

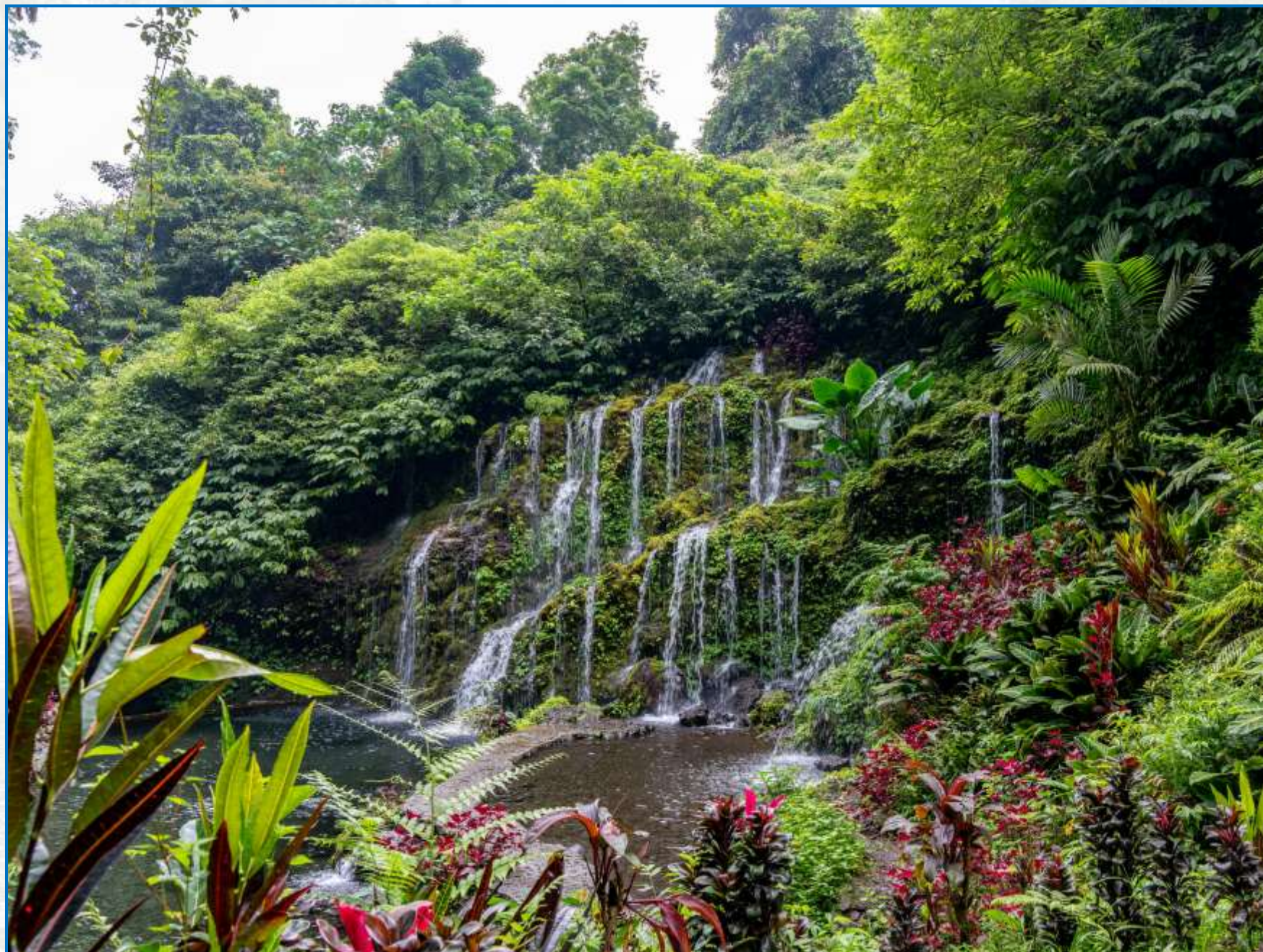


VI. Procesy egzogeniczne

4. Rzeźbotwórcza działalność rzek

Rzeki i działalność rzeźbotwórcza rzek

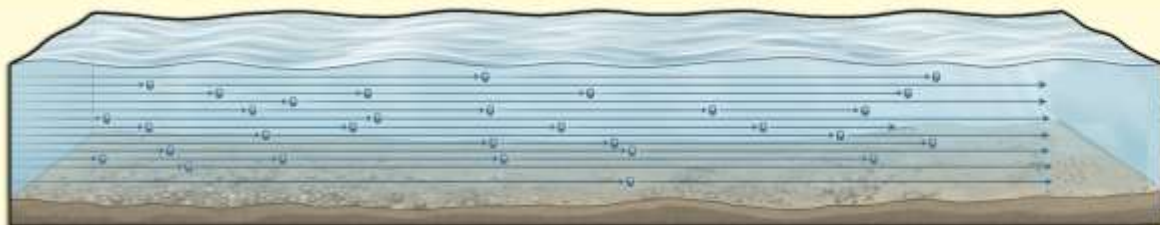
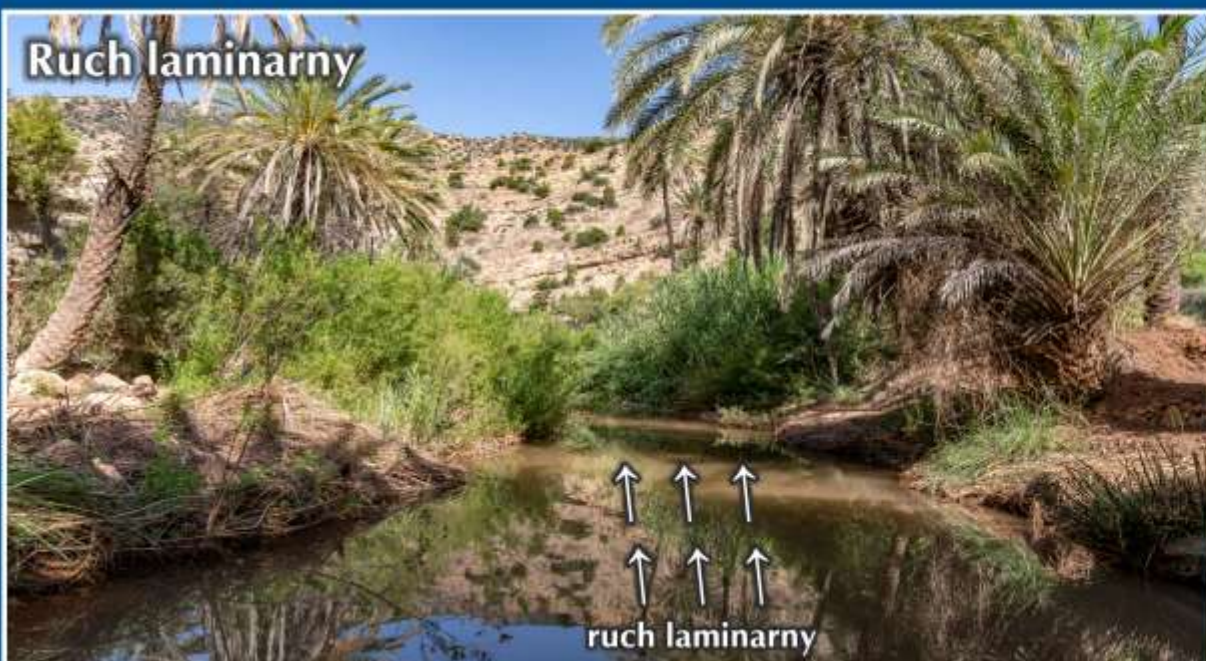
- **Rzeki** – należą do głównych czynników kształtujących krajobraz naszej planety.
 - Występują na wszystkich kontynentach i w niemal każdej strefie klimatycznej.
- **Działalność rzeźbotwórcza rzek** przejawia się głównie poprzez:
 - niszczenie podłoża oraz brzegów koryta, czyli **erozję**,
 - **transport** materiału skalnego,
 - osadzanie materiału, czyli **akumulację**.
- Warunkiem zachodzenia tych procesów jest **ruch wody**.
 - Płynąca woda oddziałuje na podłoże i brzegi koryta, powodując ich niszczenie oraz przekształcanie rzeźby terenu.



Typy ruchu wody

→ W rzekach wyróżniamy dwa podstawowe **typu ruchu wody**:

- **ruch laminarny (spokojny)** – polega na równoległym przemieszczaniu się cząsteczek wody, których toru ruchu nie przecinają się, dzięki czemu nie dochodzi do intensywnego mieszania się wody;
- **ruchu turbulentny (burzliwy)** – występuje znacznie częściej w rzekach i charakteryzuje się chaotycznym ruchem cząsteczek po nieregularnych torach, prowadzącym do powstawania wirów oraz intensywnego mieszania się wody.



Wir wodny

- **Wir wodny** – szybki ruch obrotowy mas wody wokół osi, prowadzący do powstawania lejcowatego zagłębienia na powierzchni oraz silnych prądów skierowanych ku środkowi wiru.
- Zjawisko to powstaje najczęściej w miejscach, gdzie nurt napotyka przeszkody, gwałtownie zmienia kierunek lub przepływa przez zwężenia koryta, co sprzyja powstawaniu zawirowań.

Wir wodny



Wir wodny. Jak się zachować?



Wiry wodne mogą stanowić zagrożenie dla osób przebywających w wodzie. W przypadku dostania się pod wpływ wiru zaleca się zachowanie spokoju, unikanie gwałtownych ruchów oraz próbę wydostania się z niego po torze ukośnym, wykorzystując osłabienie prądów wirowych występujące w pobliżu dna.

Nurt rzeki

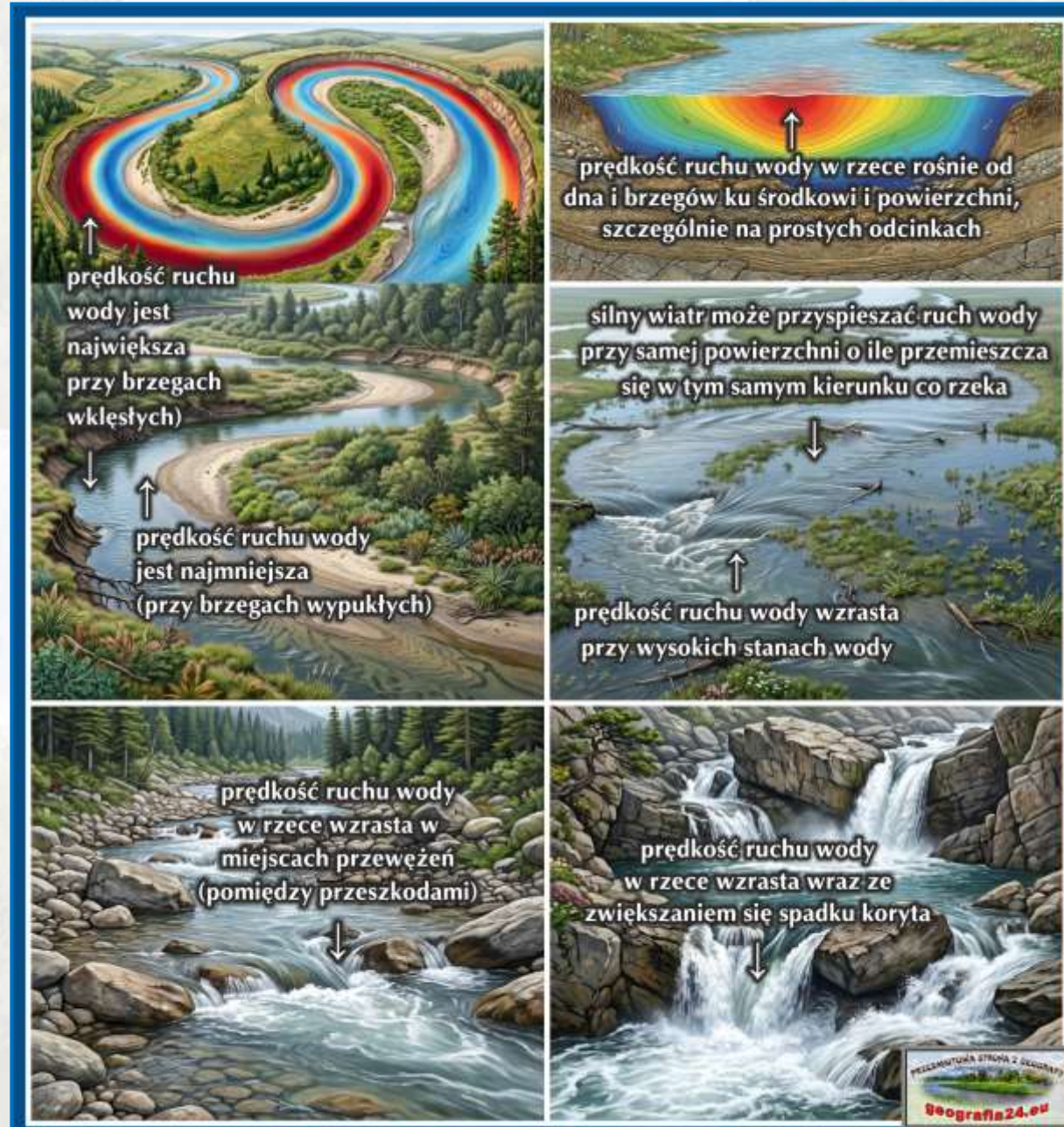
- **Nurt** – część strumienia wody w korycie rzecznym, w której prędkość przepływu jest największa.
- Ze względu na działanie siły Coriolisa, nierówności dna, zmiany szerokości i głębokości koryta oraz obecność naturalnych przeszkód nurt rzeki zwykle nie przebiega środkiem koryta, lecz jest przesunięty ku jednemu z brzegów.
- Jego położenie może zmieniać się na kolejnych odcinkach rzeki, szczególnie w obrębie zakoli, gdzie na brzegu wklęsłym nurt osiąga największą prędkość, powodując intensywniejszą erozję.



Prędkość ruchu wody w korycie rzecznym

→ **Prędkość ruchu wody** w korycie rzecznym:

- rośnie od dna ku powierzchni wraz ze zmniejszaniem się wpływu tarcia o podłoże,
- największa jest zwykle tuż pod powierzchnią wody, nad najgłębszą częścią koryta,
- podczas silnego wiatru wiejącego zgodnie z kierunkiem przepływu może być największa przy samej powierzchni;
- na prostych odcinkach rzek osiąga największe wartości w środkowej, najgłębszej części koryta, gdzie wpływ tarcia o dno i brzegi jest najmniejszy;
- maleje w kierunku brzegów wskutek wzrostu tarcia,
- w rzekach meandrujących największa jest przy brzegu wklęsłym, gdzie zachodzi intensywna erozja, a najmniejsza przy brzegu wypukłym, gdzie następuje akumulacja osadów;
- wzrasta lokalnie pomiędzy przeszkodami znajdującymi się w nurcie, takimi jak duże bloki skalne,
- wzrasta podczas wysokich stanów wody, zwłaszcza po intensywnych opadach i w okresie roztopów;
- rośnie wraz ze zwiększaniem się spadku koryta, dlatego jest zwykle większa w rzekach górskich niż nizinnych.



Niszcząca działalność rzek

→ **Działalność niszcząca rzeki** polega na:

- pogłębianiu koryta rzecznego, czyli **erozji wgłębnej i dennej**,
 - wydłużaniu doliny rzecznej poprzez cofanie się źródła, czyli **erozji wstecznej**,
 - poszerzaniu koryta rzecznego, czyli **erozji bocznej**.
- **Przebieg i rozmiary erozji rzecznej** zależą od:
- **prędkości przepływu wody**, która jest związana przede wszystkim ze spadkiem koryta i wielkością przepływu;
 - **rodzaju ruchu wody** (np. ruch laminarny i turbulentny);
 - **ilości, rodzaju i częstotliwości przemieszczania materiału skalnego**, przy czym im więcej osadów twardych i ostrokrawędzistych, tym intensywniejsza erozja;
 - **odporności podłoża na niszczenie** (np. koryto skalne i koryto aluwialne);
 - **kształtu, spadku i przebiegu koryta rzecznego**.



Erozja wgłębna

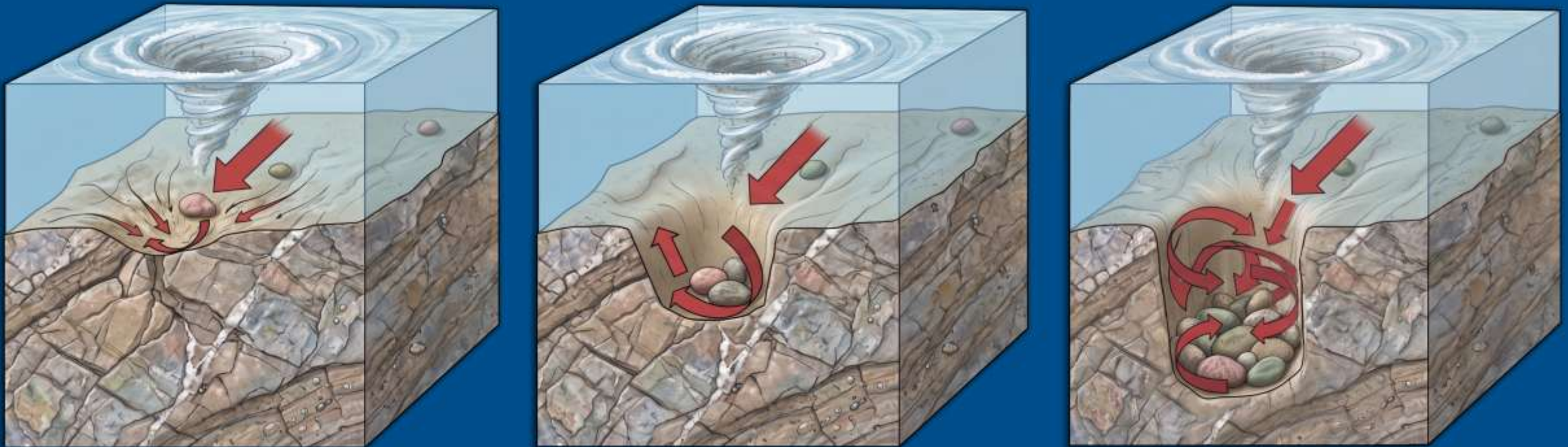
- **Erozja wgłębna** – występuje przede wszystkim na obszarach, gdzie koryta rzeczne rozwijają się **w skałach litych**, a płynąca woda powoduje ich stopniowe **rozcinanie** i **pogłębianie**.
- Jest charakterystyczna dla górnych odcinków rzek, w których spadek podłużny, czyli nachylenie dna koryta w kierunku przepływu wody, jest duży.
- Wraz ze wzrostem odległości od źródła i zmniejszaniem się spadku koryta intensywność erozji wgłębnej zazwyczaj maleje na rzecz innych procesów kształtujących koryto i dolinę rzeczną.



A. Eworsja

- **Eworsja** – proces niszczenia dna koryta rzecznego zachodzący wskutek szorowania i uderzania o podłoże okruchów skalnych wprowadzanych przez wodę w **ruch wirowy**.
- Zjawisko to jest napędzane przez naturalną siłę rzeki, gdzie pędzące okruchy działają niczym naturalne narzędzia rzeźbiące lity materiał dna.
- Kolisty lub zbliżony do kolistego kształt form eworsyjnych wynika bezpośrednio z ruchu wirowego wody, który powoduje równomierne ścieranie podłoża przez okruchy skalne we wszystkich kierunkach.
- Formy te występują powszechnie w wielu obszarach wysokogórskich świata (w Polsce w rzekach Tatr i Karkonoszy).

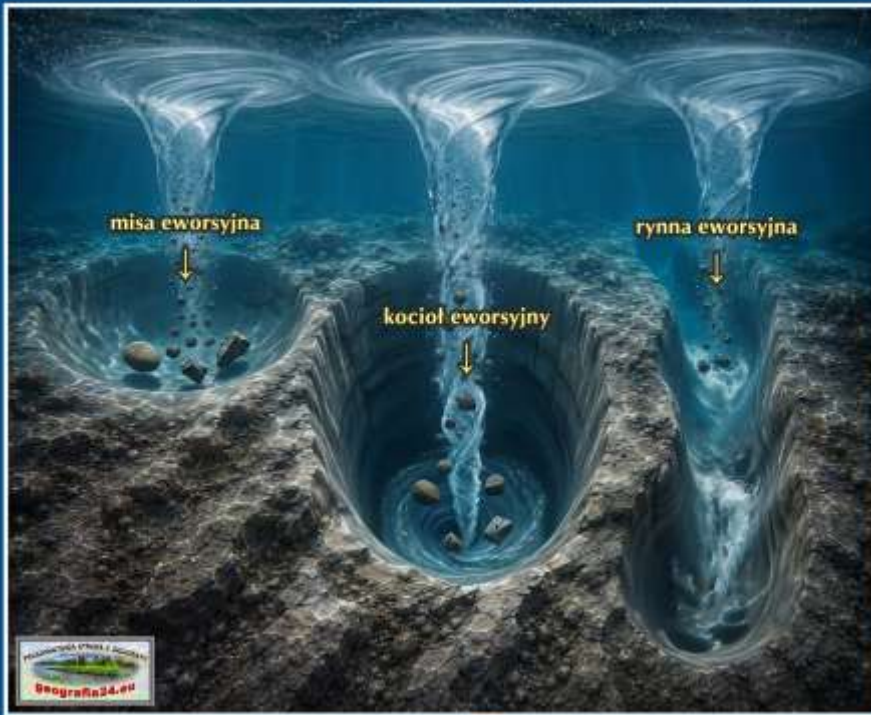
Etapy działania eworsji na dnie skalistego koryta



Formy eworsyjne

- **Proces eworsji** prowadzi do powstawania charakterystycznych form takich jak:
 - **misy eworsyjne** – szerokie i płytkie zagłębienia o łagodnych zboczach, powstające w wyniku punktowego ruchu wirowego materiału skalnego;
 - **kotły eworsyjne** – głębsze zagłębienia o stromych ścianach i stosunkowo płaskim dnie, które powstają w miejscach punktowych, silnych zawirowań wody, głównie poniżej progów rzecznych i wodospadów, a ich największe formy osiągają ponad 20 m głębokości;
 - **rynny eworsyjne** – podłużne zagłębienia wycięte w dnie rzeki, przebiegające równoległe do nurtu, które powstają zwykle w miejscach występowania spękań, wzdłuż których przesuwany jest wirujący materiał skalny.

Formy powstałe w wyniku procesu eworsji



Najgłębsze kotły eworsyjne powstają pod wodospadami



B. Abrazja

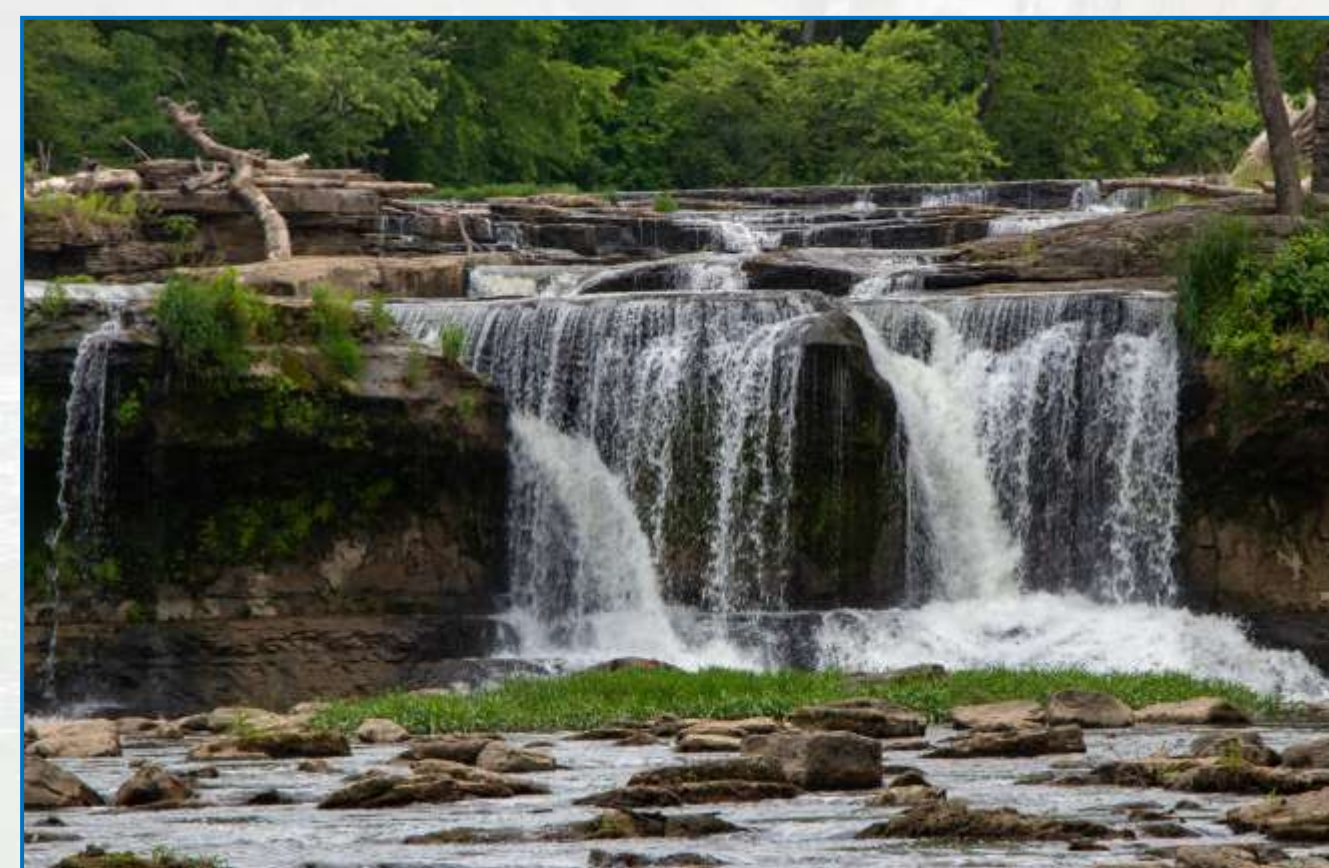
- **Abrazja** – rodzaj erozji wgłębnej polegający na mechanicznym ścieraniu i nadłupywaniu dna koryta przez materiał okruchowy transportowany przez rzekę.
- Okruchy skalne przemieszczane przez nurt szorują po podłożu oraz uderzają o nie i o siebie nawzajem, powodując stopniowe pogłębianie koryta oraz powstawanie długich **rynien abrazyjnych**.
- W trakcie transportu materiał skalny ulega zaokrąglaniu, tworząc **otoczaki**.
- Procesy erozji, transportu i akumulacji materiału rzecznoego prowadzą do utworzenia zróżnicowanych form dna koryta:
 - **bystrze** – odcinków o płytkiej wodzie i dużej prędkości przepływu, występujących zwykle pomiędzy przeszkodami w korycie lub w miejscach nagromadzenia grubszego materiału skalnego;
 - **plos** – głębszych odcinków koryta, leżących zwykle w pobliżu brzegu wklęsłego, tuż za przeszkodami i w szerszych odcinkach rzek.

Formy powstałe w wyniku procesu abrazji



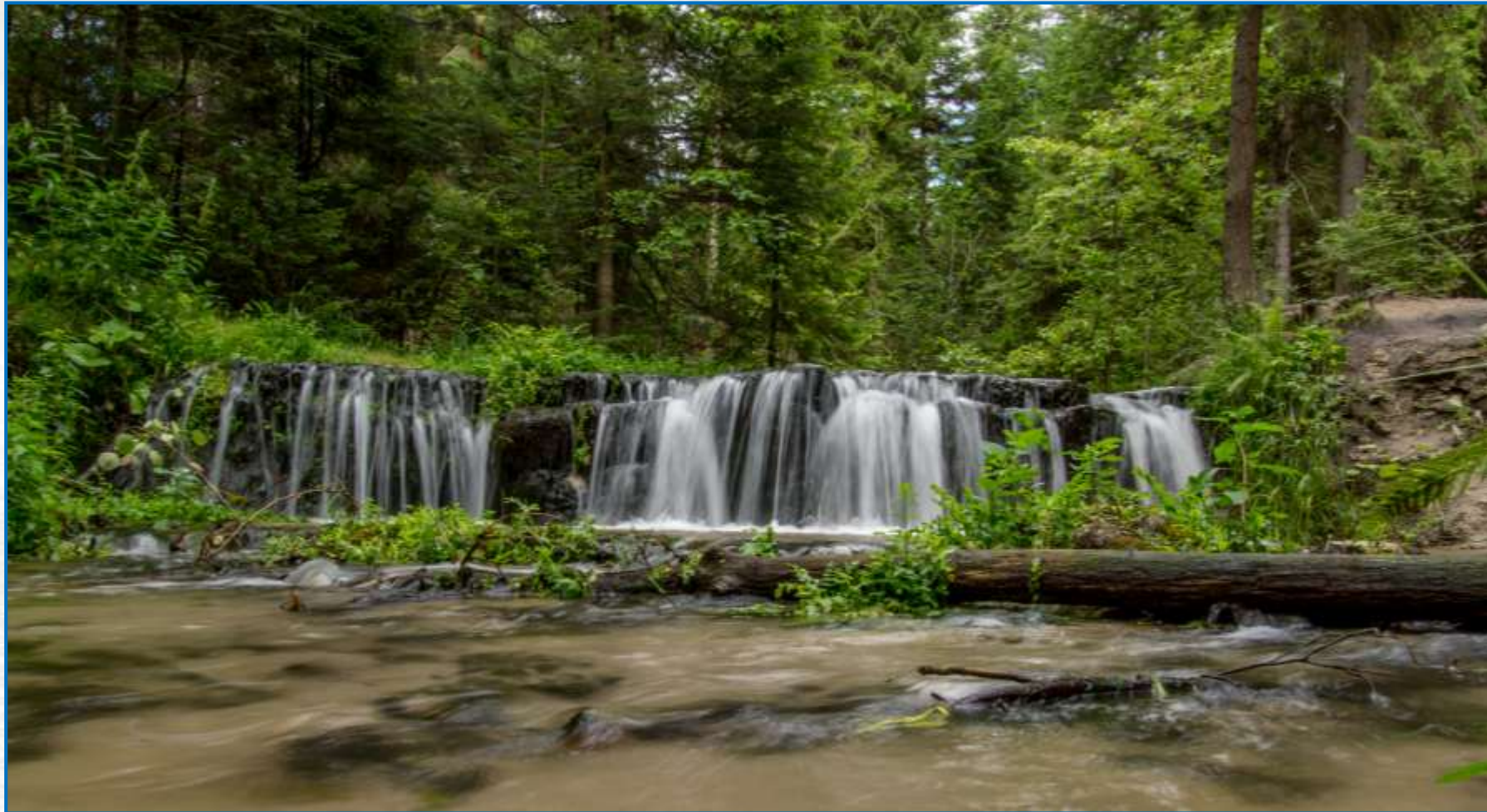
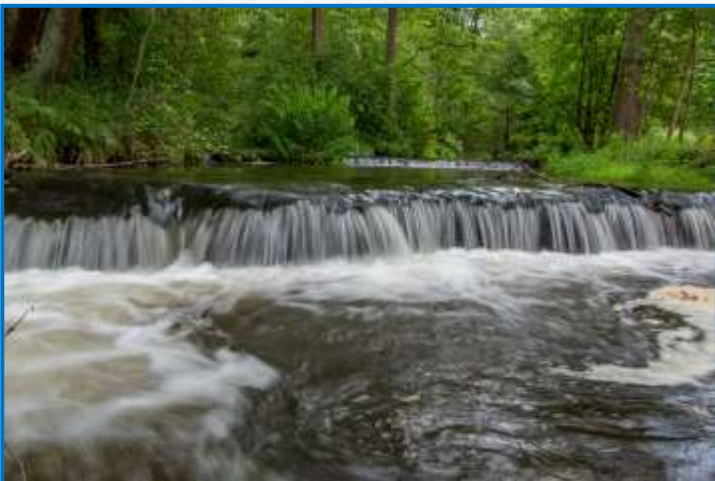
Katarakty

- **Katarakty** – odcinki rzek o bardzo dużym spadku, w obrębie których nurt pokonuje liczne skalne progi, tworząc system bystrzy i niewielkich kaskad.
- Powstają w miejscach występowania skał odpornych na niszczenie, często pochodzenia magmowego lub metamorficznego, a ich rozwój jest związany z działalnością erozji wgłębnej (m.in. abrazji i eworsji) i erozji wstecznej.
- Jednym z najbardziej znanych przykładów są katarakty Nilu w Afryce (zaliczamy do nich 6 obiektów).



Żebra skalne – szумы (szypoty)

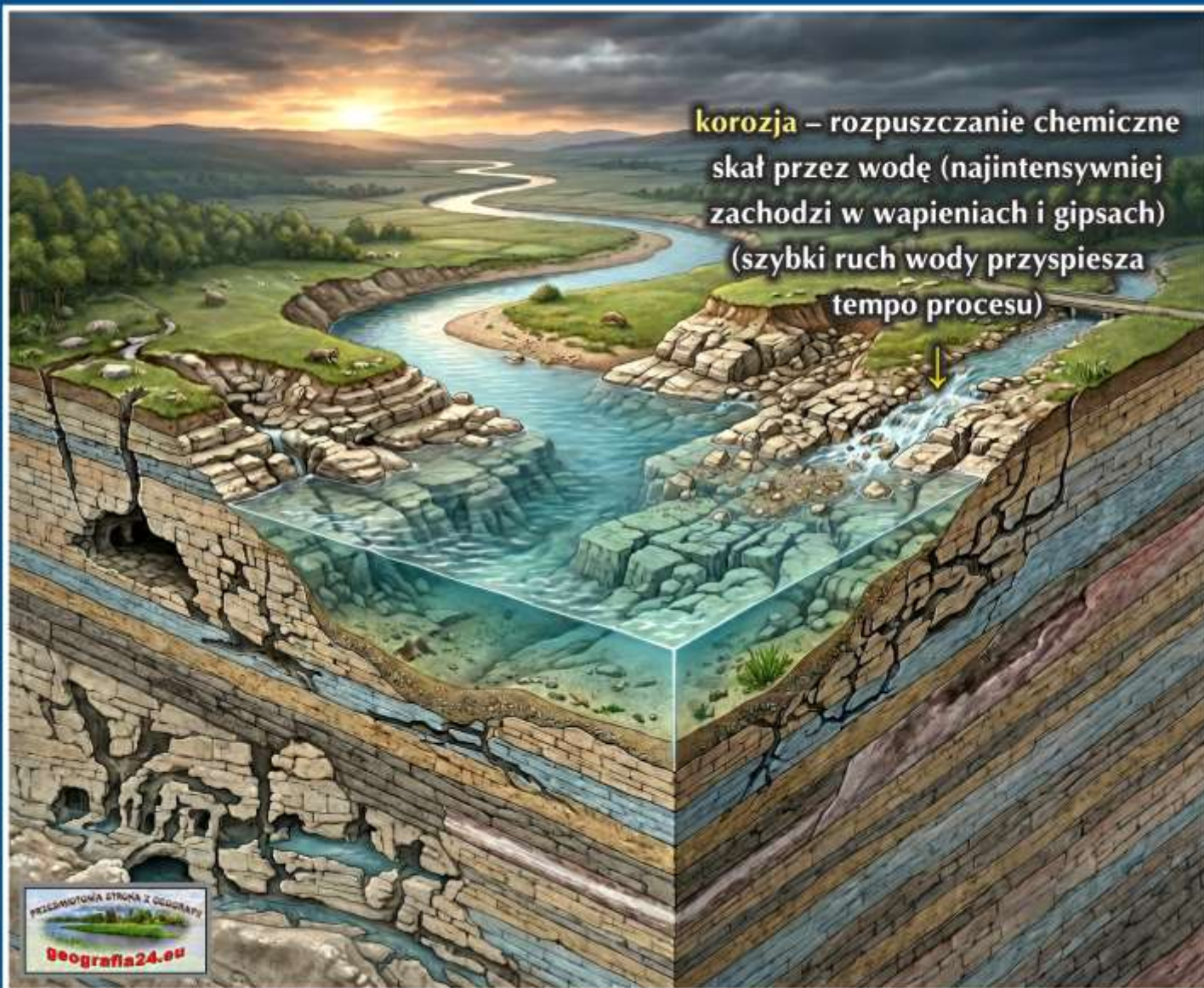
- **Żebra skalne** – zespoły równoległych progów skalnych występujących w korytach rzek, najczęściej wykształconych w skałach osadowych, które nadają nurtowi **charakter kaskadowy**.
- W Polsce występują między innymi na Tanwi na Roztoczu, gdzie są nazywane **szumami** lub **szypotami**.
- Większość tworzących je progów jest stosunkowo niska i zwykle nie przekracza kilkunastu centymetrów wysokości, jednak największe mogą osiągać nawet kilka metrów wysokości.



C. Korozja

- **Korozja** – rodzaj erozji chemicznej polegający na rozpuszczaniu przez wodę składników mineralnych skał.
- Najintensywniej zachodzi w obrębie skał wapiennych, dolomitowych, kredowych, gipsowych i solnych, szczególnie wtedy, gdy woda zawiera rozpuszczony dwutlenek węgla oraz porusza się ze znaczną prędkością.
- Proces ten prowadzi do stopniowego osłabiania i niszczenia podłoża skalnego, ułatwiając jego dalsze przekształcanie przez inne rodzaje erozji rzecznej.

Korozja i jej wpływ na kształtowanie dna rzecznego

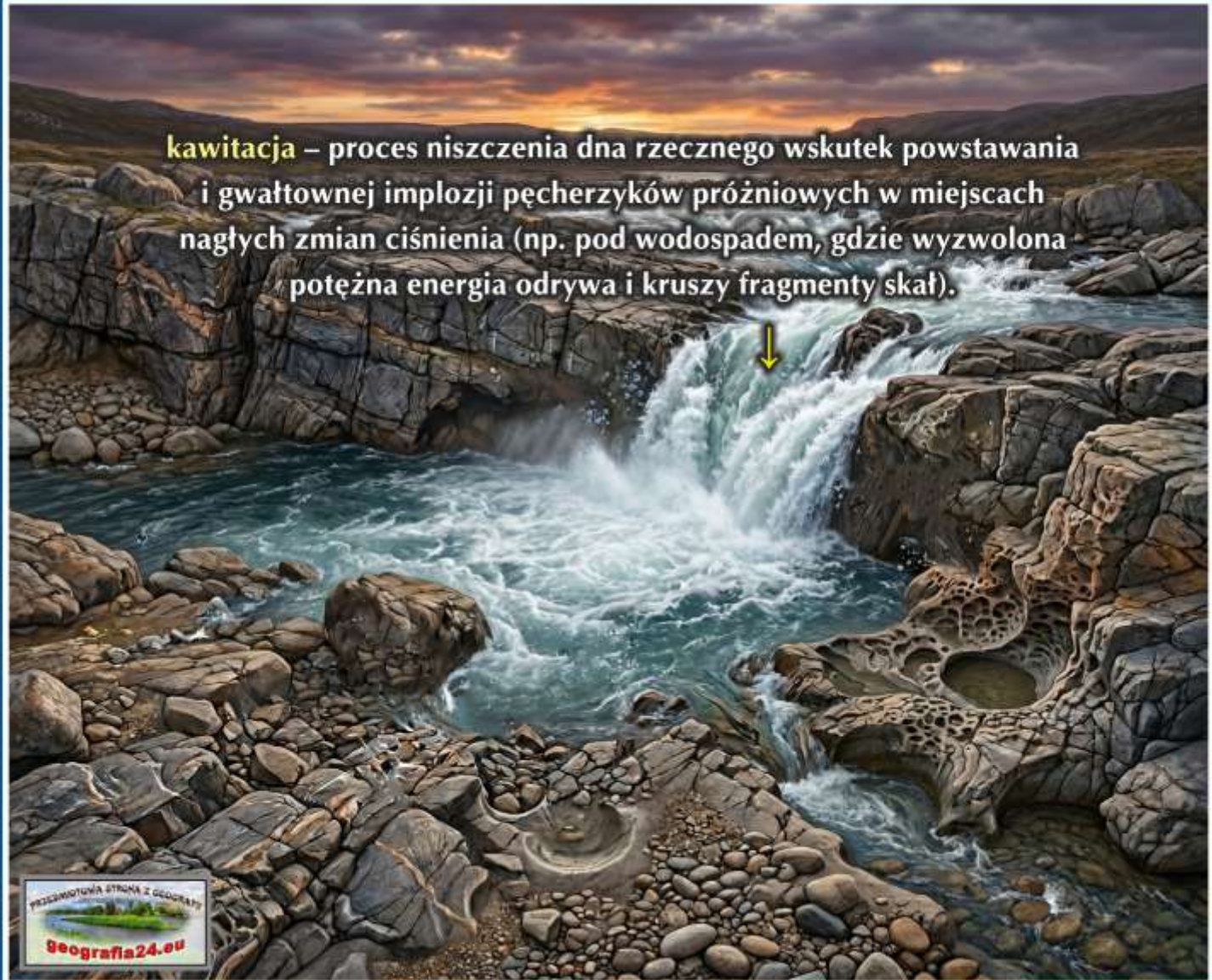


D. Kawitacja

- **Kawitacja** – proces prowadzący do odrywania poszczególnych okruchów skalnych w obrębie koryta rzecznego.
- Zachodzi wskutek powstawania i gwałtownego zanikania pęcherzyków próżniowych (gazów) w wodzie, czemu towarzyszy wyzwalamie dużych ilości energii powodującej niszczenie podłoża skalnego.
- Proces ten występuje głównie w miejscach bardzo szybkiego przepływu wody i gwałtownych zmian ciśnienia, np. w pobliżu wodospadów i progów skalnych.

Kawitacja i jej wpływ na erodowanie koryta rzecznego

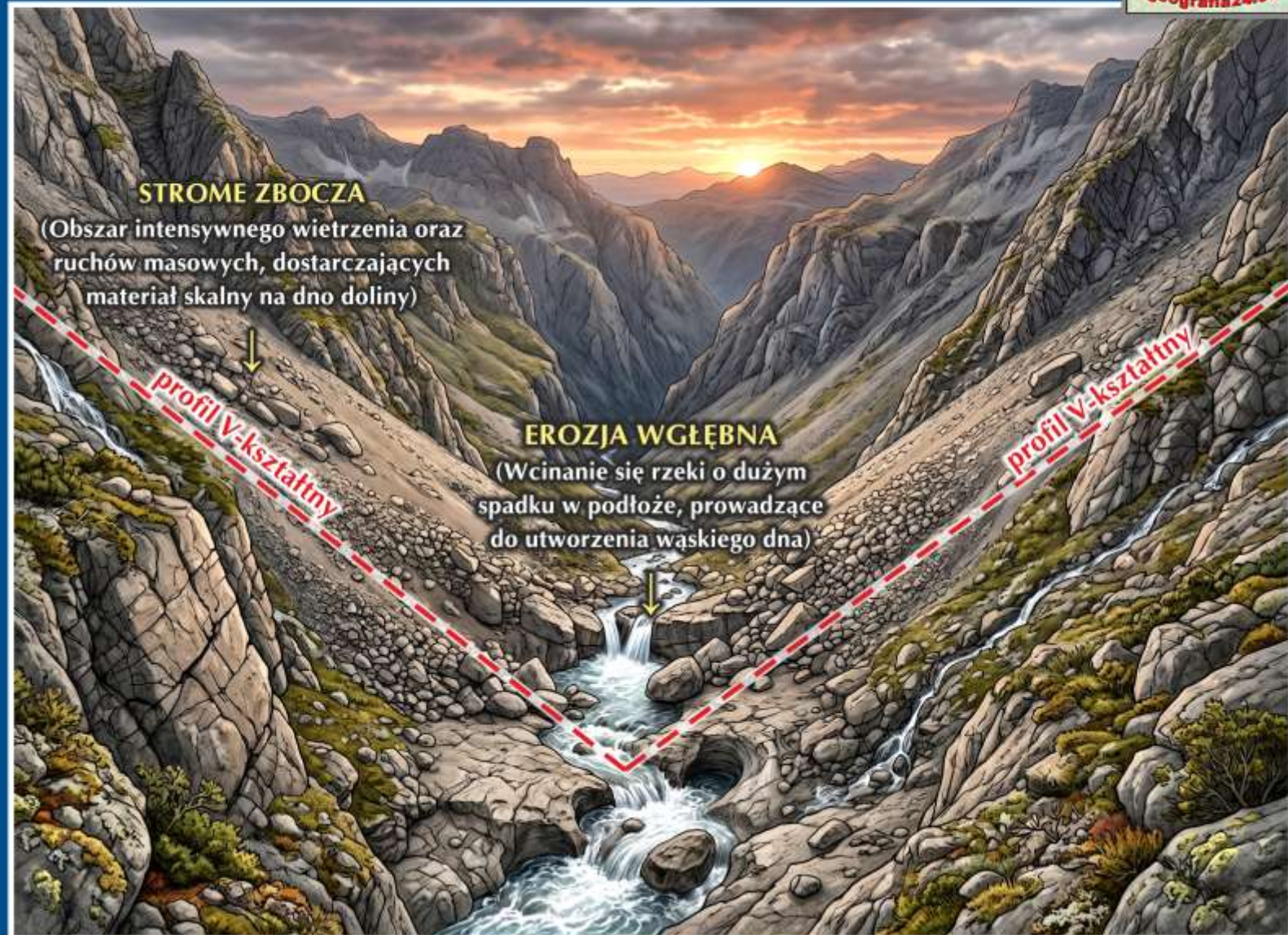
kawitacja – proces niszczenia dna rzecznego wskutek powstawania i gwałtownej implozji pęcherzyków próżniowych w miejscach nagłych zmian ciśnienia (np. pod wodospadem, gdzie wyzwolona potężna energia odrywa i kruszy fragmenty skał).



Profil V-kształtny efektem erozji wgłębnej

- Różne **procesy erozji wgłębnej** prowadzą do powstawania dolin rzecznych o przekroju poprzecznym przypominających **literę V**, określanych mianem **dolin V-kształtnych** (szczególnie w górach).
- Są one charakterystyczne dla górnych biegów rzek, gdzie duży spadek koryta sprzyja intensywnemu pogłębianiu dna przez płynącą wodę, a dominującymi ciekami są potoki.
- Wyróżniają się one stromymi zboczami, na których często zalega materiał zwietrzelinowy przemieszczany przez grawitację i wąskim dnem zajmowanym przez koryto rzeczne.
- Ich charakterystyczny kształt wynika z przewagi erozji wgłębnej nad erozją boczną, co powoduje, że rzeka znacznie szybciej pogłębia swoje koryto niż poszerza dolinę.

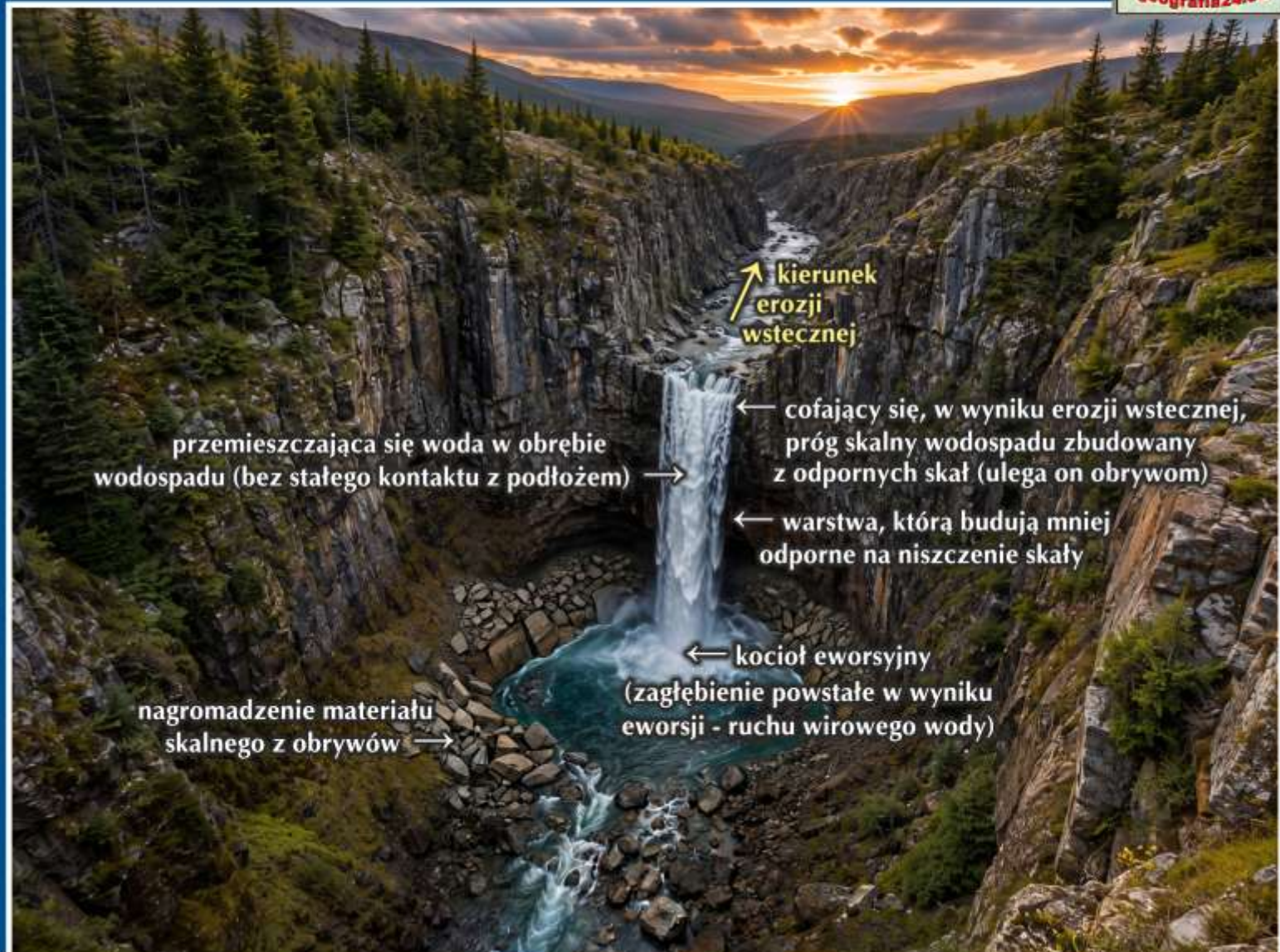
Dolina V-kształtna. Efekt dominacji erozji wgłębnej



Erozja wsteczna

- **Erozja wsteczna** – prowadzi do stopniowego cofania się progów skalnych w górę doliny rzecznej.
- Określenie to odnosi się do kierunku działania erozji w obrębie odcinków koryta o zwiększonym spadku podłużnym, zwanych **odcinkami załomowymi**.
- Proces ten powoduje wydłużanie doliny rzecznej i przesuwanie źródeł rzeki w kierunku **działu wodnego**.
- Skutki erozji wstecznej są świetnie widoczne w obrębie stopniowo cofających się **wodospadów**.
- W ich obrębie strumień wody spada w powietrzu, bez stałego kontaktu z podłożem.
- W ich podnóża, w wyniku **eworsji** powstaje **kocioł eworsyjny** i podcinana jest podstawa wodospadu, co prowadzi do obrywania jego górnej części i dalszego **cofania się progów skalnych**.

Cofanie się wodospadu w wyniku erozji wstecznej



Cofanie się progu skalnego wodospadu w wyniku erozji wstecznej

Etapy cofania się wodospadu i progów skalnych w wyniku erozji wstecznej



- **Cofanie się wodospadu (erozja wsteczna)** polega na wyżłobieniu dna u jego podstawy, co skutkuje podmywaniem miękkich skał i powstawaniem twardego nawisu.
- **Obrywy** pozbawionych podparcia nawisów cofają próg w górę rzeki, rzeźbiąc za nim głęboki **kanion**.
 - Cykl ten powtarza się nieustannie, wcinając się w podłoże i drastycznie zmieniając krajobraz doliny rzecznej.
 - Proces ten będzie trwał aż do momentu, gdy zniknie warstwa twardych skał, rzeka wyschnie lub całkowicie wyrówna swój spadek (osiągnie **profil równowagi**) – nastąpi to na przykład wtedy, gdy cofający się próg skalny dotrze do jeziora, które stając się **lokalną bazą erozyjną**, ostatecznie zatrzyma erozję i zakończy istnienie wodospadu.

Wodospad Niagara (Stany Zjednoczone/Kanada)

- **Wodospadu Niagara** – jeden z najbardziej znanych wodospadów świata o wysokości 51 m, leżący na granicy Kanady i Stanów Zjednoczonych, na rzece Niagara o długości 55 km, łączącej jeziora Erie i Ontario.
- Powstał około 12 tysięcy lat temu, po ustąpieniu z tego obszaru ostatniego zlodowacenia kontynentalnego, a od tego czasu jego próg cofnął się już o około 11 km.
- Obecnie tempo cofania wodospadu wynosi średnio około 0,8 m rocznie, choć w wyniku prac hydrotechnicznych jest ono znacznie mniejsze niż w przeszłości.
- Szacuje się, że dalsza erozja może w przyszłości doprowadzić do stopniowego obniżania poziomu jeziora Erie, a w bardzo odległej perspektywie nawet do jego zdrenowania.



Wodospad Iguazú

- **Wodospad Iguazú** – jeden z największych zespołów wodospadów na świecie, położony na granicy Argentyny i Brazylii, na rzece Iguacu, przecinającej krawędź płaskowyżu Planalto Meridional.
- Powstał w obrębie odpornych na niszczenie skał wulkanicznych, głównie bazaltów, a jego rozwój jest związany między innymi z procesami erozji wstecznej.
- Wodospad znajduje się w szerokiej dolinie rzecznej osiagającej miejscami 2–3 km szerokości i składa się z około 275 odrębnych progów skalnych, z których najwyższy osiąga 82 m wysokości.
- Średni przepływ wody wynosi około 1750 m³/s, a huk spadającej wody może być słyszalny nawet z odległości około 20 km.



Wodospad Salto Ángel

- **Wodospad Salto Ángel** – najwyższy wodospad na świecie, położony na rzece Churún (w dorzeczu Caroní) na Wyżynie Gujańskiej w Wenezueli.
- Jego wysokość wynosi 979 m, choć według innych źródeł osiąga aż 1054 m.
- Wodospad spada z krawędzi płaskowyżowej góry stołowej Auyán-tepui i mimo stosunkowo niewielkiego przepływu wody jest uznawany za jeden z najpiękniejszych wodospadów świata.
- Stanowi jedną z najważniejszych atrakcji turystycznych Wenezueli.
- Został poznany przez świat stosunkowo późno – w połowie lat 30. XX wieku zwrócił na niego uwagę amerykański pilot James (Jimmie) Angel, od którego nazwiska pochodzi jego nazwa.



Wodospady Wiktorii

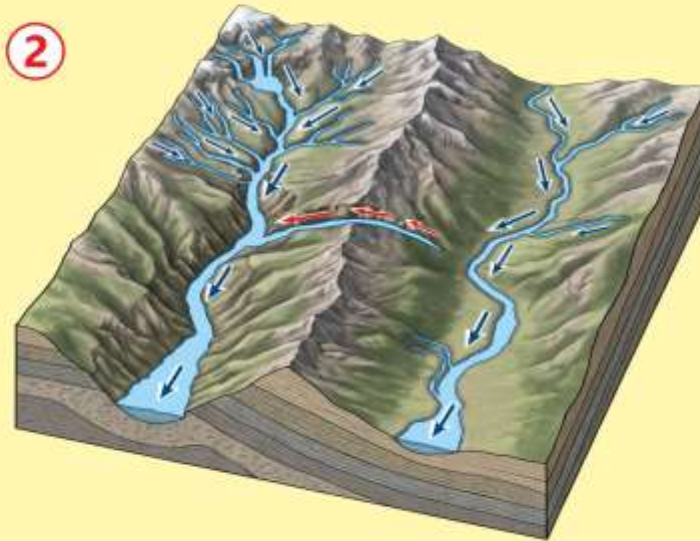
- **Wodospady Wiktorii** – jedne z największych i najbardziej spektakularnych wodospadów świata, położone na rzece Zambezi, na granicy Zambii i Zimbabwe, powstałe dzięki erozji wstecznej.
- Zostały spopularyzowane w połowie XIX wieku przez brytyjskiego podróżnika Davida Livingstone'a.
- W tym miejscu rzeka gwałtownie spada z bazaltowego progu skalnego o szerokości około 1,7 km do wąskiego i głębokiego kanionu, osiągając maksymalną wysokość 108 m.
- W porze deszczowej przez krawędź wodospadu przepływa nawet około 9 mln litrów wody na sekundę, co powoduje powstawanie ogromnych ilości mgły wodnej widocznej z odległości kilkudziesięciu kilometrów.
- Wodospady te stopniowo cofają się, pozostawiając za sobą system głębokich kanionów wyciętych przez rzekę.



Kaptaż rzeczny

- **Kaptaż rzeczny** – zjawisko polegające na przejściu wód jednej rzeki przez drugą.
- Dochodzi do niego wtedy, gdy rzeka cechująca się większym spadkiem i silniejszą **erozją wsteczną** przecina dział wodny oraz przechwytuje górny odcinek sąsiedniej rzeki o mniejszej sile erozyjnej.
- Kaptaż zmienia się przebieg sieci rzecznej – wody przechwyconej rzeki zaczynają odpływać do innego dorzecza.
- Zjawisko to występuje najczęściej na obszarach górskich i wyżynnych, gdzie erozja wsteczna jest bardzo intensywna.
- Przykłady kaptażu rzeczego w Polsce:
 - **Góry Świętokrzyskie** – np. przełom Lubrzanki,
 - **Beskidy** – np. przełom Soły,
 - **Sudety** – np. przełom Białej Łądeckiej.

Etapy erozji wstecznej i kaptażu rzeczego



Erozja denną

- **Erozja denną** – proces polegający na **rozmywaniu, odrywaniu i wymywaniu luźnych osadów** zalegających na dnie koryta rzecznego.
- Zachodzi głównie w korytach aluwialnych o małym spadku, typowych dla środkowego i dolnego biegu rzeki.
- Zjawisko to występuje w miejscach, gdzie dno zbudowane jest z materiału zdeponowanego wcześniej przez wodę (tzw. aluwiiów), takiego jak żwir, piasek czy muł.
- W przeciwieństwie do erozji wgłębnej, erozja denną nie prowadzi do niszczenia litego podłoża skalnego i wcinania się rzeki w dno doliny.
- Polega wyłącznie na usuwaniu naniesionych osadów, co skutkuje pogłębianiem i przekształcaniem samego koryta.
- Proces ten nasila się szczególnie podczas wezbrań, gdy wraz z wysokim stanem wody drastycznie wzrasta prędkość przepływu i siła nośna rzeki.



Proces erozji dennej

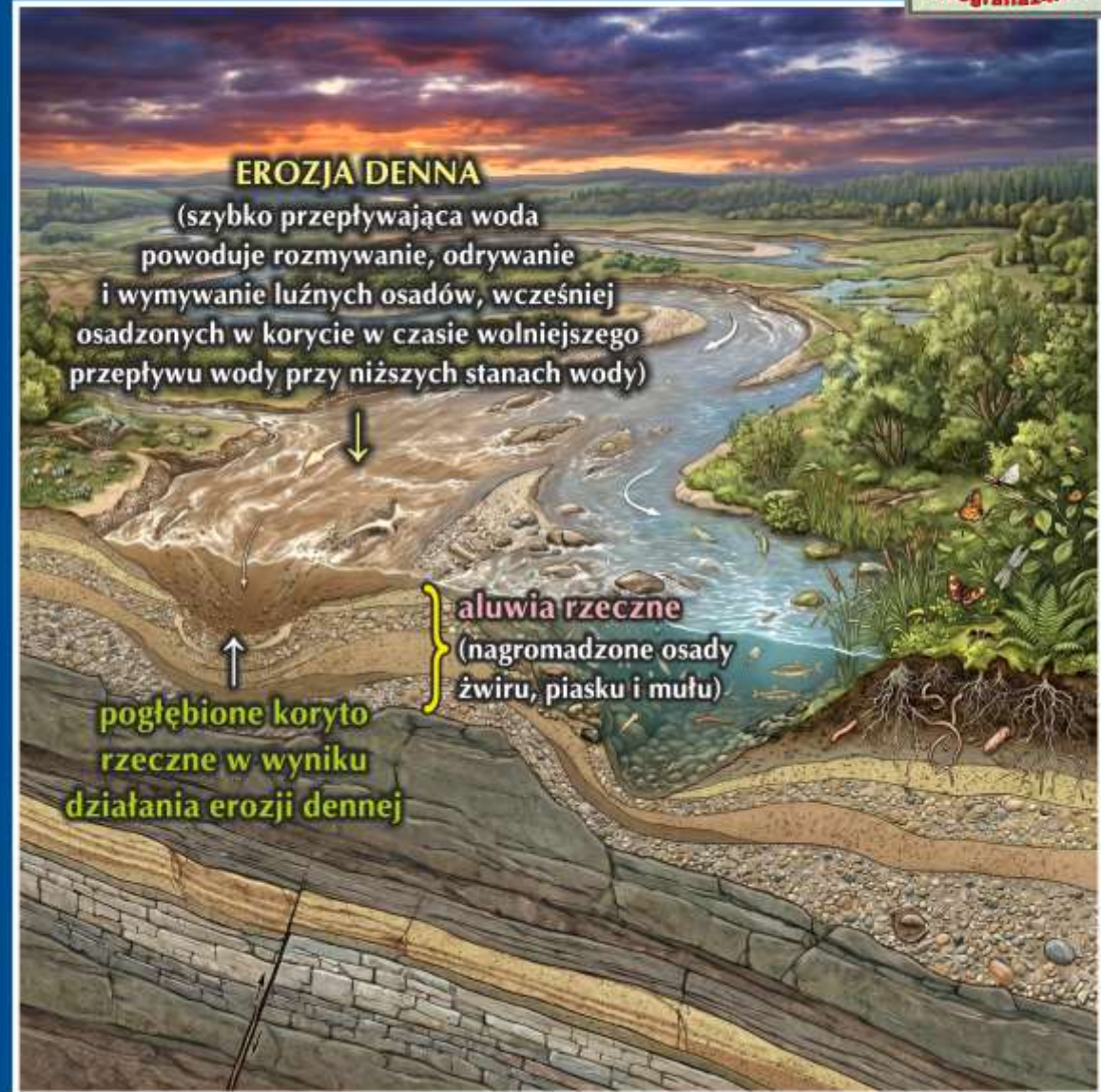


EROZJA DENNA

(szybko przepływająca woda powoduje rozmywanie, odrywanie i wymywanie luźnych osadów, wcześniej osadzonych w korycie w czasie wolniejszego przepływu wody przy niższych stanach wody)

aluwia rzeczne
(nagromadzone osady żwiru, piasku i mułu)

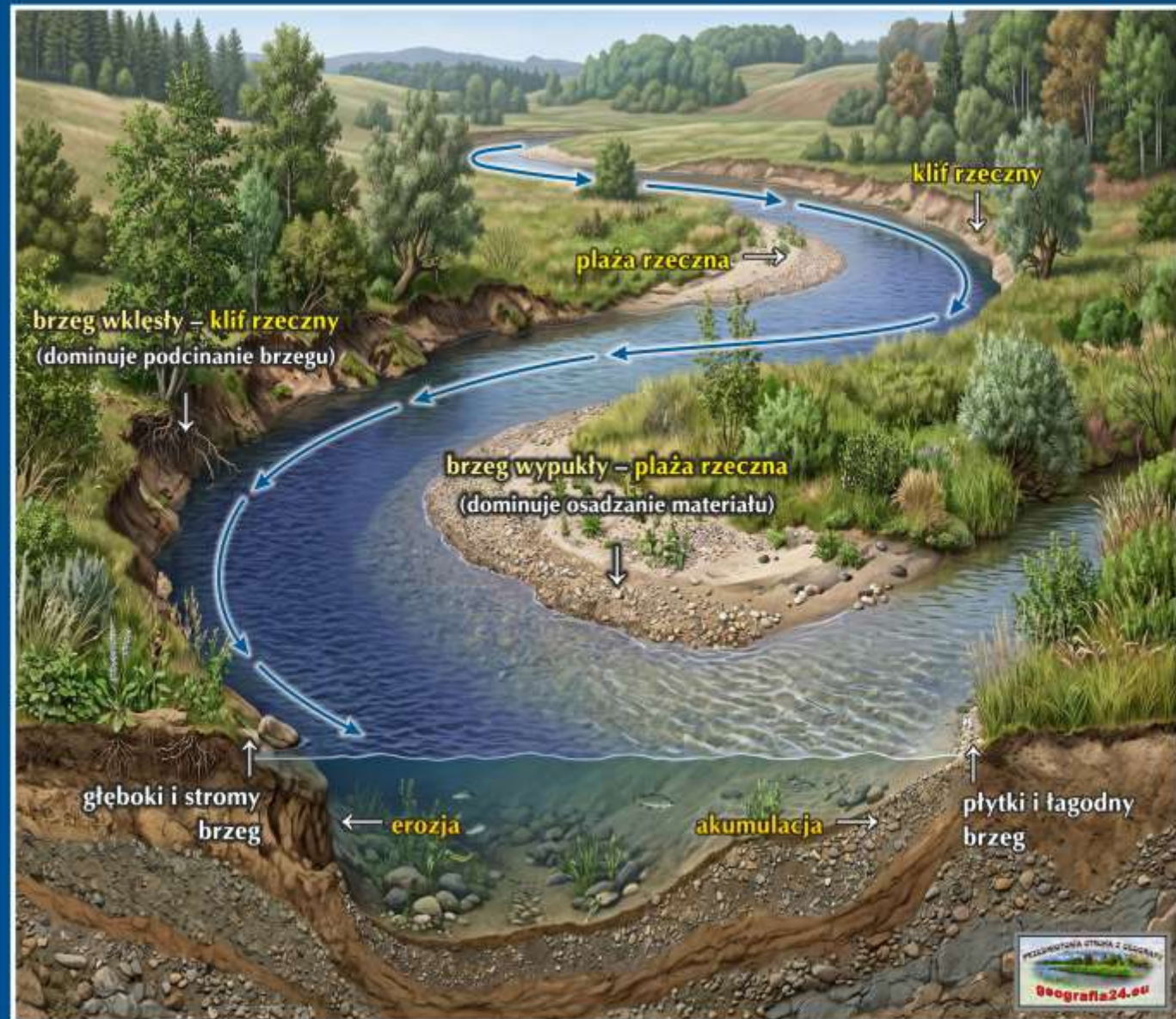
pogłębione koryto rzeczne w wyniku działania erozji dennej



Erozja boczna

- **Erozja boczna** – polega na podcinaniu i rozmywaniu brzegów koryta rzecznego przez płynącą wodę i niesiony przez nią materiał skalny.
- Dominuje ona w **środkowym biegu rzeki**, gdzie proces pogłębiania koryta ustępuje stopniowo jego poszerzaniu.
- W rzekach płynących prostolinijnie erozja boczna zachodzi stosunkowo wolno, ponieważ nurt rzeki znajduje się w środkowej części koryta.
- Znacznie intensywniej przebiega ona w rzekach krętych, których koryta są wykształcone w luźnych osadach.
- W takich warunkach nurt przemieszcza się od jednego brzegu do drugiego, powodując silne **podcinanie brzegów wklęsłych (erozję)** i **osadzanie materiału przy brzegach wypukłych (akumulację)**.
- W efekcie po stronie brzegu wklęsłego powstają strome **klify rzeczne**, natomiast po stronie brzegu wypukłego rozwijają się **plaże rzeczne**.
- Powoduje to wyraźną **asymetrię koryta** – przy brzegu wklęsłym jest ono **głębokie i strome**, a przy brzegu wypukłym **płytkie i łagodne**.

Rzeźbotwórcza działalność rzeki w biegu środkowym i dolnym



Rozwój meandrów i starorzeczy

- **Rozwój meandrów (zakoli rzecznych)** następuje wskutek stałego podcinania brzegów wklęsłych przez nurt rzeki.
- W obrębie **klifów rzecznych**, zwanych także **amfiteatrami**, powstają **podciosy** i **nisze**, które prowadzą do **obrywów**.
- Materiał skalny i osadowy jest następnie transportowany przez rzekę i deponowany (akumulowany) po przeciwnej stronie koryta, w obrębie **brzegów wypukłych (ostróg)** i **plaż rzecznych**.
- W wyniku jednoczesnej erozji brzegów wklęsłych i akumulacji osadów przy brzegach wypukłych **meandry** stopniowo się wydłużają, a ich **szyje meandru** ulegają zwężeniu.
- W pobliżu szyi meandru często powstają **mielizny** i przybrzeżne **wyspy**, zwane **łachami korytowymi**.
- Podczas gwałtownych **wezbrań** rzeka może przerwać szyję meandru i utworzyć nowe, krótsze koryto.
- Towarzyszy temu akumulacja osadów w postaci **wału przykorytowego**, który odgradza odcięte zakole od głównego nurtu.
- W rezultacie powstaje **starorzecze**, a bieg rzeki ulega skróceniu i wyprostowaniu.



Przełomy

- **Przełomy rzeczne** – znaczne zwężenia dolin rzecznych powstające w miejscach, gdzie rzeka przecina przeszkody terenowe wznoszące się na drodze spływu wód, takie jak pasma górskie, wyżyny czy pojedyncze wzniesienia.
- Formy te występują najczęściej na obszarach górskich i wyżynnych, gdzie rzeka zachowuje zdolność do intensywnej erozji wgłębnej.
- W ich obrębie dno doliny jest zwykle bardzo wąskie, a zbocza strome, często urwiste i wznoszące się bezpośrednio nad korytem rzeki.
- Powstanie przełomu świadczy o tym, że rzeka zdołała utrzymać swój bieg mimo zmian rzeźby terenu lub wypiętrzenia obszaru, przez który przepływa.



Przełomy antecedentne

→ **Przełomy antecedentne** – powstają wtedy, gdy na drodze wcześniej ukształtowanej doliny rzecznej następuje stopniowe wypiętrzanie obszaru górskiego.

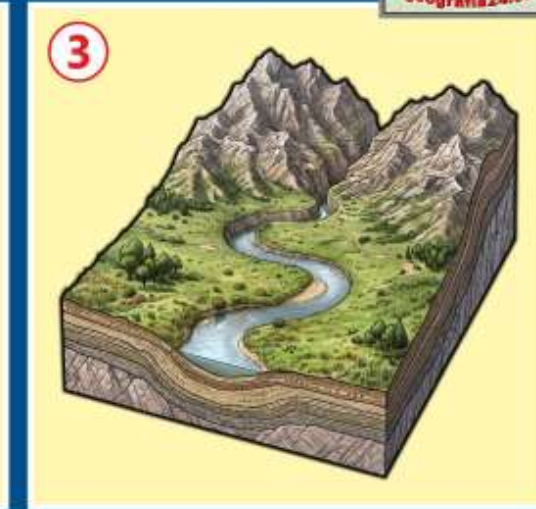
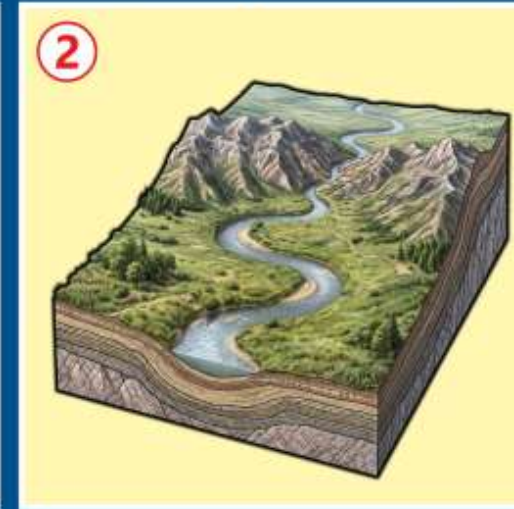
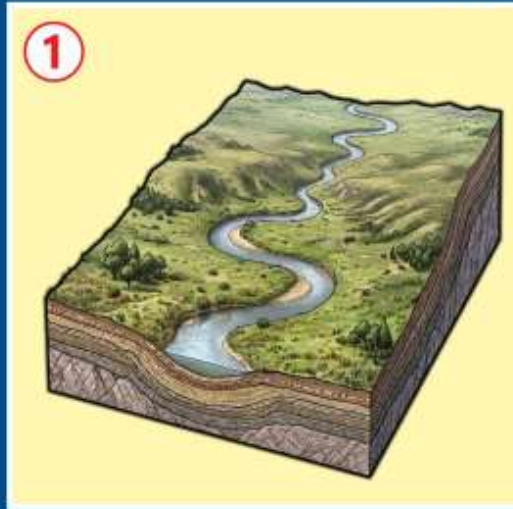
→ Rzeka, dzięki intensywnej erozji wgłębnej, nadąża z pogłębianiem swojego koryta i zachowuje dotychczasowy kierunek biegu, przecinając powstającą barierę terenową.

→ Przykład:

→ **przełom Dunajca przez Karpaty (dokładniej Pieniny)** – jego cechą jest występowanie licznych zakoli, świadczących o tym, że rzeka zachowała fragmenty dawnego, meandrującego biegu ukształtowanego jeszcze przed wypiętrzaniem Pienin;

→ **przełom Nysy Kłodzkiej przez Sudety.**

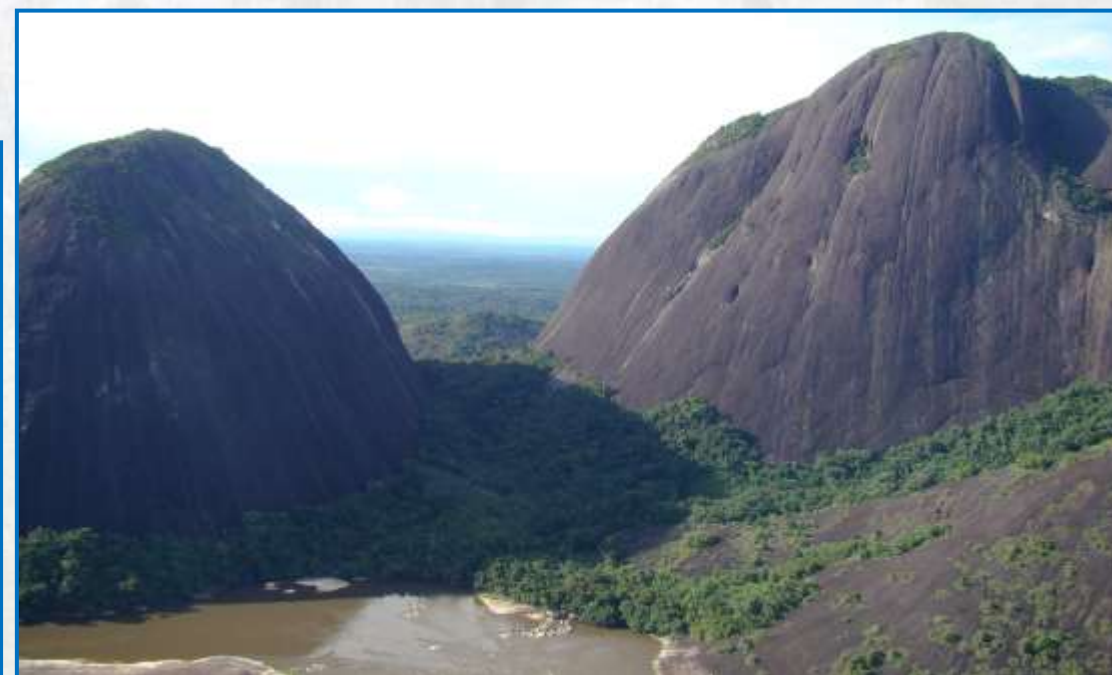
Etapy powstawania przełomów antecedentnych



Przełomy epigenetyczne

- **Przełomy epigenetyczne** – powstają wtedy, gdy rzeka początkowo płynie po pokrywie zbudowanej z podatnych na erozję osadów, a następnie w wyniku pogłębiania koryta dociera do zalegających pod nimi bardziej odpornych skał tworzących dawne wzniesienie terenu.
- Zachowując swój pierwotny bieg, rzeka wcina się w odsłonięte podłoże skalne i tworzy dolinę przełomową.
- Wzniesienie przecinane przez rzekę istniało już wcześniej (przykryte było jednak młodszymi osadami).
- Przykłady:
 - przełom Dunaju przez Masyw Czeski (przełom Wachau),
 - przełom Orinoko przez Wyżynę Gujańską.

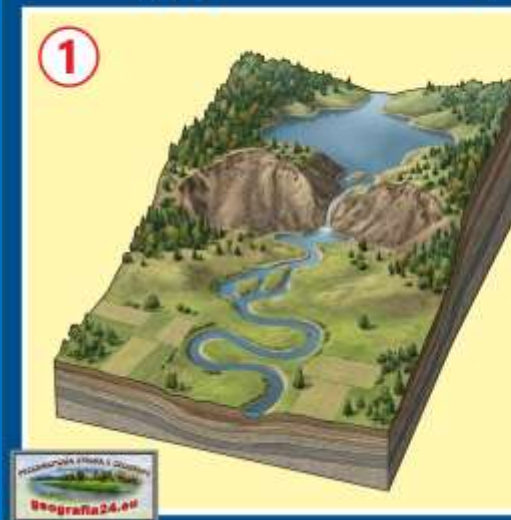
Etapy powstawania przełomów epigenetycznych



Przełomy przelewowe

- **Przełomy przelewowe** – powstają wtedy, gdy odpływ wody w rzece zostanie zablokowany przez naturalną przeszkodę, np. osuwisko, morena czołowa, wał lawowy lub inna forma terenu.
- W wyniku zatarbowania rzeki tworzy się naturalne **jezioro zaporowe**, którego wody przelewają się przez najniższy fragment przeszkody.
- Przelewająca się woda stopniowo rozcina i pogłębia tamę, tworząc dolinę przełomową.
- W miarę postępu erozji przełom ulega poszerzeniu i pogłębieniu, a jezioro zaporowe może zostać osuszone.
- Przykład:
 - **przełom Wisłoki przez Beskidy Środkowe.**

Etapy powstawania przełomów przelewowych



Przełomy regresyjne (kaptażowe)

- **Przełomy regresyjne (kaptażowe)**
 - powstają na działach wodnych oddzielających rzeki spływające w przeciwnych kierunkach.
- W wyniku intensywnej erozji wstecznej rzeka o większej sile erozyjnej stopniowo cofa swoje źródła, aż przechwytuje górny odcinek sąsiedniej rzeki cechującej się słabszą erozją.
- Proces ten, zwany **kaptażem rzeczny**, prowadzi do zmiany przebiegu sieci rzecznej oraz powstania doliny przełomowej przecinającej dział wodny.
- Przykład:
 - przełom Soły przez Beskid Mały,
 - przełom Lubrzanki przez Góry Świętokrzyskie.



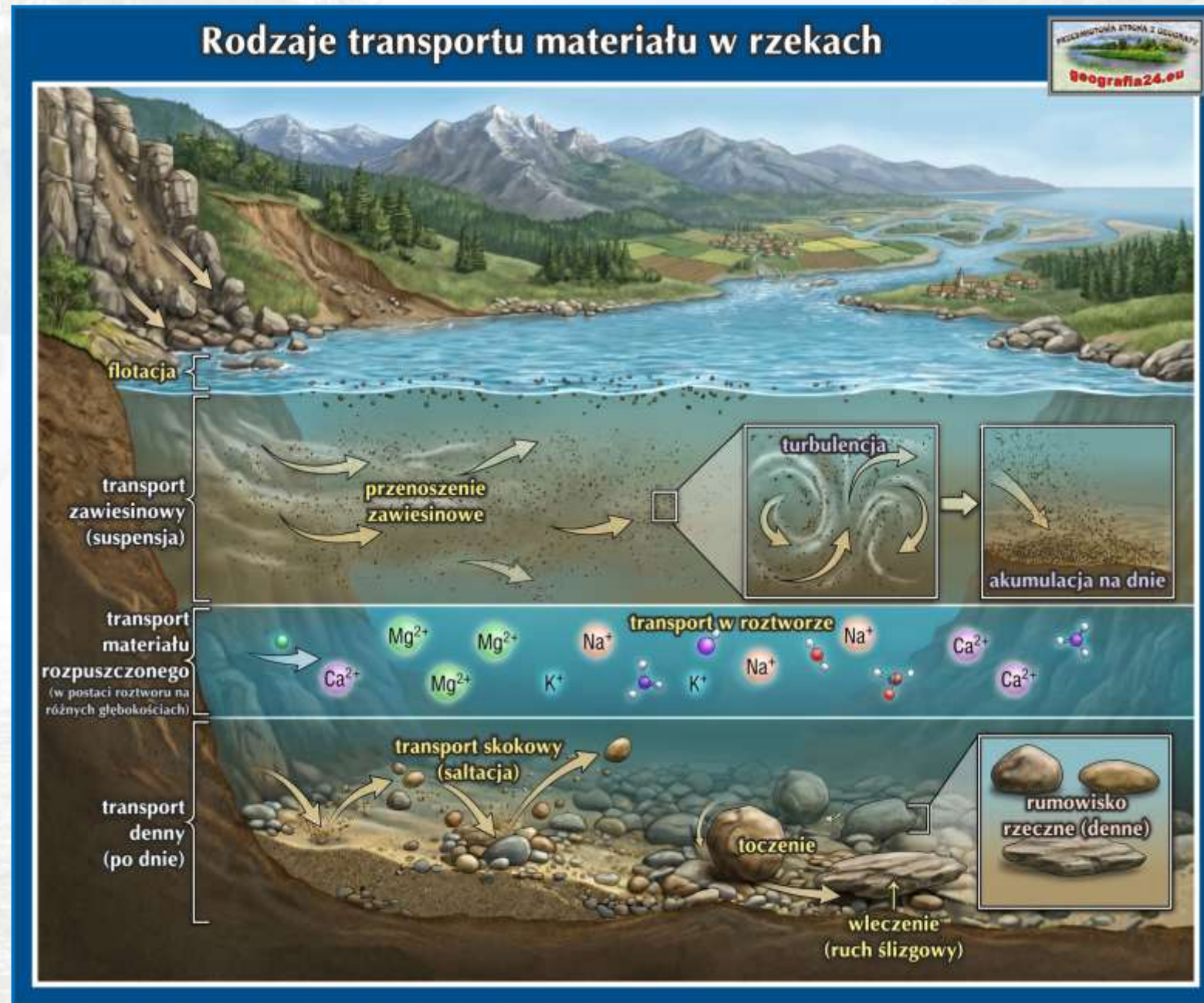
Przełomy odziedziczone

- **Przełom odziedziczony** – powstaje w obrębie dawnej pradoliny zajętej przez wody roztopowe podczas zlodowaceń.
- Po ustąpieniu lądolodu i zmianie układu sieci rzecznej rzeki zaczynają wykorzystywać istniejące już obniżenia terenu, często płynąc w innych kierunkach do przepływu dawnych wód polodowcowych.
- W rezultacie zachowany zostaje fragment dawnej doliny, który funkcjonuje jako przełom rzeczny mimo zmiany klimatu i warunków hydrograficznych.
- Przykład (występują w Polsce na obszarze ostatniego zlodowacenia):
 - **Poznański Przełom Warty.**



Transport materiału w rzekach (transport fluwialny)

- **Działalność transportowa rzeki (transport fluwialny)** – polega na ruchu materiału skalnego i osadowego pochodzącego z koryta rzecznego i dostarczanego do niego z obszarów przyległych, głównie ze stoków w wyniku grawitacyjnych ruchów masowych, spłukiwania i działalności wód opadowych.
- Transportowany materiał może mieć różną wielkość – od drobnych cząstek ilastych i mułowych po żwiry oraz większe okruchy skalne (otoczaki).
- W zależności od wielkości cząstek i możliwości transportowych rzeki przemieszcza się on w **postaci roztworu (transport materiału rozpuszczonego)**, w **zawieszeniu (transport zawiesinowy – suspensja i poprzez flotację)** lub **po dnie (transport denny)**.
- Ten ostatni rodzaj transportu odbywa się poprzez **ruch skokowy (transport skokowy – saltacja)** oraz **wleczenie i toczenie (ruch ślizgowy)**.



Transport zawieszinowy – w zawieszeniu (suspensja) i flotacja

- **Transport zawieszinowy (suspensja)** – sposób transportu najdrobniejszego materiału osadowego (zawiesiny), obejmującego głównie pyły, muły i łyły pochodzące z erozji oraz spłukiwania stoków.
 - Drobne cząstki są utrzymywane w toni wodnej dzięki ruchowi turbulentnemu, który przeciwdziała ich opadaniu na dno.
 - Gdy prędkość przepływu i intensywność turbulencji maleją, materiał ten stopniowo opada na dno i ulega akumulacji.
- **Flotacja** – szczególny rodzaj transportu polegający na utrzymywaniu się drobnych cząstek na powierzchni wody dzięki napięciu powierzchniowemu.
 - W przyrodzie występuje rzadko i dotyczy m.in. cienkich blaszek mik.
- Duża zawartość zawiesiny nadaje wodzie żółtawe lub brunatne zabarwienie, zwiększając jej mętność.
- W Polsce transport zawiesiny jest szczególnie intensywny w rzekach górskich i wyżynnych, zwłaszcza w trakcie lub po ulewach.
- W ciągu roku: **Wisła** transportuje około 1,5 mln ton zawiesiny, zaś **Huang He (Rzeka Żółta)** transportuje około 2 mld ton zawiesiny.



Transport denny – transport skokowy (saltacja), wleczenie i toczenie

- **Transport denny** – sposób przemieszczania materiału skalnego, którego ziarna są zbyt duże lub zbyt ciężkie, aby mogły być unoszone przez nurt rzeki w zawieszeniu.
- **Transport skokowy (saltacja)** – rodzaj transportu dennego, w którym ziarna wykonują krótkie skoki nad dnem koryta rzecznego.
 - Opadając, uderzają o podłoże i wybijają w górę kolejne ziarna lub okruchy skalne, sprawiając je w ruch.
- **Wleczenie i toczenie** – sposób transportu największych fragmentów materiału skalnego, takich jak żwiry i otoczaki.
 - **Okruchy o kształcie zbliżonym do kulistego** są **toczone po dnie**, natomiast **bardziej płaskie** przemieszczają się **ruchem ślizgowym**.
 - Materiał transportowany przy dnie jest określany mianem **rumowiska dennego (rzecznego)**.



Transport materiału rozpuszczonego

- **Transport materiału rozpuszczonego (transport w roztworze)** – sposób przemieszczania substancji rozpuszczonych w wodzie, występujących w postaci jonów i związków chemicznych.
- Woda rzeczna zawiera liczne jony i związki chemiczne pochodzące głównie z procesów wietrzenia chemicznego i rozpuszczania skał, np.: jony wapnia (Ca^{2+}), magnezu (Mg^{2+}), sodu (Na^{+}), potasu (K^{+}), wodorowęglanowe (HCO_3^{-}), siarczanowe (SO_4^{2-}) i chlorkowe (Cl^{-}).
- Substancje te są niewidoczne gołym okiem i przemieszczają się wraz z wodą aż do miejsca ich wytrącenia, wykorzystania przez organizmy żywe lub dopływu do jeziora, morza albo oceanu.



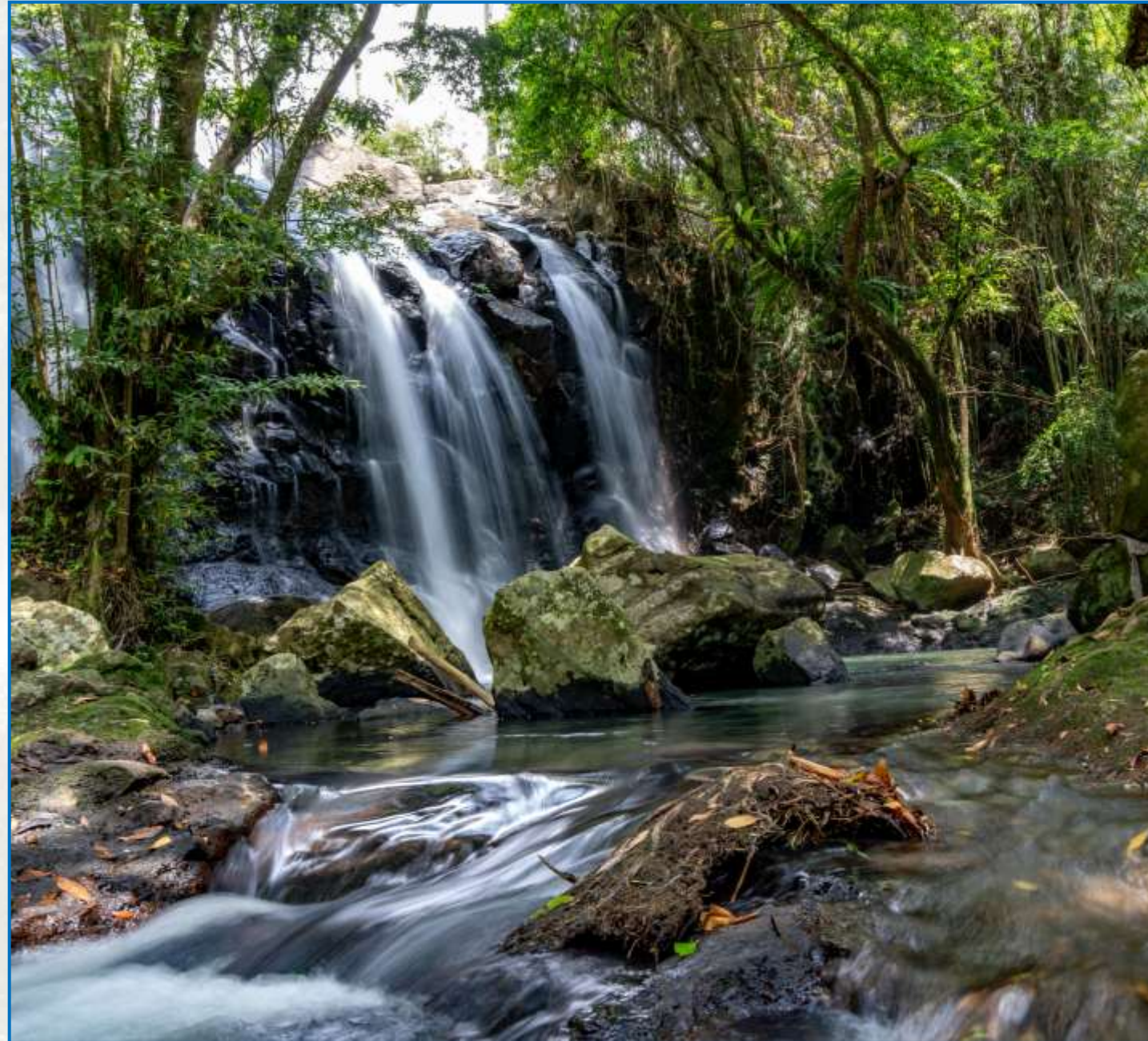
Rzeka o naturalnym żółtym zabarwieniu



Rzeka Daldykan w Rosji o sztucznym czerwonym zabarwieniu – będącym skutkiem dostania się do jej wód metali z fabryki

Działalność transportową rzek

- **Działalność transportową rzek** opisują trzy podstawowe pojęcia.
 - **Obciążenie rzeki** – całkowita ilość materiału skalnego i osadowego transportowanego przez rzekę w postaci zawiesiny, rumowiska wleczonego oraz substancji rozpuszczonych w wodzie.
 - Wielkość obciążenia zależy przede wszystkim od prędkości przepływu wody, a pośrednio od spadku terenu, ilości wody w korycie oraz oporów ruchu związanych z tarciem o dno i brzegi.
 - **Zdolność transportowa rzeki** – maksymalna masa materiału, jaką rzeka może transportować w określonych warunkach przepływu.
 - Wraz ze wzrostem prędkości przepływu i ilości wody zdolność transportowa rzeki rośnie.
 - **Wydolność rzeki** – maksymalna wielkość okruchów skalnych, jakie rzeka jest w stanie transportować.
 - Im większa prędkość przepływu, tym większe ziarna mogą być przemieszczane przez nurt.



Działalność budująca rzek – akumulacja rzeczna w postaci mielizn i łach korytowych

- **Akumulacja rzeczna** – polega na **osadzaniu (deponowaniu)** materiału transportowanego przez rzekę.
- Zachodzi wtedy, gdy **obciążenie rzeki** przekracza jej **zdolność transportową**, czyli gdy nurt nie jest już w stanie przetranszportować całego niesionego materiału.
- Osady mogą być deponowane zarówno w obrębie koryta rzecznoego, jak i poza nim, np. na terenach zalewowych w dnie doliny lub w zbiornikach wodnych, do których uchodzi rzeka.
- Akumulacja w korycie rzecznoym zachodzi przede wszystkim tam, gdzie:
 - zmniejsza się spadek koryta,
 - zmniejsza się ilość lub prędkość przepływającej wody,
 - zwiększa się szerokość koryta,
 - rzeka uchodzi do zbiornika wodnego.
- Osadzanie materiału prowadzi do powstawania **mielizn**, które podczas niskich stanów wody mogą wynurzać się ponad powierzchnię wody w postaci **łach korytowych**.
- Najbardziej intensywna akumulacja jest charakterystyczna dla **dolnego biegu rzeki**, gdzie prędkość przepływu jest zwykle najmniejsza.

Działalność budująca rzek (akumulacja rzeczna)



Działalność budująca rzek – akumulacja pozakorytowa

- **Akumulacja pozakorytowa** – zachodzi głównie podczas wezbrań (powodzi), gdy woda występuje z koryta i zalewa sąsiednie tereny.
- Woda płynąca głównym korytem porusza się szybciej niż w obrębie płytkiego **koryta powodziowego**, zwanego **łożyskiem powodziowym**.
- Dodatkowo przepływ jest tam hamowany przez nierówne podłoże oraz roślinność, co sprzyja osadzaniu transportowanego materiału.
- W pobliżu koryta odkładane są przede wszystkim grubsze osady, prowadząc do powstawania **wałów przykorytowych** (wałów brzegowych), które ciągną się wzdłuż brzegów rzeki i mogą osiągać wysokość do około 2 m.
- Niekiedy oddzielają one od rzeki podmokłe **baseny popowodziowe**.
- Drobniejsze osady, głównie muły i piaski, są deponowane na całym **obszarze zalewowym**, tworząc **żyzne mady rzeczne**.

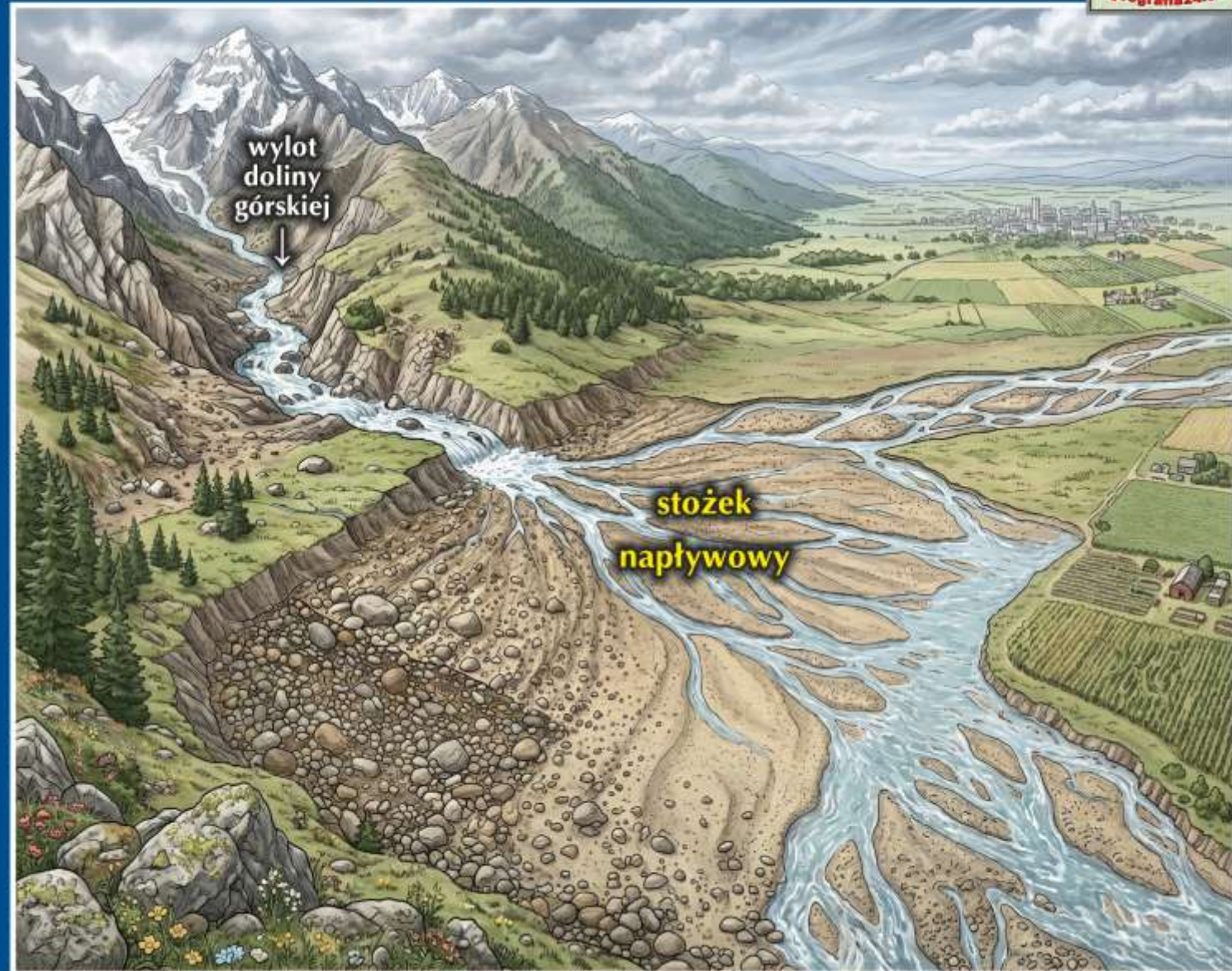
Akumulacja pozakorytowa w czasie wezbrania



Akumulacja na płaskich przedpolach w postaci stożków napływowych

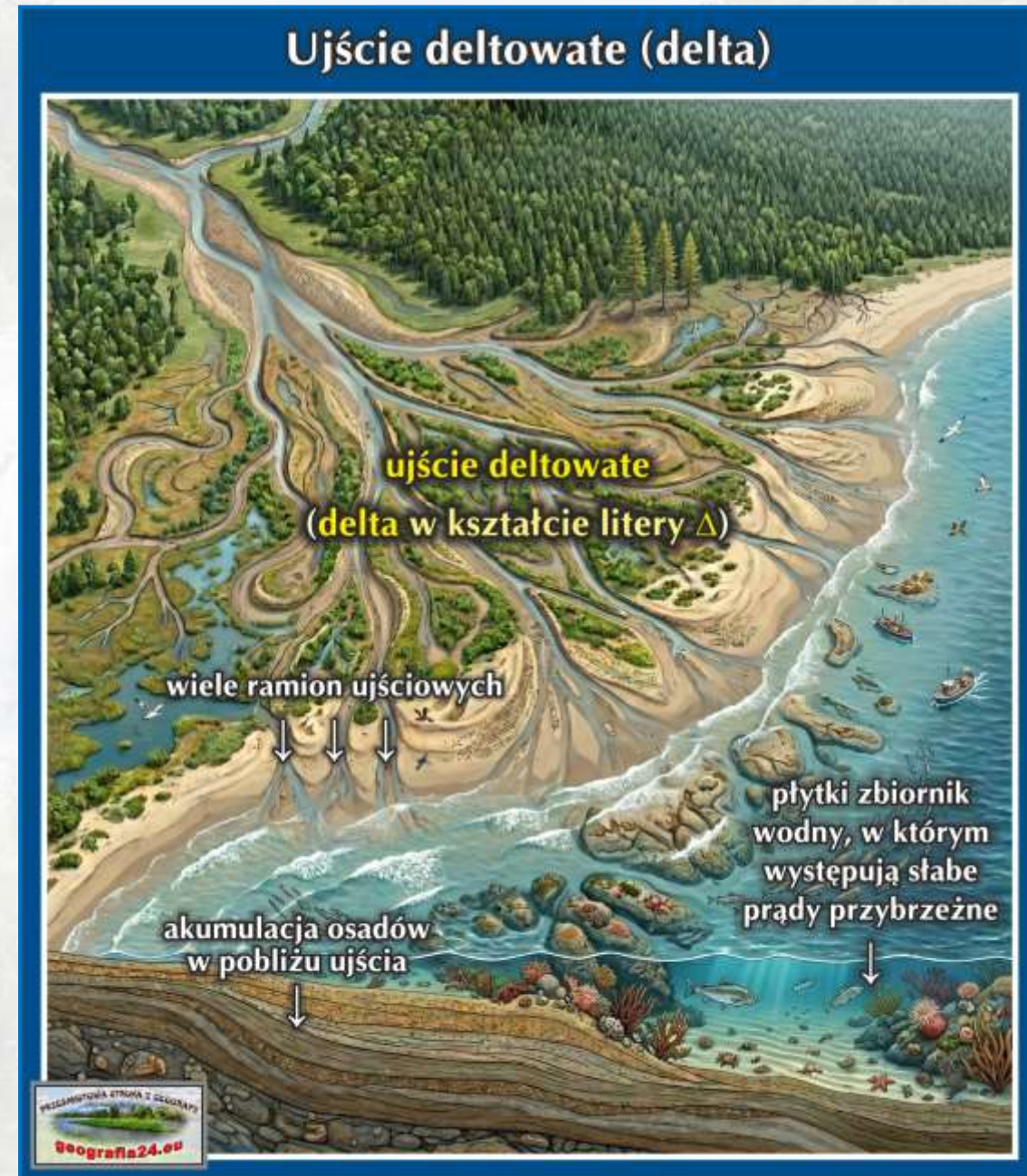
- **Stożki napływowe** – formy akumulacyjne powstające w miejscach, gdzie rzeka lub potok wypływa z obszaru o dużym spadku terenu na bardziej płaskie przedpole, np. u wylotu dolin górskich lub dolin bocznych do doliny głównej.
- Gwałtowne zmniejszenie spadku terenu powoduje spadek prędkości przepływu wody i utratę zdolności transportowej, wskutek czego transportowany materiał skalny zostaje osadzony.
- Stożki napływowe mają zwykle kształt zbliżony do wachlarza lub stożka rozszerzającego się zgodnie z kierunkiem przepływu wody.
 - Budują je przede wszystkim żwiry, piaski i inne osady nanoszone podczas wezbrań.
- W obrębie stożka koryto cieku często rozdziela się na kilka zmieniających swoje położenie odnóg.

Akumulacja na przedpolach – stożki napływowe



Ujścia rzek – ujścia deltowate

- **Delta** – forma akumulacyjna powstająca u ujścia rzeki do zbiornika wodnego, której nazwa pochodzi od greckiej litery **Δ (delta)**, ponieważ kształt wielu z nich przypomina ten znak.
- Tworzy się wtedy, gdy rzeka uchodzi do płytkiego zbiornika o niewielkich wahaniach poziomu wody i słabych prądach przybrzeżnych, które nie są w stanie usuwać dostarczanych osadów.
- Materiał наносzony przez rzekę stopniowo nadbudowuje dno zbiornika, a po jego wynurzeniu ponad powierzchnię wody rzeka rozdziela się na kilka ramion ujściowych.
- Miąższość osadów deltowych może osiągać bardzo duże wartości, np. około 220 m w delcie Padu i ponad 600 m w delcie Missisipi.
- Tempo narastania delt jest zróżnicowane.
 - Do najszybciej rozwijających się należy delta Huang He, której powierzchnia zwiększa się średnio o około 400 m rocznie, a w niektórych latach nawet o 1,5 km.
 - Powierzchnia delty Gangesu z Brahmaputrą wynosi około 150 tys. km², natomiast delty Wisły około 3,6 tys. km².
- Przykłady rzek o ujściu deltowatym: **Wisła, Dunaj, Wołga, Lena, Nil, Orinoko, Missisipi, Niger, Mekong, Huang He** oraz **Ganges z Brahmaputrą**, tworzące wspólną deltę.



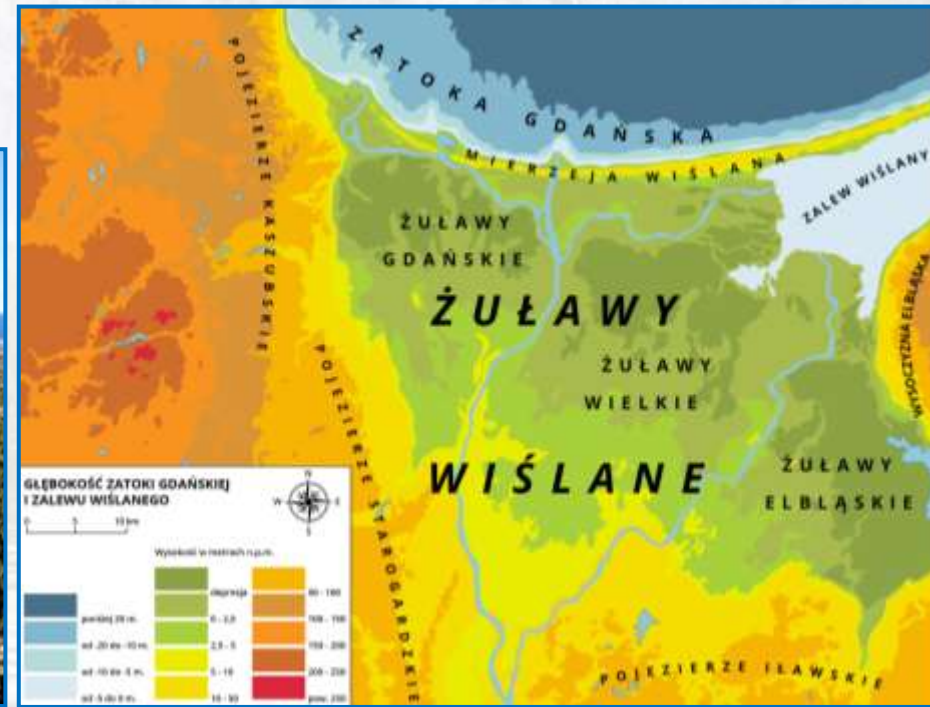
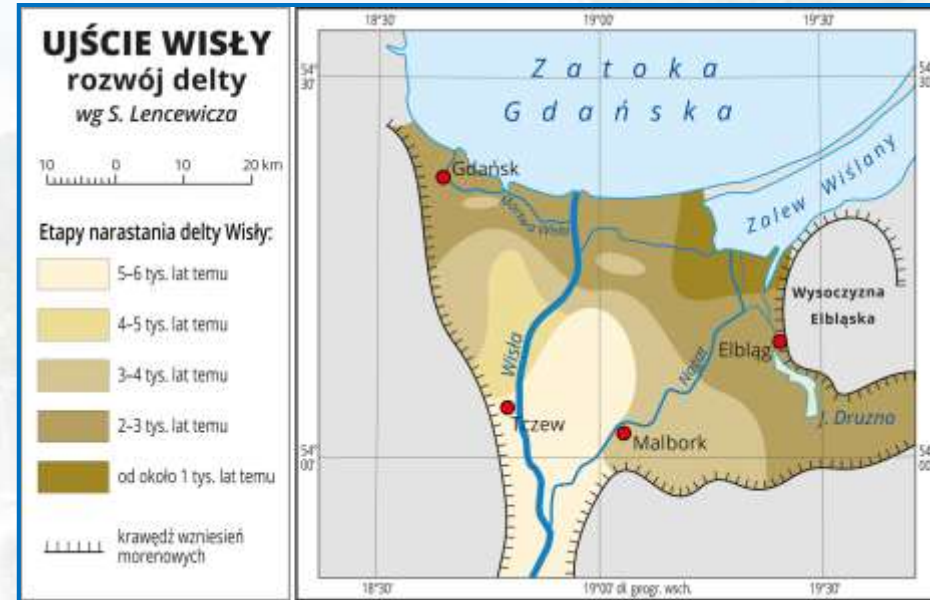
Podział delt na podstawie stosunku delty do przebiegu wybrzeża

- Ze względu na stosunek delty do przebiegu linii brzegowej wyróżnia się:
 - **delty schowane** – rozwijające się w obrębie estuariów, zatok lub innych zagłębień linii brzegowej,
 - do tego typu należą m.in. delty **Wisły**, **Odry** (tzw. **delta wsteczna Świny**) i **Mackenzie**;
 - **delty wysunięte** – wyraźnie wysuwające się w kierunku morza wskutek intensywnej akumulacji osadów, dzielące się na kilka podtypów:
 - **delty wieloramienne (palczaste)** – tworzone przez liczne, wydłużone ramiona rzeczne wysuwające się daleko w głąb morza, np. **Missisipi** i **Ural**,
 - **delty łukowe** – mające kształt zbliżony do łuku lub wachlarza, powstający wskutek równomiernego rozkładania osadów wzdłuż wybrzeża, np. **Nil**, **Wołga**, **Jangcy**, **Huang He** (**Żółta Rzeka** – przykład delty o zmiennym zarysie) oraz **Ganges z Brahmaputrą** (jedna z największych delt świata, wykazująca również cechy delty palczastej),
 - **delty klinowe** – przyjmujące kształt trójkąta lub klina zwężającego się w kierunku morza, np. **Tyber** i **Ebro**.



Ewolucja delty i ich podział

- **Rozwój delty** zależy od równowagi pomiędzy ilością osadów dostarczanych przez rzekę a działalnością morza.
- Rzeka, transportując i osadzając materiał, stopniowo powiększa deltę, natomiast fale i prądy morskie mogą rozmywać oraz przemieszczać osady deltowe na znaczne odległości, przyczyniając się m.in. do powstawania **kos** i **mierzei**.
- W zależności od przewagi akumulacji lub niszczenia osadów w obrębie linii brzegowej wyróżnia się:
 - **delty rozbudowane** – powiększające swoją powierzchnię;
 - **delty stabilizowane** – pozostające w stanie względnej równowagi;
 - **delty niszczone** – zmniejszające swoją powierzchnię wskutek przewagi procesów erozyjnych.



Ujścia rzek – ujście lejkowate (estuarium)

- **Ujście lejkowate (estuarium)** – powstaje u ujścia rzeki, gdzie osady niesione przez rzekę są skutecznie usuwane przez silne pływy morskie, prądy przybrzeżne lub gdy rzeka uchodzi do bardzo głębokiego zbiornika wodnego.
- W takich warunkach materiał rzeczny nie może się gromadzić w ilościach wystarczających do utworzenia delty, mimo że rzeka często transportuje znaczne ilości osadów.
- W rezultacie ujście ulega poszerzeniu ku morzu i przyjmuje charakterystyczny lejkowaty kształt.
- Taki typ ujścia posiadają m.in.: **Loara, Sekwana, Tamiza, Łaba, Garonna, Tag, Jenisej, Ob, Kongo, Hudson, Rzeka Świętego Wawrzyńca, Amazonka oraz Parana i Urugwaj** (tworzące **estuarium La Plata**).



Terasy rzeczne (tarasy rzeczne)

- **Terasy rzeczne** – płaskie lub lekko nachylone powierzchnie występujące wzdłuż dolin rzecznych, stanowiące pozostałości dawnych poziomów dna doliny, opuszczonych przez rzekę w wyniku pogłębiania koryta.
- Powstają one najczęściej wtedy, gdy po okresie akumulacji osadów następuje wzrost intensywności erozji wgłębnej, prowadzący do rozcięcia wcześniejszego dna doliny.
- Terasy rzeczne mogą występować na wielu poziomach, dokumentując kolejne etapy rozwoju doliny rzecznej.
- W **profilu poprzecznym** doliny tworzą charakterystyczny **układ schodów**, w którym naprzemiennie występują:
 - **stoki teras** – nachylone powierzchnie oddzielające poszczególne poziomy teras, osiągające wysokość nawet kilkudziesięciu metrów i nachylenie około 30° ,
 - **równiny terasowe** – płaskie lub lekko nachylone powierzchnie stanowiące fragmenty dawnych den dolin rzecznych.

Budowa terasów rzecznych



Terasy rzeczne (tarasy rzeczne) – powstawanie i ich rozwój

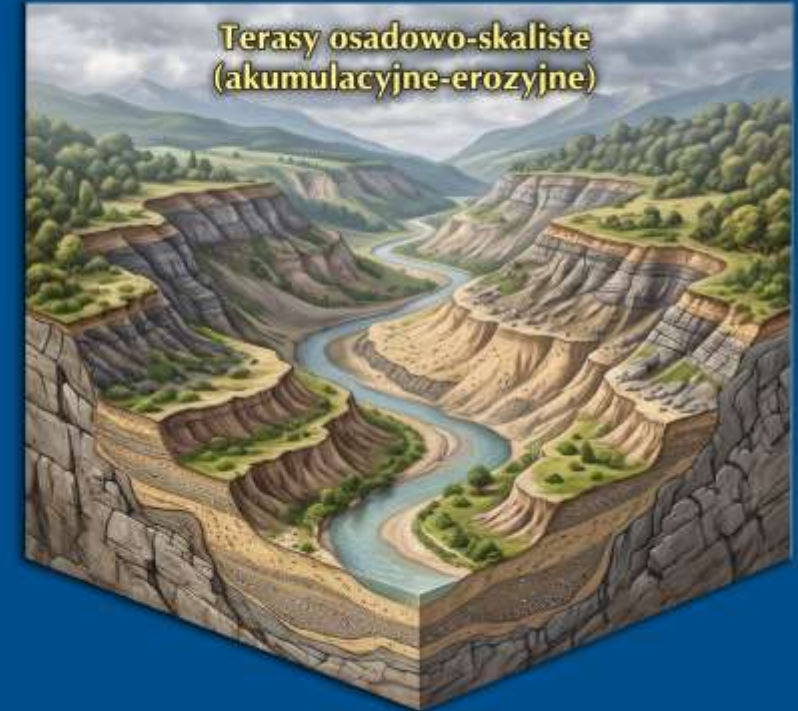
- Terasy rzeczne powstają i rozwijają się w wyniku:
 - **erozji bocznej** – prowadzącej do poszerzania dna doliny rzecznej i tworzenia rozległej równiny dolinnej;
 - **erozji wgłębnej** – powodującej rozcinanie wcześniejszego dna doliny i pozostawianie jego fragmentów na wyższych poziomach;
 - **akumulacji osadów rzecznych** – zachodzącej w obrębie dna doliny, a następnie ponownego wcinania się rzeki w nagromadzony materiał.
- **Obniżenie bazy erozyjnej** (czyli **poziomu wszechoceanu**, lub **lokalnej**, np. **poziomu jeziora czy rzeki głównej**) prowadzi do wzrostu intensywności erozji wgłębnej i rozcinania dna doliny rzecznej aż do osiągnięcia **nowego profilu równowagi**.
- Po zakończeniu intensywnego pogłębiania doliny ponownie zaczyna dominować **erozja boczna**, prowadząca do poszerzania dna doliny.
 - Z kolei podniesienie bazy erozyjnej sprzyja **akumulacji osadów rzecznych**.
 - Naprzemienne występowanie tych procesów prowadzi do powstawania kolejnych **poziomów terasowych**.
- Występowanie kilku poziomów teras rzecznych świadczy o wielokrotnych zmianach bazy erozyjnej oraz kolejnych etapach rozwoju doliny rzecznej.



Terasy rzeczne (tarasy rzeczne) – rodzaje ze względu na budowę i sposób powstania

- W zależności od budowy i sposobu powstania wyróżnia się trzy podstawowe typy teras:
- **osadowe (akumulacyjne)** – zbudowane z osadów rzecznych, powstałe w wyniku akumulacji materiału i późniejszego wcięcia się rzeki w utworzone wcześniej osady;
 - **skaliste (erozyjne)** – wykształcone w litych skałach budujących dno i zbocza doliny rzecznej wskutek erozyjnego pogłębiania doliny;
 - **osadowo-skaliste (akumulacyjno-erozyjne)** – powstałe w wyniku erozji podłoża skalnego, następnie częściowego wypełnienia doliny osadami rzeczными i ponownego rozcięcia tych osadów przez rzekę.

Rodzaje teras rzecznych ze względu na budowę i sposób powstania



Rodzaje teras rzecznych według położenia w dolinie

→ **W obrębie doliny rzecznej** wyróżnia się trzy podstawowe typy teras:

- **terasa zalewowa** – najniżej położony poziom dna doliny, nieznacznie wznoszący się ponad współczesne koryto rzeki, kształtowany podczas częstych wezbrań (nawet kilka razy w roku), z licznymi starorzeczami,
 - zwykle jest podmokła, często porośnięta lasami łęgowymi (stąd nazwa **terasa łęgowa**) i miejscami ograniczona wałami przeciwpowodziowymi;
- **terasa powodziowa** – poziom położony powyżej terasy zalewowej, zalewany jedynie podczas większych powodzi występujących co kilka lub kilkanaście lat,
 - czasem zachowały się na niej starorzecza, a okresowo zachodzi akumulacja osadów rzecznych;
- **terasa nadzalewowa** – rozległy poziom (lub kilka poziomów) stanowiący pozostałość dawnych den dolin rzecznych, położony powyżej zasięgu współczesnych powodzi (wyjątkowo może zostać zalany);
 - w Polsce najczęściej pochodzi z plejstocenu (stąd nazwa **terasa plejstocenska**), jest często wykorzystywana rolniczo, a jej powierzchnię mogą nadbudowywać piaski przewiewane przez wiatr, tworzące czasem wydmy.

Rodzaje teras rzecznych wg położenia w dolinie



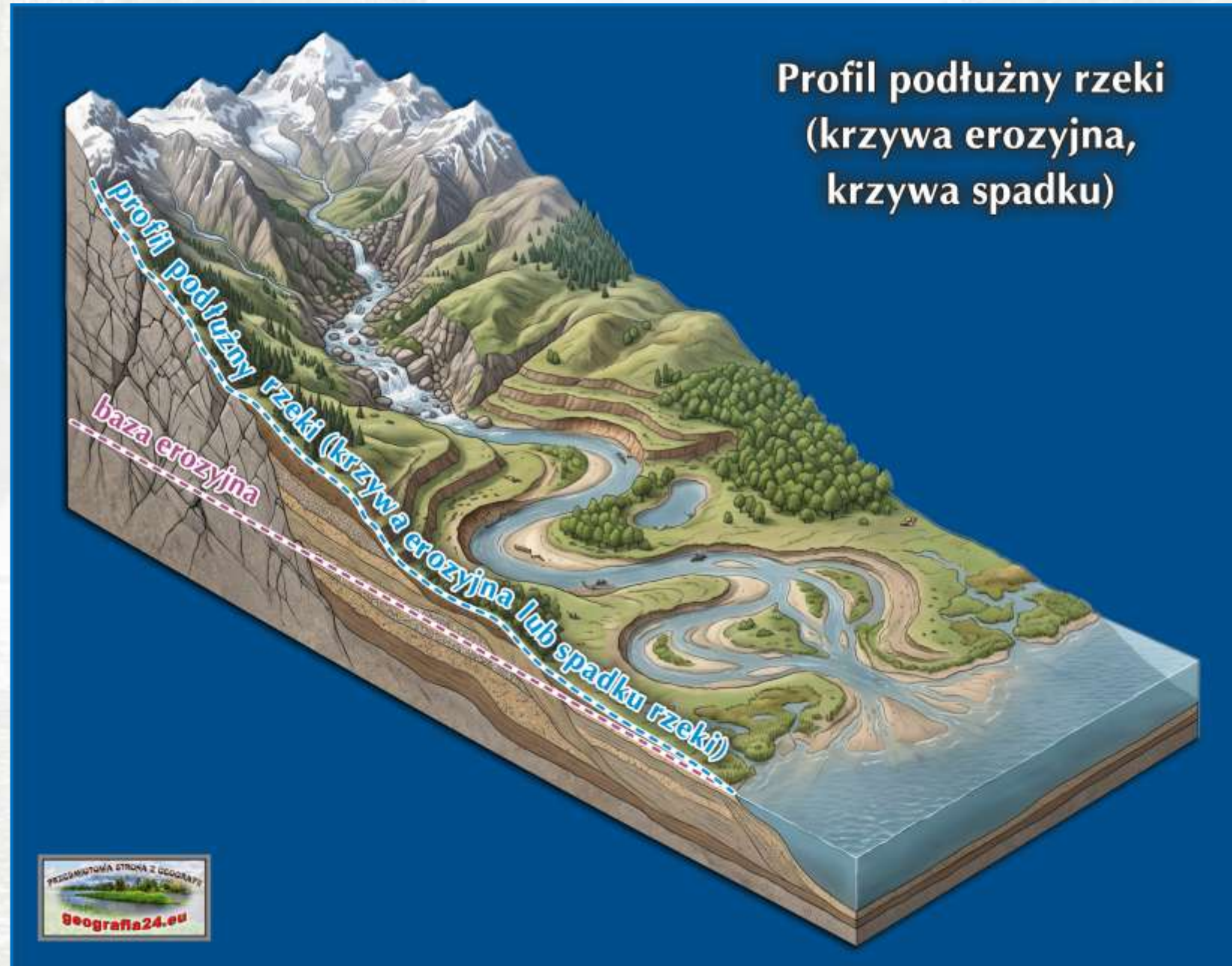
Podstawowe elementy doliny rzecznej

- Do **głównych elementów doliny rzecznej** zaliczamy:
 - **koryto** – najniżej położona część doliny, stanowiąca naturalne zagłębienie terenu, którym stale lub okresowo płynie ciek wodny (rzeka, strumień lub potok);
 - **łożysko rzeki** – szerszy obszar obejmujący koryto oraz przylegające do niego tereny (najczęściej tożsame z terasą zalewową), który jest okresowo zajmowany przez wodę podczas wysokich stanów i wezbrań (np. po znacznych opadach deszczu lub gwałtownym topnieniu pokrywy śnieżnej);
 - **dolina** – silnie wydłużona, wklęsła forma terenu powstała w wyniku erozyjnej i akumulacyjnej działalności rzeki, obejmująca koryto rzeczne oraz otaczające je elementy, takie jak terasy rzeczne i zbocza doliny.



Rozwój dolin rzecznych – kształtowanie profilu podłużnego rzeki

- **Transport, erozja i akumulacja** zachodzą na całej długości rzeki, jednak wygląd jej doliny zmienia się od źródła do ujścia rzeki.
 - Wynika to ze zmiennej intensywności tych procesów, która zależy od spadku koryta, ilości przepływającej wody oraz budowy geologicznej podłoża.
- Kluczową cechą cieku wodnego (np. rzeki) jest jego **profil podłużny** (**krzywa erozyjna**; **krzywa spadku**), obrazujący nachylenie koryta.
 - Jego najniższy punkt – ujście rzeki – wyznacza **bazę erozyjną**, czyli poziom, poniżej którego rzeka nie jest już w stanie pogłębiać swojego dna.
 - Każda rzeka nieustannie dąży do osiągnięcia **profilu równowagi** (stanu dynamicznej równowagi między erozją, transportem a akumulacją).



Rozwój dolin rzecznych oraz procesy rzeźbotwórcze w biegach rzeki

→ W **profilu podłużnym rzeki** wyróżnia się trzy **biegi**, (o umownych granicach), różniące się spadkiem koryta, prędkością przepływu wody, sposobem i ilością transportu materiału oraz dominującymi procesami rzeźbotwórczymi.

→ **1. Bieg górny** – cechuje się dużym spadkiem koryta, wysoką prędkością przepływu oraz przewagą erozji wgłębnej i wstecznej.

→ Dominują tu procesy rzeźbotwórcze: erozja wgłębna i wsteczna, eworsja, abrazja, transport, selekcja i obtaczanie materiału.

→ Powstają formy: misy, kotły i rynny eworsyjne, progi skalne, katarakty, żebra skalne (szypoty, szумы), wodospady, otoczaki i doliny V-kształtne oraz bystrza i plosa.

→ **2. Bieg środkowy** – odznacza się mniejszym spadkiem, większym przepływem wody, dominacją transportu i erozji bocznej.

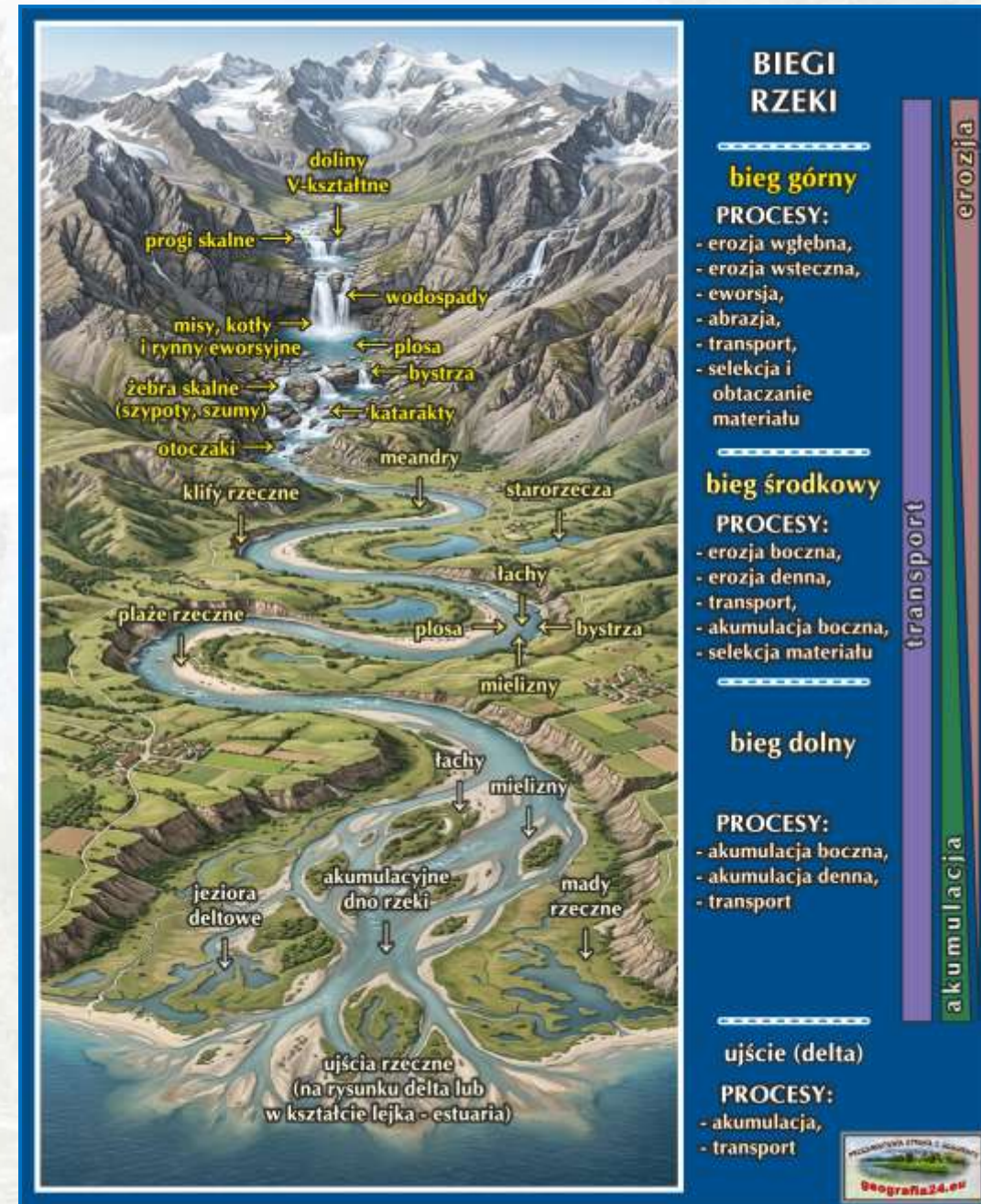
→ Zachodzą tu: erozja denną i boczną, akumulacja boczna, transport i selekcja materiału.

→ Powstają: meandry, starorzecza, klify rzeczne, plaże rzeczne, bystrza i plosa oraz łachy i mielizny.

→ **3. Bieg dolny** – odznacza się niewielkim spadkiem koryta, małą prędkością przepływu i przewagą akumulacji osadów.

→ Dominują: akumulacja denną i boczną oraz transport.

→ Powstają: akumulacyjne dno rzeki, mielizny i łachy, mady rzeczne i delty lub estuaria oraz jeziora deltowe.





Geomorfologiczne efekty działalności wody na stoku

Rola wody opadowej w modelowaniu rzeźby terenu

- **Woda opadowa i roztopowa** jest jednym z najważniejszych **czynników kształtujących powierzchnię Ziemi**.
- Wody pochodzące z opadów deszczu oraz topnienia śniegu uczestniczą w procesach **erozji, transportu i akumulacji materiału skalnego**.
- Szczególnie intensywne przekształcanie powierzchni zachodzi na terenach pozbawionych zwartej pokrywy roślinnej, gdzie podłoże jest bezpośrednio narażone na działanie spadających kropli deszczu i spływającej wody.
- To właśnie od działania wody opadowej rozpoczyna się wiele procesów prowadzących do powstawania form rzeźby terenu oraz przemieszczania materiału zwietrzelinowego.



Morfogenetyczne znaczenie deszczu – erozja deszczowa i powstawanie minikraterów

- **Erozja deszczowa** – proces niszczenia powierzchni gruntu wywołany uderzeniami kropli deszczu (“bombardowaniem powierzchni gruntu”).
- Spadające krople powodują odrywanie, wyrzucanie i rozrzucanie drobnych cząstek gleby lub zwietrzeliny, szczególnie pyłów i iłów, na boki od miejsca uderzenia.
- W miejscu uderzenia kropli powstaje niewielkie zagłębienie zwane **minikraterem**, którego średnica zwykle wynosi od 3 do 10 mm.
- Długotrwałe oddziaływanie opadów prowadzi do stopniowego niszczenia i obniżania powierzchni terenu, szczególnie na obszarach pozbawionych roślinności.

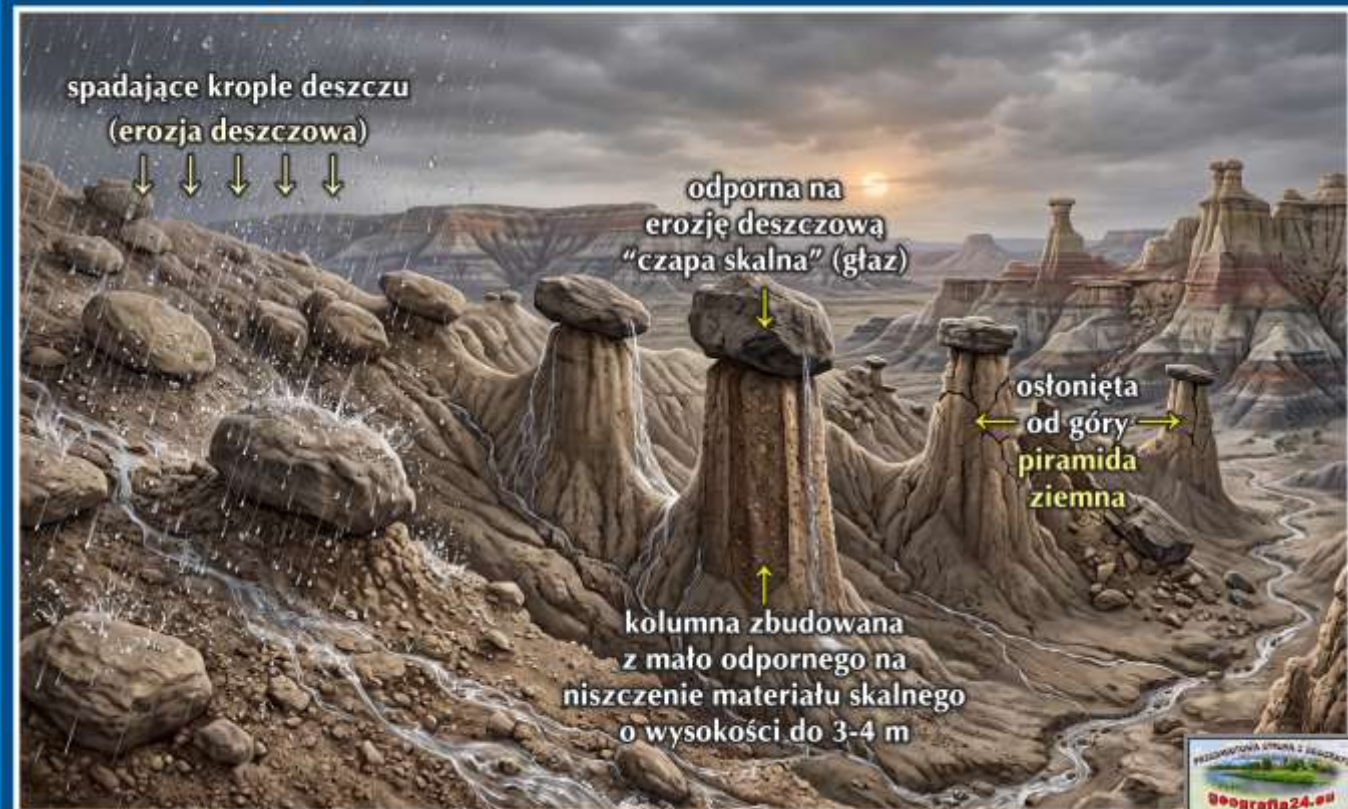


Morfogenetyczne znaczenie deszczu – powstawanie piramid ziemnych

- **Piramidy ziemne** – formy rzeźby terenu powstające w miejscach, gdzie warstwa drobnego materiału skalnego jest miejscowo chroniona przez większe okruchy skalne.
- Materiał leżący pod takim “daszkiem” jest znacznie słabiej niszczony przez krople deszczu niż otaczające go podłoże.
- W rezultacie otaczający materiał jest stopniowo rozmywany i usuwany, natomiast pod osłaniającym głazem pozostaje kolumna gruntu (łatwych w erozji skał) tworząca piramidę ziemną, której wysokość może osiągać nawet 3-4 m.
- Są one jednak nietrwałe i z czasem ulegają zniszczeniu wskutek dalszej erozji oraz spływu wody po powierzchni stoku.



Morfogenetyczne znaczenie deszczu – erozja deszczowa



Spływ śródpokrywowy

- **Spływ śródpokrywowy** – ruch wody odbywający się wewnątrz zwietrzeliny lub innych luźnych utworów skalnych.
- Jego znaczenie geomorfologiczne jest dwojakie:
 - **chemiczne** – polega na **rozpuszczaniu** (**ługowaniu**) substancji mineralnych zawartych w podłożu i odprowadzaniu ich w postaci roztworu do rzek oraz wód podziemnych;
 - **fizyczne** – polega na **wymywaniu** drobnych ziaren ze struktury gruntu i ich przemieszczaniu w postaci stałej.
- Proces ten przygotowuje podłoże do dalszych przekształceń rzeźby terenu, w tym do rozwoju **sufozji**.



Sufozja (erozja tunelowa)

- **Sufozja (erozja tunelowa)** – proces wymywania i wynoszenia drobnych cząstek gruntu lub słabo scementowanych, drobnoziarnistych skał osadowych (np. piasków, pyłów, iłów, lessów, popiołów wulkanicznych, torfów i glin morenowych) przez wodę płynącą pod powierzchnią terenu.
- W rezultacie powstają **podziemne kanaliki** i **tunele** o średnicy od kilku milimetrów do ponad 1 m, a długość złożonych systemów takich korytarzy może przekraczać 1 km.
 - Największe tunele bywają na tyle duże, że mogą być penetrowane przez ludzi i są wówczas uznawane za **jaskinie**.
- W miarę postępu sufozji podłoże stopniowo traci swoją spoistość, co może prowadzić do zapadania się powierzchni terenu i powstawania **zagłębień sufozyjnych**.

Morfogenetyczne znaczenie deszczu – sufozja (erozja tunelowa)



Warunki występowania sufozji (erozji tunelowej)

- **Sufozja** rozwija się najintensywniej przy współwystępowaniu następujących warunków:
 - obecności głębokich pęknięć sięgających poniżej warstwy nieprzepuszczalnej,
 - występowania warstwy nieprzepuszczalnej w podłożu,
 - podziemnego spływu wody w kierunku zamknięcia doliny lub wąwozu.
- W skałach ilastych istotną rolę odgrywają **szczeliny** powstające podczas wysychania podłoża, natomiast początkowymi drogami przepływu wody mogą być też **spękania**, **korytarze zwierząt ryjących** i **przestrzenie wzdłuż korzeni roślin**.



Groty Mechowskie – największa i najbardziej znana jaskinia na Niżu Polskim (Pomorze) o genezie sufozycznej

Formy powstające w wyniku sufozji

- Geomorfologiczne skutki sufozji przez długi czas mogą pozostawać słabo widoczne na powierzchni terenu.
- Do najwcześniejszych form należą płytkie zagłębienia zwane **wymokami** oraz miejsca akumulacji wymytego materiału u wylotów kanałów sufozyjnych, niekiedy tworzące niewielkie **stożki napływowe**.
- Znacznie większe znaczenie mają skutki **zapadania się stropów tuneli sufozyjnych**.
- Powstają wówczas **zapadliska sufozyjne** o stromych ścianach i głębokości dochodzącej do kilku metrów, które z czasem mogą przekształcać się w **leje sufozyjne**.

Lej sufozyczny



Piaszczyste stożki przy wylocie szczelin są świadectwem sufozji, rezerwat "Głazy Krasnoludków", Sudety

Morfogenetyczna działalność w

Formy powstałe w wyniku spłukiwania powierzchniowego

- **Spłukiwanie powierzchniowe** – proces polegający na wymywaniu i przemieszczaniu drobnych cząstek gleby oraz zwietrzelin wodę opadową i roztopową spływającą po warstwie po powierzchni stoku.
- Występuje najczęściej na obszarach o ujemnym pokrywie roślinnej, szczególnie podczas intensywnych opadów deszczu.
- W wyniku spłukiwania powierzchniowego powstają:
 - **niecki zmywowe** – bardzo płytkie, misowate zagłębienia terenu,
 - **nieckowate doliny zmywowe** – płytkie wydłużone obniżenia terenu.
- Proces ten dominuje przede wszystkim w górnych partiach stoków.
- W miarę zwiększania się ilości spływającej wody odpływ staje się coraz bardziej skoncentrowany i w środkowej oraz dolnej części stoku przechodzi w spływ liniowy – **spłukiwanie bruzdowe (żłobkowe, rynnowe)** prowadzący do rozwoju form **erozji liniowej**.



Splukiwanie brzdowe (żłobkowe, rynnowe)

- **Splukiwanie brzdowe (żłobkowe, rynnowe)** – proces zachodzący wtedy, gdy spływająca po stoku woda koncentruje się w coraz większych **strużkach i strumieniach**.
- Skoncentrowany odpływ powoduje intensywniejsze rozcinanie powierzchni stoku niż splukiwanie powierzchniowe, prowadząc do rozwoju **form erozji liniowej**, tj.:
 - **żłobki deszczowe** – płytkie, wąskie rozcięcia powierzchni stoku;
 - **rozdoły** – głębokie rozcięcia stokowe o nieregularnym przebiegu;
 - **debrze** – wąskie, V-kształtne rozcięcia erozyjne;
 - **wądoły** – głębsze i bardziej strome rozcięcia erozyjne o bardzo wąskim, płaskim dnie;
 - **wąwozy** – głębokie doliny erozyjne o płaskim i wąskim dnie oraz o niemal pionowych ścianach;
 - **parowy** – największe formy erozji liniowej, przypominające niewielkie doliny.
- Materiał usuwany z wyższych partii stoków jest transportowany w dół i często akumulowany u ich podnóży w postaci **stożków napływowych**.

Formy powstałe w wyniku splukiwania brzdowego (żłobkowego, rynnowego)



Splukiwanie brzdowe (żłobkowe, rynnowe)

- **Splukiwanie brzdowe** najczęściej rozwija się na stokach słabo porośniętych roślinnością, zwłaszcza na obszarach suchych i półsuchych oraz intensywnie użytkowanych rolniczo, gdzie gleba jest okresowo odsłonięta.
- Szczególnie często występuje m.in. w Stanach Zjednoczonych (Wielkie Równiny), Chinach (Wyżyna Lessowa), Hiszpanii (Andaluzja), Australii (Dorzecze Murray-Darling) i na Ukrainie (Wyżyna Podolska).
- W Polsce formy erozji liniowej są charakterystyczne dla obszarów lessowych Wyżyny Lubelskiej, Wyżyny Sandomierskiej i Wyżyny Miechowskiej oraz lokalnie Pogórza Karpackiego i Sudetów.
- Ich rozwojowi sprzyjają intensywne opady, duże nachylenie stoków i słaba ochrona gleby przez roślinność.



Erozja brzdowa (żłobkowa, rynnowa) – Stany Zjednoczone (**Park narodowy Petrified Forest**)
– skutki splukiwania zwietrzliny przez wodę na obszarach pozbawionych roślinności

A. Żłobki deszczowe

- **Żłobki deszczowe** – płytkie rozcięcia erozyjne o głębokości od kilku centymetrów do około 1 m, powstające na stokach wskutek skoncentrowanego spływu wody opadowej lub roztopowej. Mają zwykle rynienkowaty kształt, a ich profil poprzeczny najczęściej przypomina literę V.
- U wylotów **żłobków** materiał wynoszony ze stoku jest akumulowany w postaci **stożków proluwialnych**, których połączenie może prowadzić do powstania **równin proluwialnych**.
- Gęstość występowania żłobków zależy od natężenia opadów i roztopów.
- Przy dużym zagęszczeniu oddzielone są one od siebie ostrymi **zebrami**.
- W miarę postępu erozji żłobki powiększają się, co prowadzi do stopniowego niszczenia oddzielających je zeber.



Żłobki deszczowe



Żłobki deszczowe pooddzielane od siebie bruzdami

B. Rozdoły

- **Rozdoły** – gęsto rozgałęzione **rozcięcia erozyjne** o profilu poprzecznym przypominającym literę V i głębokości dochodzącej do kilku metrów.
 - Powstają szczególnie łatwo w utworach pylastych na obszarach o ubogiej pokrywie roślinnej i częstych deszczach nawaalnych.
 - Tereny silnie rozcięte przez liczne rozdoły określa się mianem **badlands** (**badlandów**).
 - Charakteryzują się one bardzo silnym rozczłonkowaniem rzeźby terenu, co znacznie utrudnia ich użytkowanie gospodarcze.
 - Najbardziej znane badlandy występują miejscami na **Wielkich Równinach Ameryki Północnej (USA)**.



Badlands w USA

C. Debrza

- **Debrze** – płytkie lub umiarkowanie głębokie wcięcia dolinne o dużym spadku podłużnym i profilu poprzecznym przypominającym literę V.
- Powstają w obrębie grubej pokrywy zwietrzelinowej wskutek okresowego spływu wód opadowych i roztopowych.
 - Od żlebów różnią się tym, że są wykształcone głównie w luźnym materiale zwietrzelinowym, a nie w litych skałach.
 - Stanowią często bardziej rozwiniętą formę erozji liniowej niż rozdoły i mogą przekształcać się w większe formy dolinne.
- Debrze najczęściej występują w Karpatach (zwłaszcza w Beskidach i Bieszczadach), Wyżynie Lubelskiej i Roztoczu.



Debrza w okolicy Kazimierza Dolnego



Debrza w okolicy Brzozowa na Podkarpaciu

D. Wądoły

- **Wądoły** – niewielkie dolinki o płaskim lub lekko wklęsłym dnie oraz stromych, zwykle zadarnionych zboczach.
- Powstają najczęściej na stokach pozbawionych lasu wskutek okresowego spływu wód opadowych i roztopowych.
- Zadarnione zbocza podlegają powolnemu spalaniu.
- Wądoły są charakterystycznymi formami rzeźby obszarów górskich i podgórskich, szczególnie powszechnymi w Karpatach oraz na wyżynach lessowych, m.in. na Wyżynie Lubelskiej i Roztoczu.



E. Wąwozy

- **Wąwozy** – jedne z najbardziej rozwiniętych form erozji liniowej, powstające wskutek długotrwałej działalności okresowych wód opadowych i roztopowych.
- Są to głębokie doliny o wąskim, zwykle suchym i niewyrównanym dnie oraz stromych, często urwistych zboczach.
- Wąwozy osiągają długość do kilkunastu kilometrów i głębokość od kilku do nawet 100 m.
- Rozwijają się głównie na obszarach zbudowanych z utworów podatnych na erozję, takich jak lessy i gliny pylaste, zwłaszcza tam, gdzie pokrywa roślinna jest uboga lub została usunięta przez działalność człowieka.
- Powstają w wyniku stopniowego pogłębiania i poszerzania mniejszych form erozji liniowej.
- W miarę rozwoju ich zbocza ulegają obrywaniu, osuwaniu i spęływaniu, co prowadzi do dalszego powiększania wąwozu.
- Gęsta sieć wąwozów może silnie rozczłonkować powierzchnię terenu i utrudniać jego użytkowanie gospodarcze.



Erozja wąwozowa w Polsce

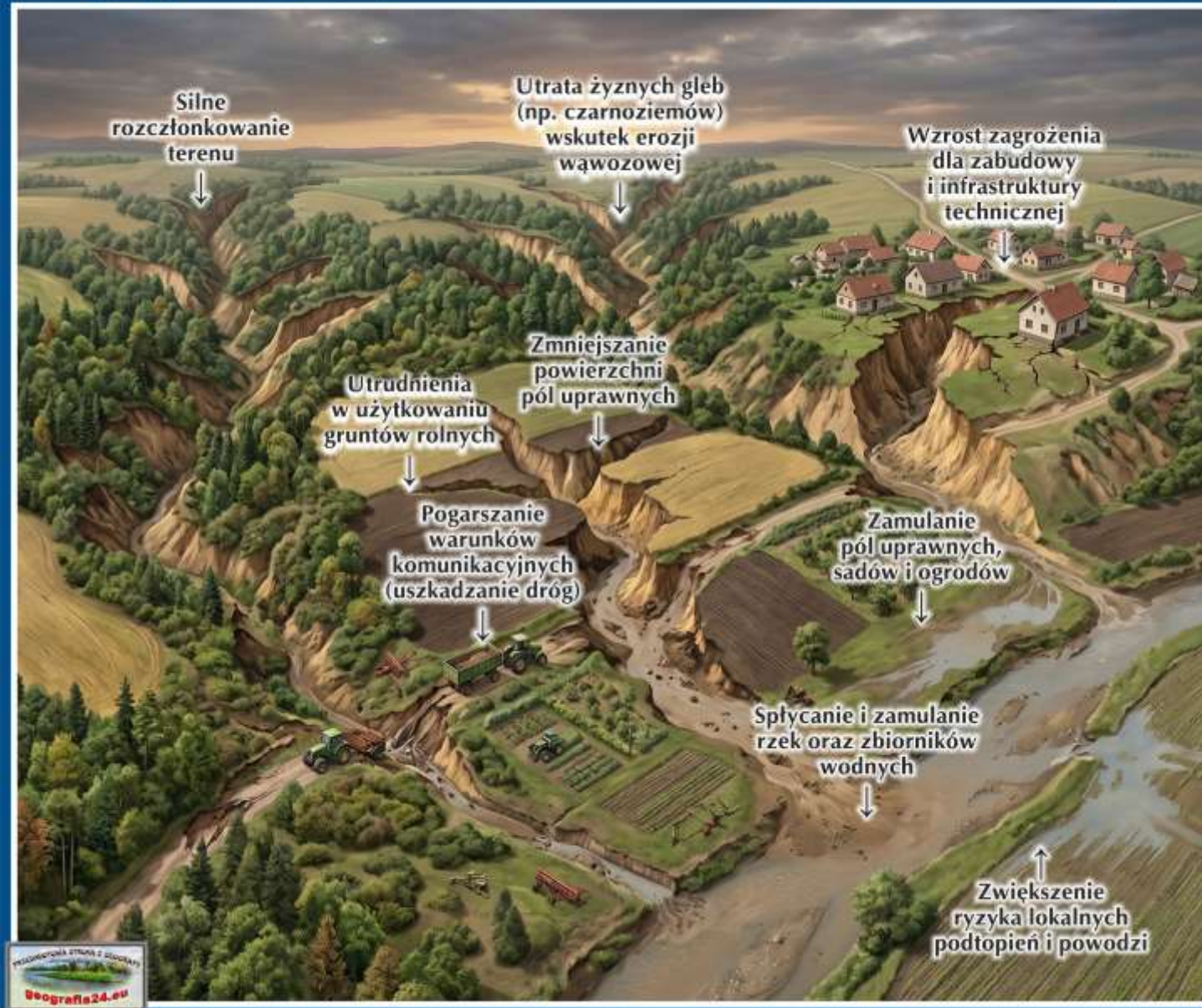
- **Wąwozy lessowe** – należą do najbardziej charakterystycznych elementów krajobrazu obszarów lessowych w Polsce.
- Występują przede wszystkim na:
 - **Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej** (rejon Wyżyny Miechowskiej i Płaskowyżu Proszowickiego),
 - **Wyżynie Kieleckiej** (Wyżyna Opatowska – okolice Sandomierza),
 - **Wyżyna Lubelska** (rejon Płaskowyżu Nałęczowskiego, szczególnie okolice Kazimierza Dolnego),
 - **Roztoczu**.
- W mniejszym stopniu spotykane są również na:
 - **Pogórzu Karpackim**,
 - **w Beskidach**.
- Łączna długość sieci wąwozów w Polsce wynosi około 35 000 km.
- W niektórych regionach tworzą one wyjątkowo gęstą sieć rozcięć terenu.



Wąwozy lessowe – negatywny wpływ na gospodarkę człowieka

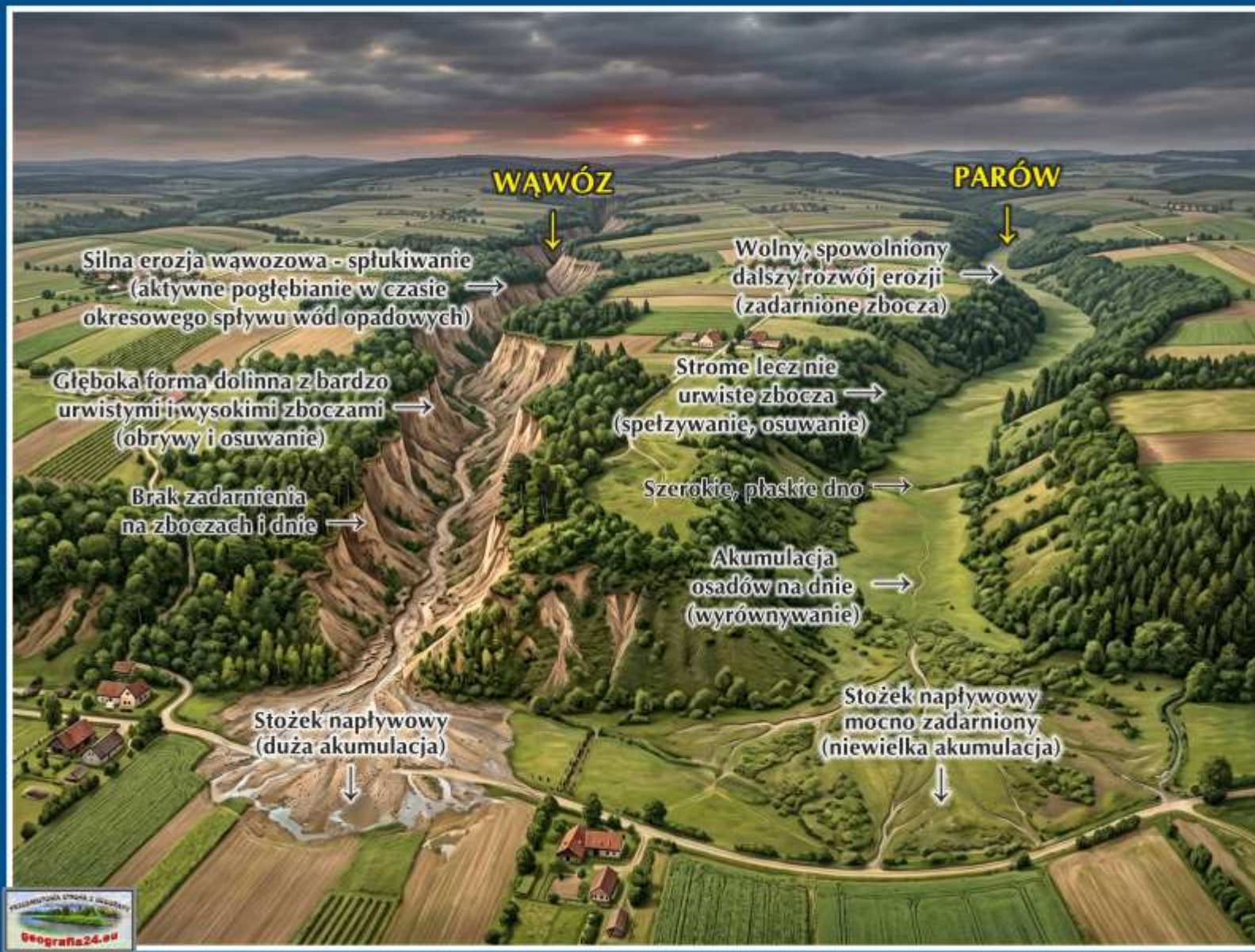
- Powstawanie i rozwój wąwozów lessowych jest bardzo niekorzystnym zjawiskiem z gospodarczego punktu widzenia.
- Do **najważniejszych negatywnych skutków rozwoju wąwozów lessowych** należą:
 - silne rozczłonkowanie terenu,
 - utrudnienia w użytkowaniu gruntów rolnych,
 - zmniejszanie powierzchni pól uprawnych,
 - utrata żyznych gleb (np. czarnoziemów) wskutek erozji wąwozowej,
 - pogarszanie warunków komunikacyjnych (uszkadzanie dróg polnych podczas intensywnych opadów),
 - wzrost zagrożenia dla zabudowy i infrastruktury technicznej,
 - zamulanie pól uprawnych, sadów i ogrodów,
 - spłykanie i zamulanie rzek oraz zbiorników wodnych,
 - zwiększenie ryzyka lokalnych podtopień i powodzi.

Negatywne skutki powstawania i rozwoju wąwozów lessowych



- **Parowy** – największe formy erozji liniowej wód epizodycznych, mające postać suchych dolin o szerokim, płaskim dnie oraz stromych, lecz zwykle nieurwistych zboczach pokrytych roślinnością.
- Powstają w wyniku stopniowego przekształcania się debrzy, wądołów i wąwozów.
- Zadarnione zbocza ulegają powolnemu spelzrywaniu, natomiast na dnie zachodzi akumulacja osadów, prowadząca do jego podwyższania i wyrównywania.
- Parowy rozwijają się znacznie wolniej niż wąwozy i zwykle nie powodują tak dużych szkód gospodarczych.
- Gęsta sieć parowów może jednak także utrudniać komunikację i użytkowanie rolnicze terenu.

Ewolucja spłukiwania bruzdowego (żłobkowego): wąwozy i parowy



Doliny rzek okresowych i epizodycznych na obszarach suchych

- **Doliny rzek okresowych i epizodycznych** są typowymi elementami krajobrazu **terenów pustynnych i półpustynnych**.
 - Opady występują tam rzadko, jednak często mają bardzo dużą intensywność, dlatego większość cieków prowadzi wodę jedynie po opadach lub przez krótki czas po ich ustaniu.
 - Przez większą część roku ich koryta pozostają suche, jednak podczas intensywnych opadów odprowadzają ogromne ilości wody i materiału skalnego, kształtując rzeźbę terenu poprzez erozję, transport i akumulację osadów.
 - W różnych regionach świata takie doliny noszą różne nazwy, m.in. **wadi (ued)** w **Afryce Północnej** i **Azji Południowo-Zachodniej**, **arroyo** w hiszpańskojęzycznych krajach Ameryki Północnej i Południowej oraz **creek** w Australii.



Wadi (ued) – Maroko

Suche doliny rzek okresowych i epizodycznych: wadi (ued)

- **Wadi (ued)** – suche doliny rzek okresowych i epizodycznych o zróżnicowanych rozmiarach, występujące na obszarach pustynnych i półpustynnych.
- Przez większość roku pozostają pozbawione wody, jednak podczas gwałtownych opadów deszczu mogą na krótko wypełniać się wodą i prowadzić intensywny odpływ (przyczyniają się one często do tzw. **powodzi błyskawicznych**).
 - Ich dna są zwykle płaskie i wypełnione materiałem skalnym transportowanym przez okresowe wezbrania.
- Formy te są szczególnie charakterystyczne dla obszarów suchych **północnej Afryki** (zwłaszcza **Sahary**) i **południowo-zachodniej Azji** (m.in. **Półwyspu Arabskiego** i **Azji Mniejszej**).



Suche doliny rzek okresowych i epizodycznych: creek (arroyo)

- **Arroyo** (w krajach hiszpańskojęzycznych, m.in. w Meksyku, południowo-zachodnich stanach USA, Argentynie i Chile) i **creek** (w Australii) – odmiany suchych dolin rzek okresowych i epizodycznych, podobne do wadi (uedów).
- Przez większość roku pozostają suche, a przepływ wody pojawia się jedynie po intensywnych opadach deszczu.
- Podczas gwałtownych ulew ich suche koryta mogą w krótkim czasie zamieniać się w rwące strumienie transportujące duże ilości materiału skalnego, kształtując lokalny krajobraz obszarów suchych i półsuchych.



KONIEC



Materiały pomocnicze do nauki
Opracowane w celach edukacyjnych (niekomercyjnych)

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

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE
- KOPIOWANIE ZABRONIONE -