozwala na transport gigantycznych głazów, które niszczą wszystko na drodze (szczególnie niszczycielsko oddziałują większe głazy);
- **spływy błotne (mud flows; lub ziemne)** – tworzą “rzekę błota”, w której wśród materiału skalnego występują drobne ziarna (większy materiał skalny praktycznie nie występuje) we frakcji pyłowej i ilowej,
 - płyną szybciej i na większe odległości niż spływy gruzowe ze względu na mniejszy opór wewnętrzny.



Spływ błotny – szybki ruch drobnoziarnistej, silnie nawodnionej masy skalnej



Spływ gruzowo-błotny (gruzowy) – szybki ruch błota i dużych bloków skalnych

Lokalne odmiany spływów (mury, siele i debris flow)

- **Lokalne odmiany gwałtownych spływów** (głównie błotno-gruzowych) występują na stromych stokach wysokogórskich, gdzie dzięki dużej gęstości masy i ogromnej sile niszczącej potrafią transportować w stałym kontakcie z podłożem bloki skalne o średnicy przekraczającej 1,5 m.
- W zależności od regionu geograficznego zjawiska te noszą różne nazwy:
 - **mury** (spolszczenie niemieckiego die Mure) – termin stosowany w Alpach dla określenia gwałtownych spływów błotno-gruzowych, przemieszczających się dnem stromo nachylonych dolin górskich;
 - **siele** – niszczycielskie spływy gruzowo-błotne charakterystyczne dla obszaru Kaukazu i Azji Środkowej, wywoływane najczęściej przez nawalne opady lub gwałtowne topnienie śniegu i lodowców;
 - **debris flow** – powszechny w krajach anglojęzycznych i literaturze międzynarodowej termin określający szybki spływ gęstej mieszaniny wody z materiałem niesortowanym (od pyłu po potężne głazy).



W krajach alpejskich bardzo gwałtowne spływy błotno-gruzowe o dużej sile niszczącej nazywane są murami. Przemieszczają one szybko duże ilości materiału skalnego wzdłuż dolin, powodując znaczne zniszczenia.

Lahary (spływ popiołowy)

- **Lahary (spływy popiołowe)** – specyficzny **rodzaj gwałtownych spływów błotno-gruzowych**, które powstają na stokach wulkanicznych **w wyniku nagłego nasycenia wodą luźnych materiałów piroklastycznych** (głównie popiołów wulkanicznych, lapilli i bomb wulkanicznych).
- Woda niezbędna do ich powstania pochodzi najczęściej z nawałnych opadów deszczu, gwałtownego topnienia pokryw śnieżnych i lodowcowych pod wpływem ciepła wulkanicznego lub z przerwania ścian jezior kraterowych.
- Lahary przemieszczają się zwykle wzdłuż dolin rzecznych i obniżień terenu, osiągając bardzo duże prędkości (nawet do około 150 km/h w warunkach ekstremalnych) i mogą pokonywać kilkadziesiąt kilometrów.
- Jednym z najbardziej znanych przykładów był lahar na stokach kolumbijskiego wulkanu Nevado del Ruiz w 1985 roku.
- Spływ wywołany topnieniem lodowca podczas erupcji przebył ponad 60 km, niszcząc miasto Armero i powodując śmierć ponad 23 tys. osób.



Lahar po erupcji Saint Helens w 1982 roku



Zniszczenia, które spowodował lahar w mieście Armero

7. Spęłyzywanie (pełzanie gruntu)

- **Spęłyzywanie (pełzanie gruntu)** – bardzo powolny i niemal niedostrzegalny bezpośrednio proces grawitacyjnego przemieszczania się wierzchnich warstw gruntu i zwietrzeliny na nachylonych stokach.
- Mimo braku gwałtowności zjawisko to **zachodzi powszechnie na większości stoków** i odgrywa istotną rolę w modelowaniu ich profilu.
- Czynnikiem sprawczym są **cykliczne zmiany objętości gruntu wywołane wahaniami wilgotności i w mniejszym stopniu temperatury**, obejmujące zazwyczaj płytką warstwę przypowierzchniową (do około 1 m głębokości).
 - W wyniku **pęcznienia gruntu** (np. pod wpływem zamarzania wody – pęcznienia mrozowego – lub nasiąkania) **cząstki mineralne są wypychane prostopadłe do powierzchni stoku**.
 - Natomiast **podczas kurczenia się gruntu** (w czasie odmarzania lub wysychania wody) **siła ciężkości powoduje ich pionowe opadanie**.
- Suma tych mikroskopijnych przemieszczeń po torze zygzakowatym prowadzi do bardzo powolnego ruchu materiału w dół stoku.



Skutki spełzywania (pełzania gruntu)

- **Skutki spełzywania** kumulują się przez dziesięciolecia, prowadząc do **typowych deformacji** w obrębie stoków:
 - **powstawanie** tzw. **“pijanego lasu”**, czyli drzew o łukowato wygiętych pniach u podstawy (drzewa rosnące na powoli przemieszczającym się podłożu stopniowo zmieniają swoje położenie względem stabilnych korzeni);
 - **powolne wygięcie w dół stoku wierzchnich warstw pokrywy skalnej**;
 - **pochylenie, przemieszczanie i w efekcie uszkodzenia infrastruktury i obiektów**, w tym:
 - słupów energetycznych, telefonicznych i ogrodzeń,
 - nagrobków na cmentarzach,
 - murów i fundamentów budynków;
 - **powolne przemieszczanie się obiektów powierzchniowych** (np. głazów) w dół stoku.



8. Soliflukcja (geliflukcja lub spęływanie mrozowe)

- **Soliflukcja (geliflukcja lub spęływanie mrozowe)** – powolne przemieszczanie się pod wpływem grawitacji nasyconej wodą zwietrzliny w warunkach klimatu zimnego (peryglacjalnego lub górskiego), związane z cyklicznym zamarzaniem i rozmarzaniem gruntu.
- Występuje powszechnie **w strefach okołobiegunowych i wysokogórskich z wieloletnią zmarzliną**.
- **Zimą grunt głęboko zamarza**, tworząc z podłożem zwartą, nieprzepuszczalną strukturę.
- **Latem rozmarza jedynie warstwa czynna**, w której uwieczona nad lodem woda (z roztopów i opadów) silnie ją przewilgaca.
- **Grunt traci wtedy stabilność i powoli przemieszcza się** (“ślizga” przenosząc wszystko co jest na nim) **po zamarzniętym podłożu** nawet na bardzo łagodnych stokach.



Spęływanie mrozowe (soliflukcja, geliflukcja) – bardzo powolne przemieszczanie nasyconej wodą zwietrzliny po zamarzniętym podłożu w klimacie peryglacjalnym lub w górach, wywołane cyklicznym zamarzaniem i rozmarzaniem gruntu

8. Soliflukcja (geliflukcja lub spęływanie mrozowe)

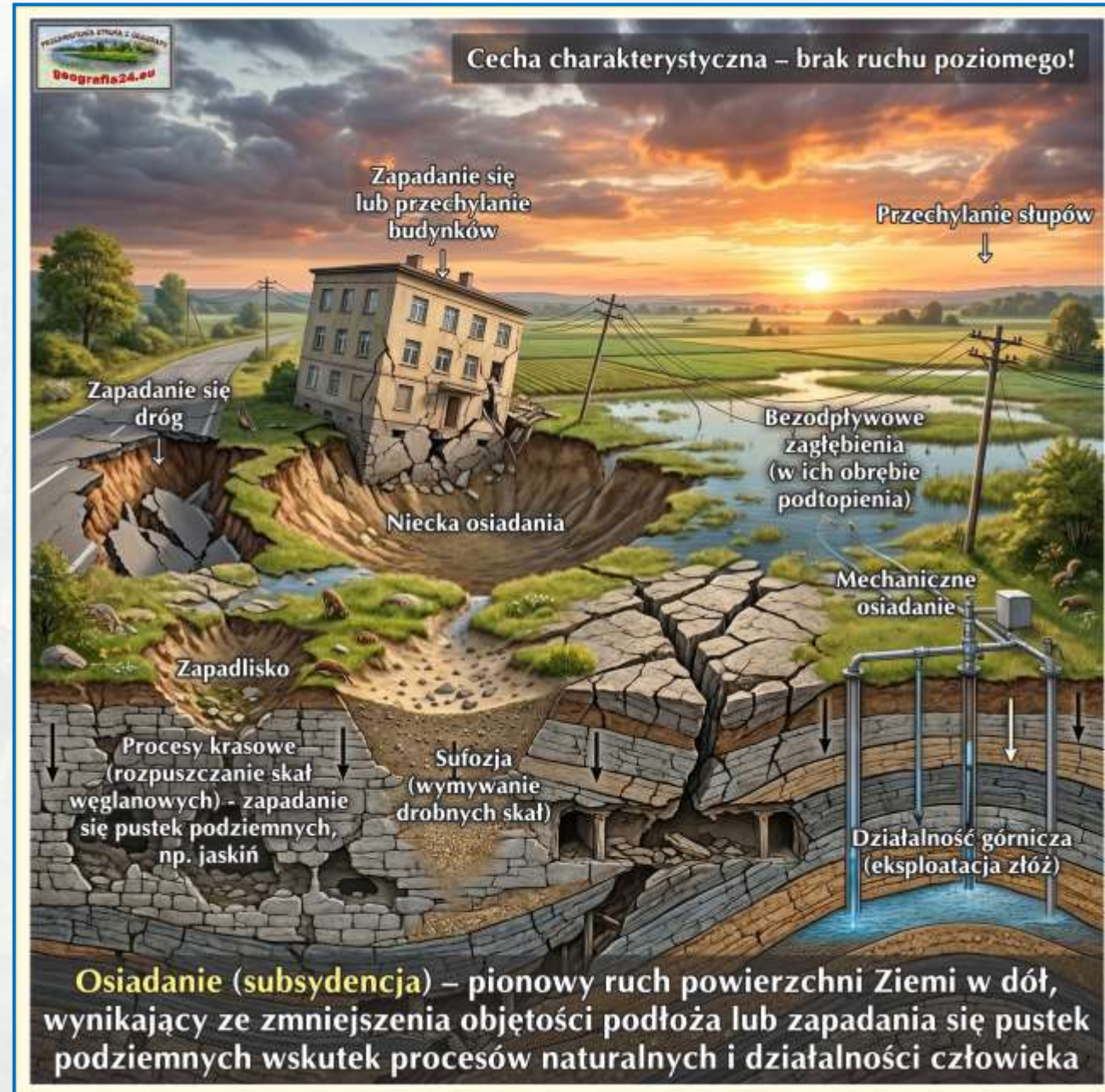
- W wyniku **soliflukcji** powstają charakterystyczne formy:
 - **loby (języki) soliflukcyjne** – półkoliste lub językowate wypiętrzenia zwietrzliny powstające w wyniku nierównomiernego przemieszczania gruntu hamowanego przez roślinność,
 - **wędrujące bloki** – głazy szybciej niż otoczenie transportowane w plastycznej masie, które dzięki dużemu naciskowi na podłoże żłobią za sobą **bruzdy** i spiętrzają **łukowate wały ziemne** przed sobą.
- Współcześnie w Polsce soliflukcja zachodzi głównie w **Tatrach**, rzadziej w **Karkonoszach** oraz jedynie lokalnie w najwyższych partiach **Bieszczadów**.



Spęływanie mrozowe (soliflukcja, geliflukcja) – bardzo powolne przemieszczanie nasyconej wodą zwietrzliny po zamrożonym podłożu w klimacie peryglacjalnym lub w górach, wywołane cyklicznym zamarzaniem i rozmarzaniem gruntu

9. Osiadanie (subsydencja)

- **Osiadanie (subsydencja)** – pionowy ruch powierzchni ziemi przy zerowej składowej poziomej.
 - Wynika ono ze zmniejszenia objętości podłoża (dociążonego jakimś obiektem) lub zapadania się podziemnych pustek.
- **Główne przyczyny osiadania** wynikają z naturalnych procesów geologicznych, działalności człowieka lub kombinacji obu tych czynników:
 - **procesy krasowe** – w ich wyniku rozpuszczanie skał (wapieni, gipsów, soli) tworzy podziemne próżnie, których stropy ulegają stopniowemu uginaniu lub nagłemu zawaleniu pod ciężarem nadkładu, co generuje na powierzchni niecki lub zapadliska.
 - **sufozja** – polega na mechanicznym wyłukiwaniu drobnych ziaren mineralnych przez wody podziemne, co prowadzi do osiadania gruntu na mniejszą skalę niż w przypadku zjawisk krasowych.
 - **specyficzna struktura podłoża** – proces zachodzący w sytuacjach, gdy sztywne i spękanne warstwy skalne zalegają na plastycznym, podatnym na odkształcenia podkładzie (ulegają osiadaniu).



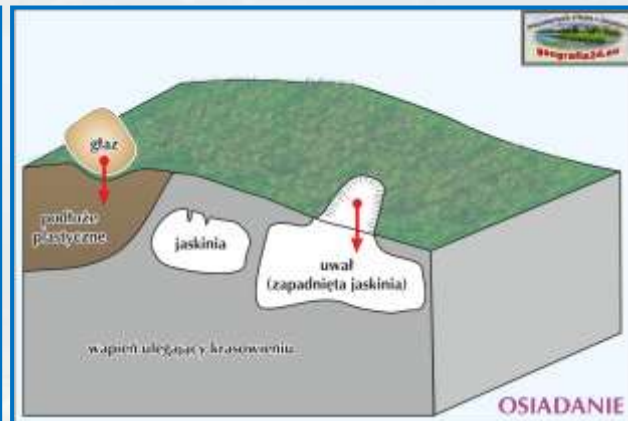
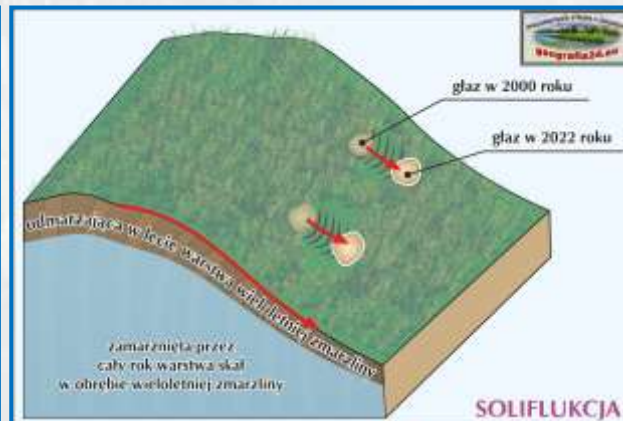
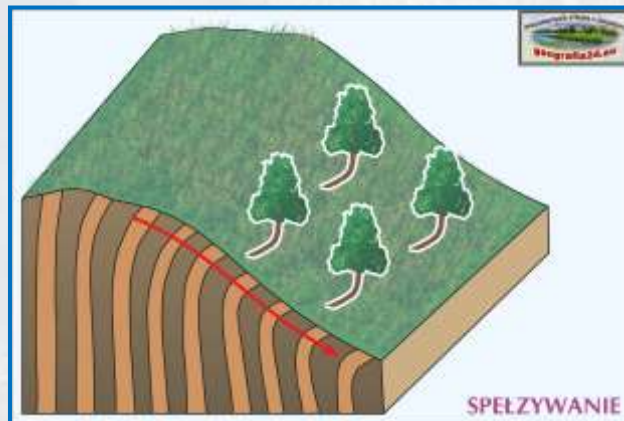
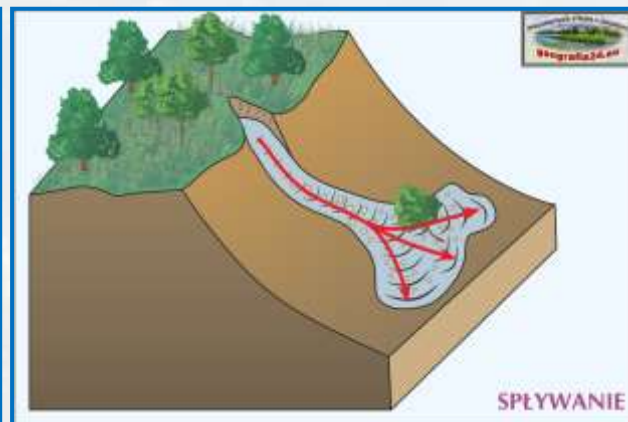
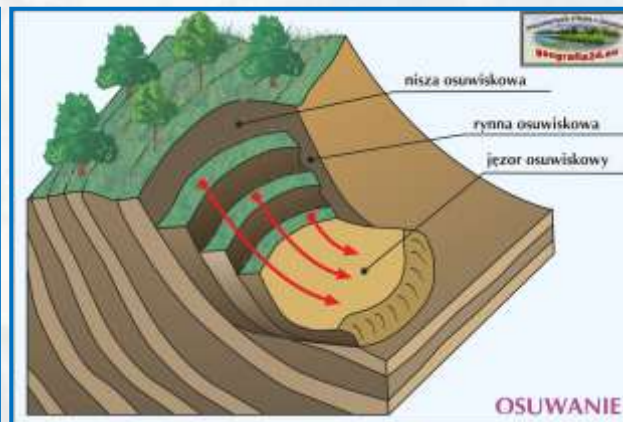
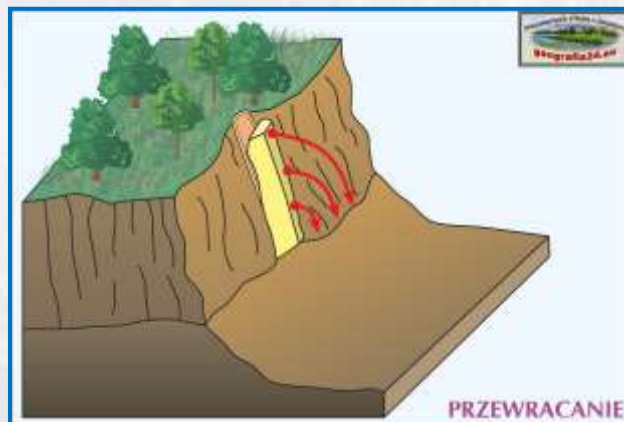
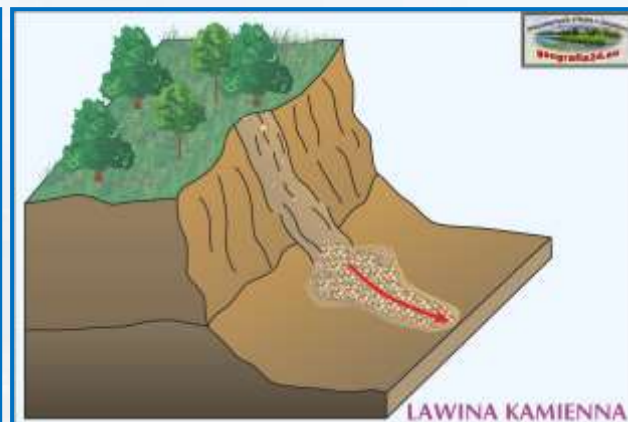
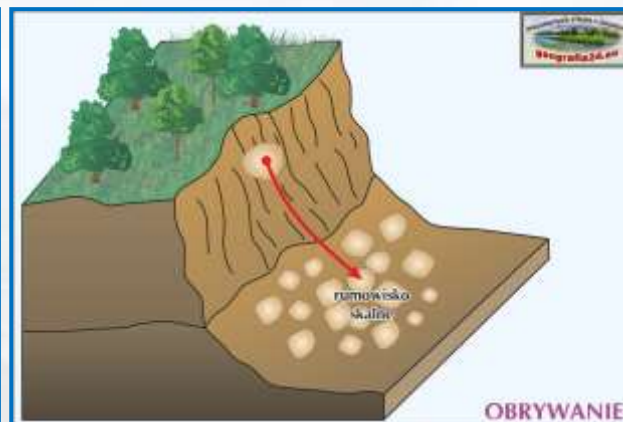
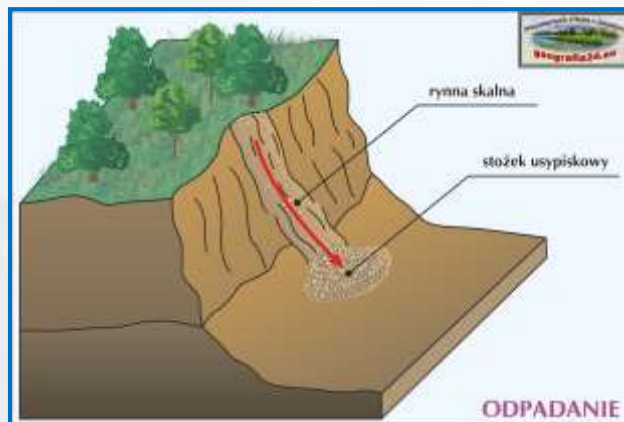
Wpływ człowieka i skala zjawiska osiadania (subsydencji)

- **Współcześnie osiadanie** jest determinowane głównie przez **czynniki antropogeniczne**, często wzmacniające **procesy naturalne**.
- Kluczową rolę odgrywa **działalność górnicza**, w której powstawanie podziemnych pustek prowadzi do zapadania się ich stropów, zaś eksploatacja płynnych i gazowych złóż (wody, ropy, gazu), obniżająca ciśnienie w warstwach skalnych, powoduje ich mechaniczne osiadanie.
- Zjawiska te **mają zróżnicowaną skalę** – od powolnego obniżania terenu o mniej niż 1 m po nagłe zapadliska sięgające kilkudziesięciu metrów.
 - Ich zasięg może być lokalny lub obejmować setki kilometrów kwadratowych.
 - Trwałe obniżenie powierzchni **prowadzi do deformacji i niszczenia infrastruktury** (fundamentów budynków, dróg oraz przechylania słupów), a także do **zmian stosunków wodnych**, skutkujących powstawaniem bezodpływowych zagłębień i częstych podtopień.



Powtórzenie materiału

- **Ruchy masowe** – różne procesy przemieszczania się materiału skalnego i zwietrzliny w dół stoków pod wpływem siły grawitacji.
- Odgrywają one ważną rolę w kształtowaniu rzeźby terenu, ale mogą też stanowić zagrożenie dla ludzi i infrastruktury.
- Ich występowanie zależy zarówno od czynników naturalnych, jak i działalności człowieka, dlatego istotna jest ich analiza i ograniczanie ryzyka.



Sposoby ograniczania ruchów masowych na terenach zagrożonych

- **Skuteczne ograniczanie ruchów masowych na terenach zagrożonych** (góry, obszary krasowe oraz strefy narażone na erozję i sufozję) wymaga stosowania zintegrowanych metod zabezpieczenia, takich jak:
 - **stabilizacja biologiczna i powierzchniowa**: tarasowanie stoków oraz nasadzenia roślinności o rozbudowanym systemie korzeniowym, wiążącej grunt i ograniczającej erozję;
 - **konstrukcje oporowe i drenaż**: budowa murów oporowych i koszy gabionowych oraz skuteczne odwodnienie zboczy ograniczające uwodnienie gruntu i ryzyko osuwisk;
 - **wzmocnienia skał i gruntu**: stosowanie siatek geotechnicznych, kotew gruntowych (kołków rozporowych wbitych w zbocze) i torkretu (specjalnego betonu) stabilizującego luźne i spękanne skały;
 - **zabezpieczenia infrastruktury**: palisady żelbetowe, zadaszenia i galerie ochronne przed obrywami skalnymi;
 - **przeciwdziałanie procesom krasowym i sufozji**: iniekcje uszczelniające wypełniające szczeliny i pustki podziemne;
 - **działania planistyczne i monitoring**: odpowiednie planowanie zabudowy oraz systemy obserwacji i wczesnego ostrzegania.



KONIEC



Materiały pomocnicze do nauki
Opracowane w celach edukacyjnych (niekomercyjnych)

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

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE
- KOPIOWANIE ZABRONIONE -