



VI. Procesy egzogeniczne

3. Procesy krasowe

Istota procesów krasowych i rozwoju rzeźby krasowej

- **Rzeźba krasowa** – rozwija się w wyniku **wietrzenia chemicznego**, polegającego na rozpuszczaniu skał łatwo rozpuszczalnych przez wody powierzchniowe i podziemne.
- Proces ten zachodzi głównie dzięki obecności **dwutlenku węgla (CO_2) rozpuszczonego w wodzie**, który prowadzi do powstawania **słabego kwasu węglowego**.
- To on umożliwia **rozpuszczanie skał węglanowych**, takich jak **wapień**.
- W późniejszym etapie może dochodzić do **wtórnego wytrącania się minerałów**, przede wszystkim **węglanu wapnia (kalcytu)**, co prowadzi do powstawania charakterystycznych **form krasowych** (np. **nacieków jaskiniowych**).

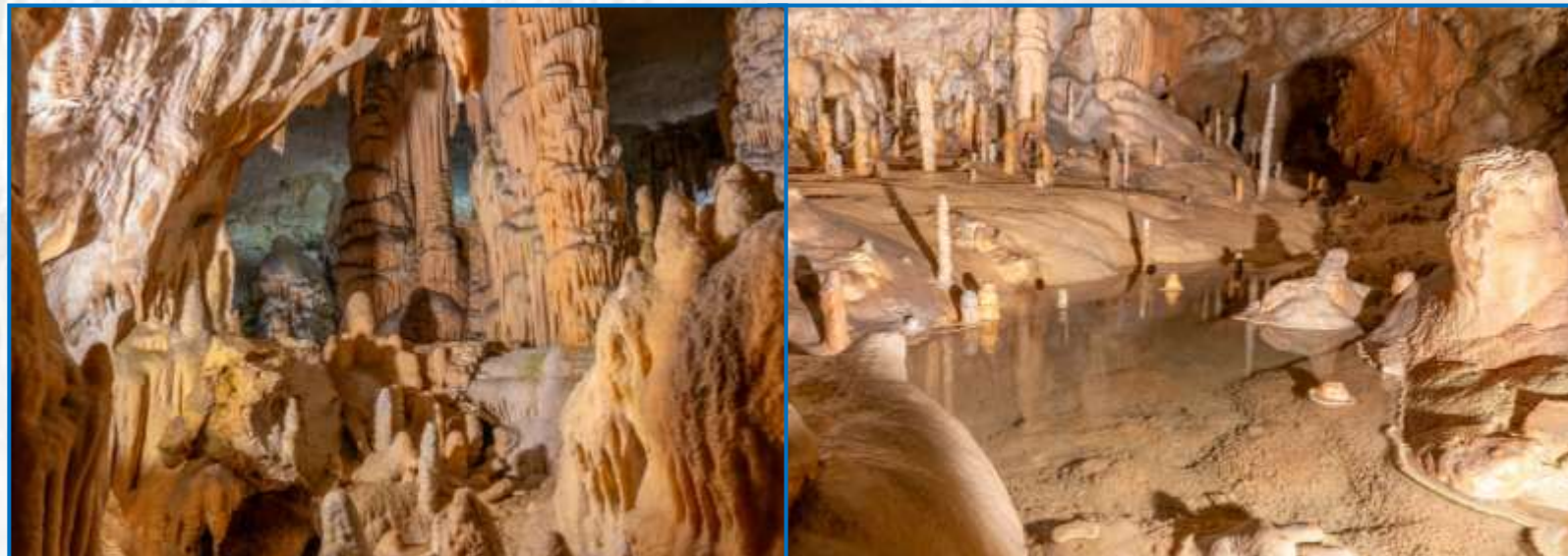


Kras – skały krasowiejące

- **Procesy krasowe** – zachodzą w obrębie skał łatwo ulegających rozpuszczaniu, zwanych **skałami krasowiejącymi**.
- Należą do nich przede wszystkim:
 - **skały węglanowe**: **wapienie** (najbardziej podatne), **dolomity**, **margle**, **opoki** i **kreda**;
 - **skały siarczanowe**: **gipsy** i **anhydryty**;
 - **skały chlorkowe**: **sól kamienna** i **sól potasowa**.
- Termin "**kras**" wywodzi się od nazwy wapiennej **Wyżyny Kras** (zlokalizowanej na terytorium **Słowenii** i **Włoch** na pograniczu z **Chorwacją**).
 - To właśnie tam po raz pierwszy opisano ten typ rzeźby w sposób naukowy.
 - Z czasem lokalna nazwa geograficzna stała się ogólnoświatowym terminem stosowanym w geomorfologii.



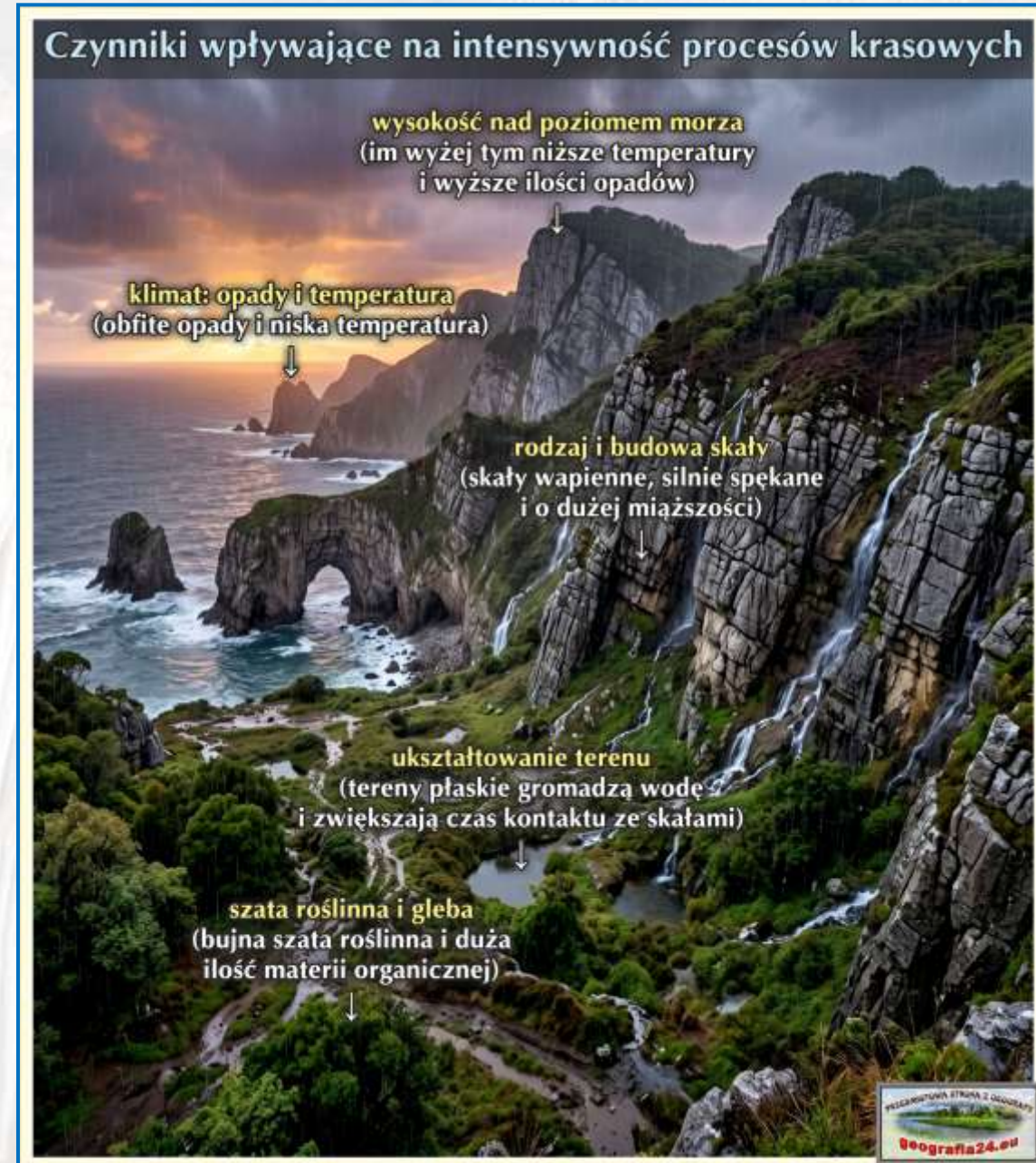
Wyżyna Kras – naturalne środowisko Zamku Predjama, wbudowanego w skały krasowe



Wyżyna Kras – znajduje się tu Jaskinia Postojna, jedna z najbardziej znanych jaskiń świata

Czynniki wpływające na intensywność procesów krasowych

- **Intensywność rozwoju procesów krasowych** nie zależy wyłącznie od obecności **skał rozpuszczalnych**, lecz wynika ze współdziałania kilku **czynników środowiskowych**:
- **rodzaj i budowa skały** – proces zachodzi najszybciej w skałach silnie rozpuszczalnych (np. wapieniach i gipsach), o dużej miąższości, silnym spękaniu (ułatwiającym infiltrację) i małej zawartości domieszek ilastych (ograniczających przepływ wody);
- **klimat (opady i temperatura)** – obfite opady dostarczają wody, a niższa temperatura sprzyja rozpuszczaniu większej ilości CO_2 (co zwiększa ilość kwasu węglowego i zdolność rozpuszczania skał);
- **szata roślinna i gleba** – woda wsiąkająca wzbogaca się w CO_2 (z oddychania organizmów i rozkładu materii organicznej) i kwasy humusowe (zwiększające jej aktywność chemiczną);
- **ukształtowanie terenu** – na terenach płaskich woda dłużej zalega i dominuje infiltracja, natomiast na stromych stokach szybki spływ ogranicza czas kontaktu wody ze skałą;
- **wysokość nad poziomem morza** – wraz ze wzrostem wysokości rosną opady i spada temperatura (co sprzyja większej zawartości CO_2 w wodzie i intensywniejszemu krasowieniu).



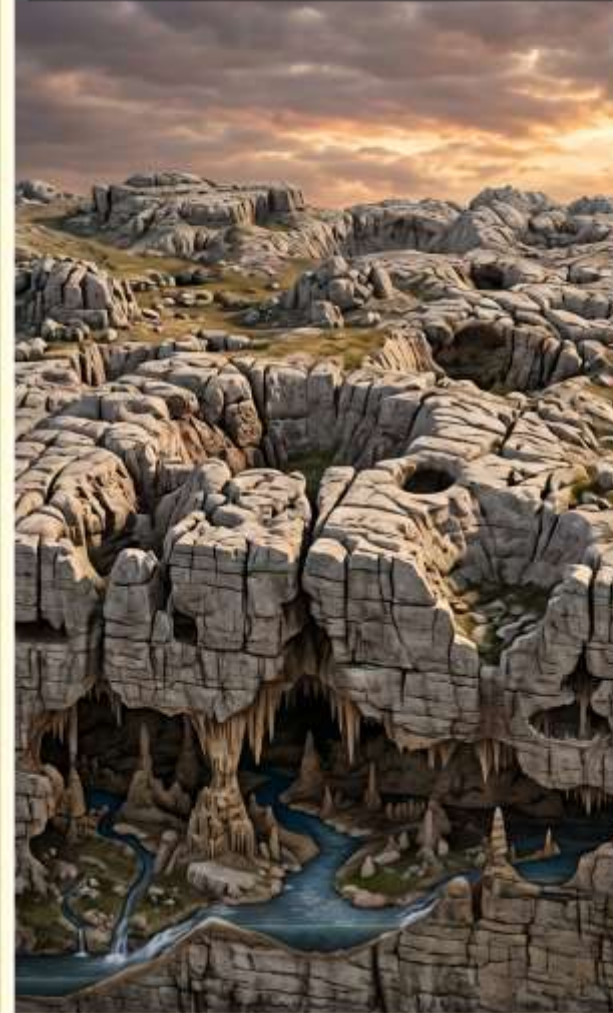
Rodzaje rzeźby krasowej

→ W zależności od budowy geologicznej skał (ich miąższości, stopnia spękania i zawartości domieszek nierozpuszczalnych) wyróżnia się dwa **typy rzeźby krasowej**:

- **kras pełny (całkowity)** – powstaje w skałach łatwo rozpuszczalnych, o dużej miąższości i silnym spękanii, niemal pozbawionych domieszek ilastych, dzięki czemu rozwijają się dobrze wykształcone formy krasowe, a większość wód infiltruje w głąb podłoża, tworząc rozbudowane systemy podziemnego odpływu (co skutkuje małą gęstością sieci rzecznej);
- **kras niepełny (półkras)** – kształtuje się w skałach o małej miąższości lub występujących nieciągłe (np. w postaci soczewek), bądź zawierających liczne domieszki nierozpuszczalne (np. iły lub krzemionkę), przez co rzeźba ma charakter mieszany, w którym formom krasowym towarzyszą doliny rzeczne powstałe w wyniku erozyjnej działalności wód powierzchniowych.

KRAS PEŁNY (CAŁKOWITY)

Grube i czyste skały krasowięjące.
Silna infiltracja wód tworzy rozbudowany system podziemny, całkowicie eliminując powierzchniową sieć rzeczną.



KRAS NIEPEŁNY (PÓŁKRAS)

Skały krasowięjące o mniejszej miąższości.
Rzeźba mieszana, w której formom krasowym współtowarzyszy powierzchniowa sieć rzeczna i rzeźba fluwialna.



Chemizm procesów krasowych – przebieg procesów krasowienia

CHEMIZM PROCESÓW KRASOWYCH

Oddziaływanie wody wzbogaconej CO₂ na skały krasowiejące

ETAP 1: Powstawanie kwasu węglowego

Woda opadowa pochłania CO₂ i wnika w glebę, tworząc słaby kwas zdolny rozpuszczać skały



ETAP 2: Rozpuszczanie skał (krasowienie)

Kwas węglowy reaguje z wapniem, tworząc rozpuszczalny wodorowęglan wapnia



ETAP 3: Wytrącanie węglanu wapnia (kalcytu)

Z roztworu wytrąca się węglan wapnia (kalcyt), tworząc nacieki jaskiniowe i trawertyn



- Podstawą **procesów krasowienia** jest **chemiczne oddziaływanie wody wzbogaconej w dwutlenek węgla na skały ulegające krasowieniu** (“rozpuszczalne”).
- **Woda opadowa pochłania dwutlenek węgla z atmosfery**, a następnie, **infiltrując w podłoże i przechodząc przez warstwę gleby, ulega dodatkowemu wzbogaceniu w ten gaz** pochodzący z rozkładu materii organicznej.
- **Rozpuszczony w wodzie dwutlenek węgla** (pełniący rolę **bezwodnika kwasowego**) **łączy się z nią**, tworząc **roztwór kwasu węglowego** (który umożliwia w dalszym etapie rozpuszczanie skał), zgodnie z reakcją:



(woda + dwutlenek węgla → roztwór kwasu węglowego)

Rozpuszczanie skał wapiennych i wytrącanie węglanu wapnia

CHEMIZM PROCESÓW KRASOWYCH

Oddziaływanie wody wzbogaconej CO₂ na skały krasowiejące

ETAP 1: Powstawanie kwasu węglowego

Woda opadowa pochłania CO₂ i wnika w glebę, tworząc słaby kwas zdolny rozpuszczać skały



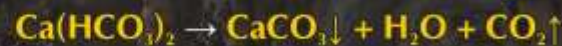
ETAP 2: Rozpuszczanie skał (krasowienie)

Kwas węglowy reaguje z wapieniem, tworząc rozpuszczalny wodorowęglan wapnia



ETAP 3: Wytrącanie węglanu wapnia (kalcytu)

Z roztworu wytrąca się węglan wapnia (kalcyt), tworząc nacieki jaskiniowe i trawertyn



→ Woda przesączająca się i spływająca systemem spękań skalnych, wcześniej wzbogacona w dwutlenek węgla (który reagując z wodą tworzy roztwór kwasu węglowego – H₂CO₃), powoduje w kolejnych etapach:

→ **rozpuszczanie skał węglanowych** (np. **wapieni**) – następuje reakcja węglanu wapnia (budującego skały wapienne) z kwasem węglowym, czego efektem jest **powstanie wodorowęglanu wapnia** (kwaśnego węglanu wapnia), który jest dobrze rozpuszczalny w wodzie:



(**węglan wapnia** budujący skały wapienne + roztwór **kwasu węglowego** → **wodorowęglan wapnia**);

→ **wytrącanie węglanu wapnia** (kalcytu) – zachodzące np. podczas tworzenia **nacieków jaskiniowych** lub **trawertynu**:



(spływający roztwór wodorowęglanu wapnia → **węglan wapnia** (kalcyt; budujący nacieki) + woda + dwutlenek węgla).

Kras na świecie

- **Rzeźbę krasową** – można obserwować w wielu regionach świata, w których występują skały podatne na **krasowienie** (głównie węglanowe, np. wapienie), m.in.:
 - **w Europie**: w Słowenii i we Włoszech (np. Wyżyna Kras), w Chorwacji (Góry Dynarskie), na Słowacji, w Czechach (np. Morawy), we Francji i w Hiszpanii (np. Majorka),
 - **w Polsce**: na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej, w Tatrach Zachodnich, Górach Świętokrzyskich, Pieninach i Sudetach;
 - **w Azji**: w południowych Chinach (np. rejon Guilin), w Wietnamie, Indonezji (Jawa i Celebes), Tajlandii i Malezji oraz Turcji (np. Pamukkale);
 - **w Ameryce Północnej i Środkowej**: w USA (np. Appalachy i Floryda), Meksyku (półwysep Jukatan), na Jamajce i Kubie;
 - **w Ameryce Południowej**: w Brazylii, Wenezueli i Kolumbii;
 - **w Afryce**: na Madagaskarze i w RPA;
 - **w Australii i Oceanii**: w Australii (Równina Nullarbor i Góry Błękitne), Nowej Zelandii i na Nowej Gwinei.



Jeziora Plitwickie w Chorwacji



Jaskinia Niedźwiedzia w Polsce



Kras powierzchniowy

Formy krasu powierzchniowego

- **Formy krasu powierzchniowego** – powstają w wyniku rozpuszczającej działalności wód wzbogaconych w dwutlenek węgla, głównie w obszarach zbudowanych ze skał węglanowych.
- Tworzą one bardzo zróżnicowaną i często malowniczą rzeźbę terenu, wśród której występują m.in.:
 - **żłobki i żeberka krasowe**,
 - **ospa krasowa**,
 - **kamenice (miseczki krasowe)**,
 - **jamy krasowe**,
 - **lapiez (lapiaz)**,
 - **lejki krasowe, uwały i polja** (w ich obrębie **jeziorka krasowe**),
 - **ostańce krasowe (mogoty)**,
 - **doliny krasowe (ślepe i półślepe)**,
 - **ponory i wywierzyska**,
 - **jary i kaniony krasowe**,
 - **kopuły i kaskady trawertynowe**.



Żłobki i żeberka krasowe (żebra krasowe)

- Przemieszczanie się i spływanie wód opadowych po pochyłych lub stosunkowo płaskich, odsłoniętych powierzchniach skalnych prowadzi do ich **rozpuszczania** (w mniejszym stopniu także erozji), czego efektem jest powstawanie charakterystycznych **mikroform krasowych**:
 - **żłobki krasowe** – podłużne, wąskie rynny (najczęściej o przekroju zbliżonym do litery U), powstające w wyniku rozpuszczającej działalności wody spływającej zgodnie ze spadkiem powierzchni terenu i pogłębiające się w głąb skały;
 - zazwyczaj są dość płytkie, chociaż najlepiej rozwinięte formy (np. w Alpach) mogą osiągać głębokość kilku metrów, a występując gromadnie, obejmują całą powierzchnię skały w postaci zespołu równoległych rynien;
 - **żeberka krasowe (żebra krasowe)** – podłużne, wypukłe grzbiety skalne oddzielające sąsiednie żłobki;
 - ulegają one stopniowemu niszczeniu w miarę pogłębiania się sąsiednich żłobków, aż do ich całkowitego zaniku.



Ospa krasowa

- **Ospa krasowa** – zespół niewielkich, krągłych lub owalnych zagłębień miseczkowatych lub rurkowatych, zwykle o dość płaskim dnie, tworzących się najczęściej na odsłoniętych, stosunkowo równych powierzchniach skalnych.
- Rozwój tych **mikroform krasowych** jest związany z rozpuszczającą działalnością wody, która po opadach deszczu gromadzi się w niewielkich zagłębieniach powierzchni skały (np. w mikronierównościach), gdzie okresowo zalega aż do momentu jej wyparowania lub wsiąknięcia.
- Zagłębienia te (najczęściej o średnicy i głębokości rzędu kilku centymetrów) występują zazwyczaj bardzo licznie i są oddzielone od siebie dość ostrymi grzbiecikami, przez co powierzchnia skały przypomina strukturę gąbki.



Kamenice (miseczki krasowe)

- **Kamenice (miseczki krasowe)** – są to niewielkie, choć znacznie większe zagłębienia krasowe (szersze i głębsze) od ospy krasowej, stanowiące bardziej zaawansowane stadium rozwoju form o podobnej genezie.
- Powstają najczęściej poprzez dalsze rozpuszczanie skały, poszerzanie i łączenie mniejszych zagłębień ospy krasowej, choć mogą również rozwijać się bezpośrednio jako większe formy.
- Zwykle osiągają kilkadziesiąt centymetrów średnicy, natomiast największe formy dochodzą do kilku metrów.
 - Są dość płytkie, zaś gromadząca się na ich dnie woda długotrwale zalegająca przyspiesza proces rozpuszczania.
 - Ich dno jest zazwyczaj płaskie, natomiast ściany – bardzo strome i często podcięte.



Jamy krasowe

- **Jamy krasowe** – stosunkowo niewielkie zagłębienia krasowe o bardzo nieregularnym, często asymetrycznym kształcie (najczęściej o głębokości od kilku centymetrów do kilku metrów), charakteryzujące się stromymi ścianami i nierównym dnem, powstające zwykle na płaskich lub pochyłych powierzchniach skalnych.
- Rozwijają się one zazwyczaj w miejscach osłabienia struktury skały (np. wzdłuż spękań i szczelin – szczególnie w miejscach ich krzyżowania), gdzie woda opadowa najłatwiej wnika w głąb.
- Przeważnie są częściowo wypełnione materiałem zwietrzelinowym, jednak ich rozwój nie ustaje i postępuje dalej pod pokrywą zwietrzeliny oraz warstwą roślinności.



Lapiez (Lapiaz)

- **Lapiez (lapiaz)** – rozległa, odsłonięta powierzchnia wapienna, silnie pocięta przez rozpuszczającą działalność wody, charakteryzująca się bogactwem urozmaiconych i nieregularnych mikroform krasowych o różnym wyglądzie i kształtach (obejmujących m.in. żłobki i żeberka krasowe, ospę krasową, kamenice oraz jamy krasowe).
- Tworzy się na powierzchniach skał węglanowych pozbawionych pokrywy glebowej, gdzie są one bezpośrednio narażone na działanie wody.
- Występuje na wielu wyżynach i w górach m.in. w Alpach, Górach Jura i Tatrach Zachodnich (np. w masywie Czerwonych Wierchów) – ich powierzchnia jest silnie rozczłonkowana, co znacznie utrudnia poruszanie się po nich.

Lapiez (lapiaz) – silnie rozczłonkowana powierzchnia skał wapiennych z licznymi mikroformami krasowymi, m.in. żłobkami i żeberkami krasowymi, ospą krasową, kamenicami oraz jamami krasowymi



Tatry Zachodnie – Czerwone Wierchy z lapiezem

Lejki krasowe (leje krasowe)

- **Lejki krasowe (leje krasowe)** – okrągłe lub owalne zagłębienia terenu, znacznie większe od ospy krasowej, kamenic czy jam krasowych, występujące pojedynczo lub grupowo (tworząc tzw. **poła lejków krasowych**).
- Ich średnica waha się od kilku do kilkuset metrów, a głębokość zazwyczaj od kilku do kilkudziesięciu metrów (w wyjątkowych przypadkach może być większa i wynosić nawet powyżej 100 metrów).
- Największe formy rozwijają się na obszarach o sprzyjających warunkach geologicznych (duża miąższość skał krasowiejących i ich silne spękanie), które umożliwiają intensywne rozpuszczanie i rozwój pustek podziemnych.



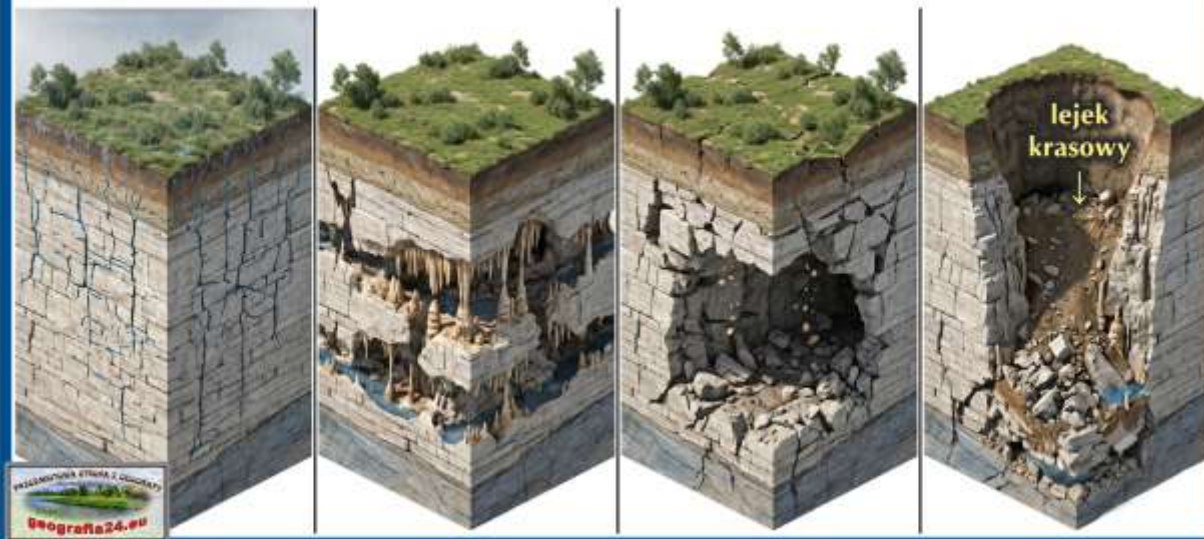
Jak powstają lejki krasowe (leje krasowe)?

- **Lejki krasowe (leje krasowe)** – powstają i rozwijają się w wyniku krasowienia skał podłoża (najczęściej wapieni), a w zależności od jego budowy geologicznej wyróżnia się dwa główne mechanizmy ich powstawania:
 - **osiadanie** – następuje w wyniku powiększania się podziemnych pustek krasowych (np. jaskiń), do których przemieszczają się nierozpuszczalne osady z powierzchni (np. piaski i ły), co prowadzi do obniżania się powierzchni terenu i powstawania łagodnych, symetrycznych form w kształcie leja (często porośniętego roślinnością – trawą lub/i lasem);
 - **zapadanie się** – występuje, gdy podziemne pustki (np. jaskinie) powiększają się wskutek rozpuszczania skał, aż do zawalenia się ich stropu, co prowadzi do powstania dużych, głębokich form (nawet do około 100 m głębokości) o stromych i nieregularnych ścianach.
 - Oba te procesy często zachodzą wzdłuż stref spękań i przebiegu podziemnych cieków wodnych, co powoduje ich liniowe rozmieszczenie na powierzchni terenu.

Lejek krasowy z osiadania



Lejek krasowy z zapadania



Występowanie lejków krasowych (lejów krasowych)

- Lejki krasowe (leje krasowe) – są bardzo powszechnymi formami rzeźby, występującymi na obszarach zbudowanych ze skał podatnych na krasowienie (zwłaszcza na wyżynach i w niektórych górach).
- Można je spotkać w obrębie:
 - **skał wapiennych**, m.in. na **Morawach** w Czechach oraz w polskich **Tatrach**;
 - **skał kredowych**, np. na **Wyżynie Lubelskiej** i **Polesiu**, gdzie ze względu na powszechność występowania określane są lokalnie jako “wertebry” (są to lejki płytkie i szerokie, o łagodnych zboczach pokrytych zwietrzeliną);
 - **skał gipsowych**, np. w obrębie **Niecki Nidziańskiej**.



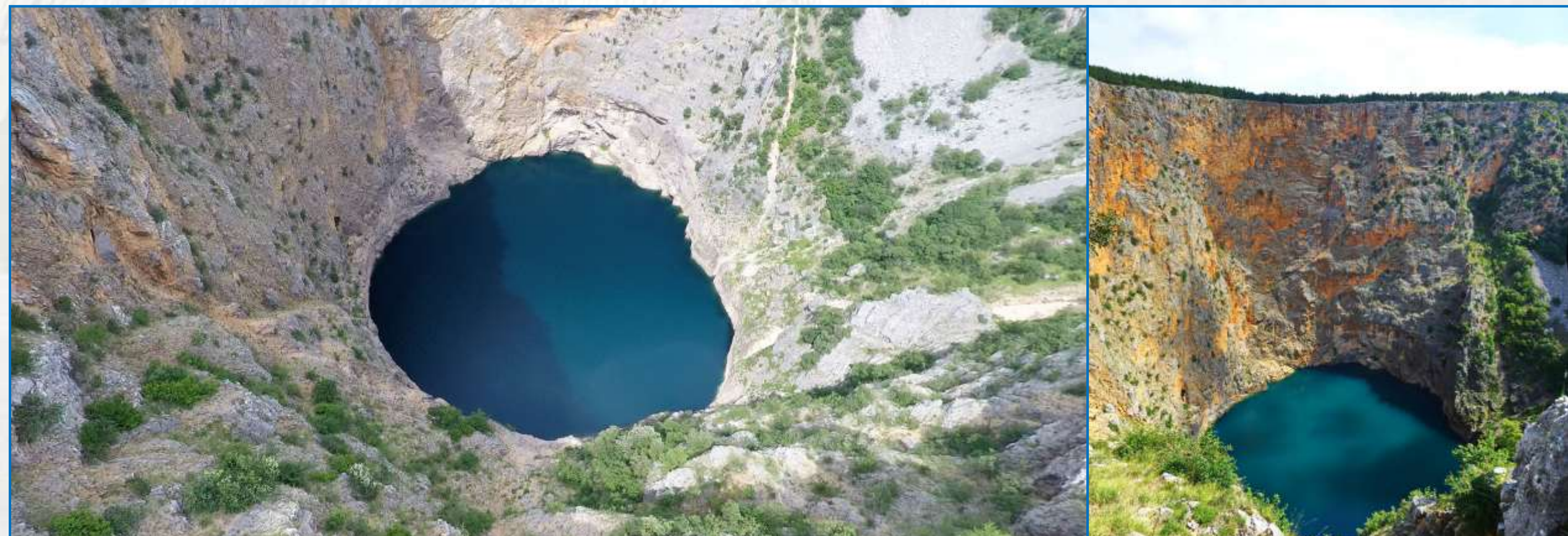
Lejki krasowe w Tatrach w Polsce



Malownicza górską kotliną w Czarnogórze usiana wieloma lejkami krasowymi

Jeziorka krasowe

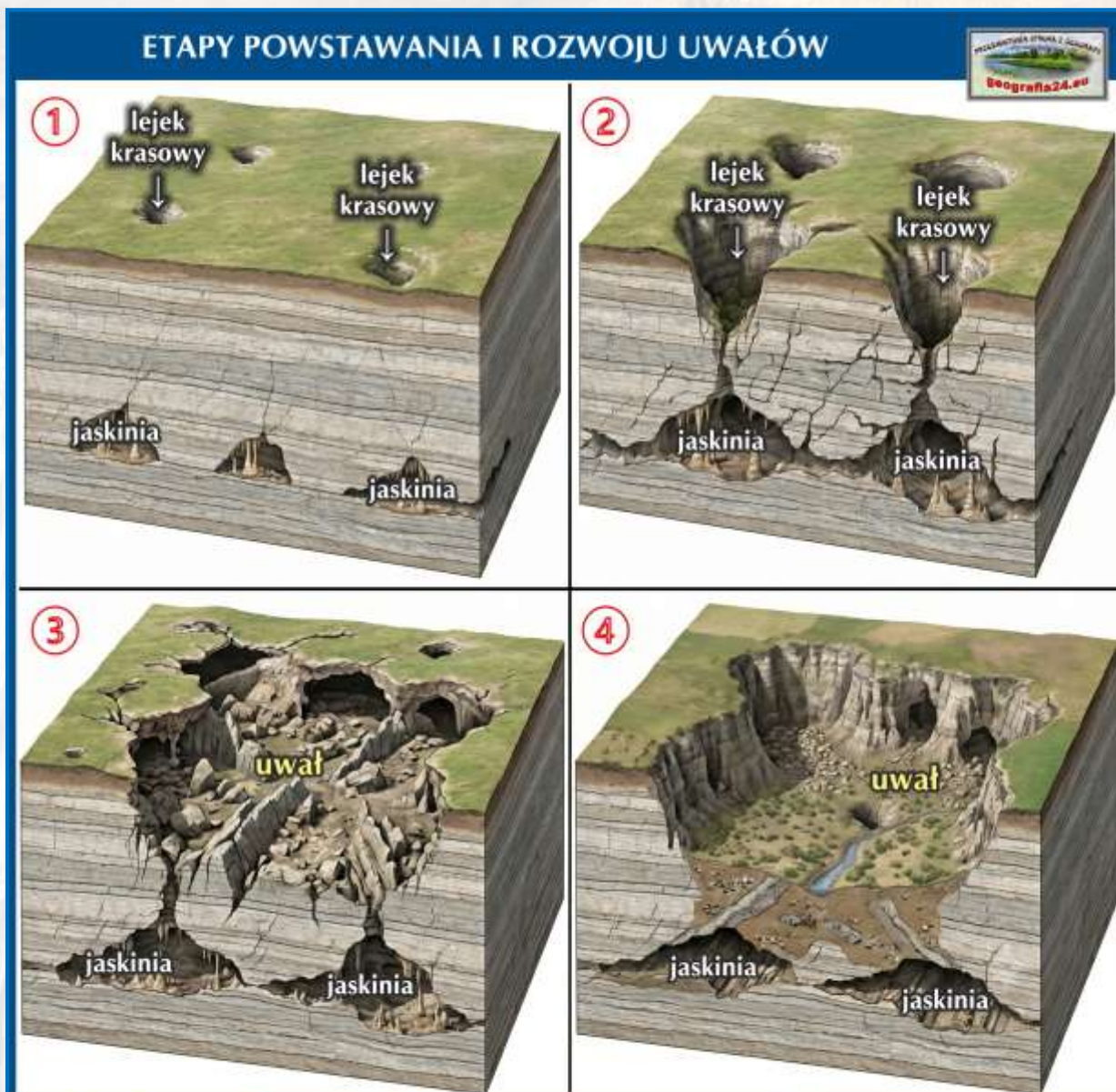
- **Jeziorka krasowe** – niewielkie zbiorniki wodne powstające na dnie lejów krasowych (rzadziej także innych form krasowych), mające najczęściej charakter okresowy, choć mogą występować również stale.
- Tworzą się wówczas, gdy woda opadowa gromadzi się w zagłębieniu i nie może swobodnie wnikać w głąb podłoża.
- Zjawisko to zachodzi najczęściej w przypadku uszczelnienia dna leja krasowego materiałem nierozpuszczalnym (np. gliną), który blokuje infiltrację wody do systemu podziemnych spękań, lub gdy dno zagłębienia znajduje się blisko poziomu wód podziemnych.



Czerwone Jezero (Crveno jezero) – spektakularne jezioro krasowe położone na dnie leja krasowego w południowej Chorwacji w regionie Dalmacji

Uwały

- **Uwały** – rozległe zagłębienia terenu, znacznie większe od lejków krasowych (o rozmiarach do kilku kilometrów długości i szerokości), powstające głównie w wyniku stopniowego rozszerzania się i łączenia sąsiadujących ze sobą lejków, a także miejscami w wyniku zapadania się stropów podziemnych pustek krasowych (np. jaskiń).
- Charakteryzują się bardzo nieregularnym kształtem oraz dnem, które w początkowych fazach rozwoju jest nierówne i pocięte pozostałościami grzęd skalnych.
- W późniejszych stadiach dno ulega wyrównaniu wskutek całkowitego zniszczenia grzęd oraz akumulacji osadów i materiału zwietrzelinowego w obrębie obniżień.



Uwały – rozległe zagłębienia krasowe powstające poprzez łączenie się sąsiednich lejków lub zapadanie stropów jaskiń, o nieregularnym, stopniowo wyrównującym się dnie.



Polja (popławy)

- **Polja (popławy)** – najbardziej rozległe, kotlinne formy krasu powierzchniowego, powstające najczęściej w wyniku łączenia się wielu uwałów w specyficznych warunkach tektonicznych i geologicznych.
- Są to duże, niemal zamknięte obniżenia terenu o bardzo dużych rozmiarach (od 1 km² do ponad 500 km²), często rozwijające się wzdłuż stref uskokowych i obniżień tektonicznych.
- Charakteryzują się rozległym, stosunkowo płaskim dnem, z którego miejscami mogą wyrastać ostańcowe, skaliste wzniesienia zwane **mogotami**.
- Najbardziej znane polja występują w **Górach Dynarskich** (np. Popovo Polje, Kosovo Polje).
- W Polsce formy zbliżone do poljów występują m.in. w obrębie **Niecki Nidziańskiej**.



Chińska prowincja **Guilin**

ETAPY POWSTAWANIA I ROZWOJU POLJI



Polja (popławy) – ogromne, niemal zamknięte obniżenia krasowe o płaskim dnie, z którego mogą wyrastać skaliste mogoty. Powstają najczęściej wskutek łączenia się uwałów, rozwijając się wzdłuż stref uskokowych i obniżień tektonicznych.

Hydrologia i rodzaje poljów

- Ze względu na swój zamknięty charakter, polja cechują się specyficznym obiegiem wody, zależnym od drożności podziemnych systemów krasowych.
 - Po intensywnych opadach lub roztopach dno polja może być zalewane przez wody wypływające z **wywierzysk**, które następnie odpływają w głąb skał poprzez **ponory**.
- Ze względu na warunki wodne wyróżnia się:
 - **polja suche** – woda opadowa szybko wnika w podłoże (wysoka przepuszczalność i sprawny odpływ podziemny);
 - **polja okresowo nawadniane** – woda zalega po intensywnych opadach, gdy system podziemny nie nadąża z jej odprowadzaniem;
 - **polja stale wypełnione wodą** – dno pozostaje zalane przez większość czasu wskutek utrudnionego odpływu (np. z powodu niedrożności kanałów krasowych lub obecności osadów nierozpuszczalnych).



Popovo polje – w większości suche, leży w Górach Dynarskich (Bośnia i Hercegowina) i zajmuje około 250 km². Przez jego płaskie dno płynie Trebisnjica, która miejscami wnika systemem wielu pęknięć i dalej płynie w podziemnych systemach szczelin.

Cerknisko polje – leży w Górach Dynarskich (Słowenia) i zajmuje około 40 km². W jego dnie znajduje się Jezioro Cerknica – największy w Europie akwen okresowy, który za sprawą unikalnego systemu podziemnych kanałów regularnie całkowicie znika i pojawia się na powierzchni po większych opadach deszczu.



Ostańce krasowe (mogoty, humy, homy, mosory)

- **Ostańce krasowe** (**mogoty**; lokalnie **humy**, **homy** lub **mosory**) – izolowane wzniesienia o charakterze ostańcowym, najczęściej o kształcie wież, stożków lub kopuł, osiągające wysokość do kilkuset metrów, powstające w wyniku długotrwałego i zróżnicowanego rozpuszczania skał krasowięjących oraz usuwania materiału skalnego z otoczenia.
- Stanowią pozostałości dawnych powierzchni krasowych, które uległy niemal całkowitemu zniszczeniu w wyniku intensywnego krasowienia i denudacji.
- W obrębie mogotów występują liczne formy krasu powierzchniowego (np. żłobki i żeberka krasowe) oraz podziemnego (np. jaskinie z rozwiniętymi formami naciekowymi).
- Najbardziej znane przykłady występują m.in. w rejonie Guilin (Chiny), w zatoce Ha Long (Wietnam), w Indonezji (Jawa i Celebes), Tajlandii, na Kubie, Jamajce, Nowej Gwinei, Portoryko, Madagaskarze, w Meksyku i Chorwacji.



Mogoty w chińskiej prowincji Guilin



Mogoty – wyspy Jamesa Bonda w Tajlandii

Formy dolinne w obszarach krasowych (fluwiokrasowe) – doliny krasowe

- **Doliny krasowe** – formy dolinne o zwykle dość stromych zboczach, powstające na obszarach krasowych w wyniku współdziałania procesów krasowych i fluwialnych (erozji rzecznej oddziałującej na krasowiejące podłoże).
- Obszary krasowe, w których dominują procesy fluwialne, określa się mianem **fluwiokrasu**.
- W ich obrębie wyróżnia się m.in.:
 - **doliny ślepe** – doliny, które kończą się nagle na powierzchni terenu, gdzie płynący nimi ciek wodny zanika, wnikając pod ziemię w miejscu zwanym **ponorem**;
 - **doliny półślepe** – doliny, w których ciek wodny częściowo zanika w podłożu, lecz jego dolina ma dalszą kontynuację na powierzchni terenu;
 - przy normalnych stanach woda odpływa głównie systemem podziemnym, natomiast podczas intensywnych opadów nadmiar wody płynie dalej dawnym korytem na powierzchni.
 - Płynąca w systemie podziemnym może z powrotem wypływać na powierzchnię terenu poprzez **wywierzska**, czyli bardzo wydajne **źródła krasowe**.



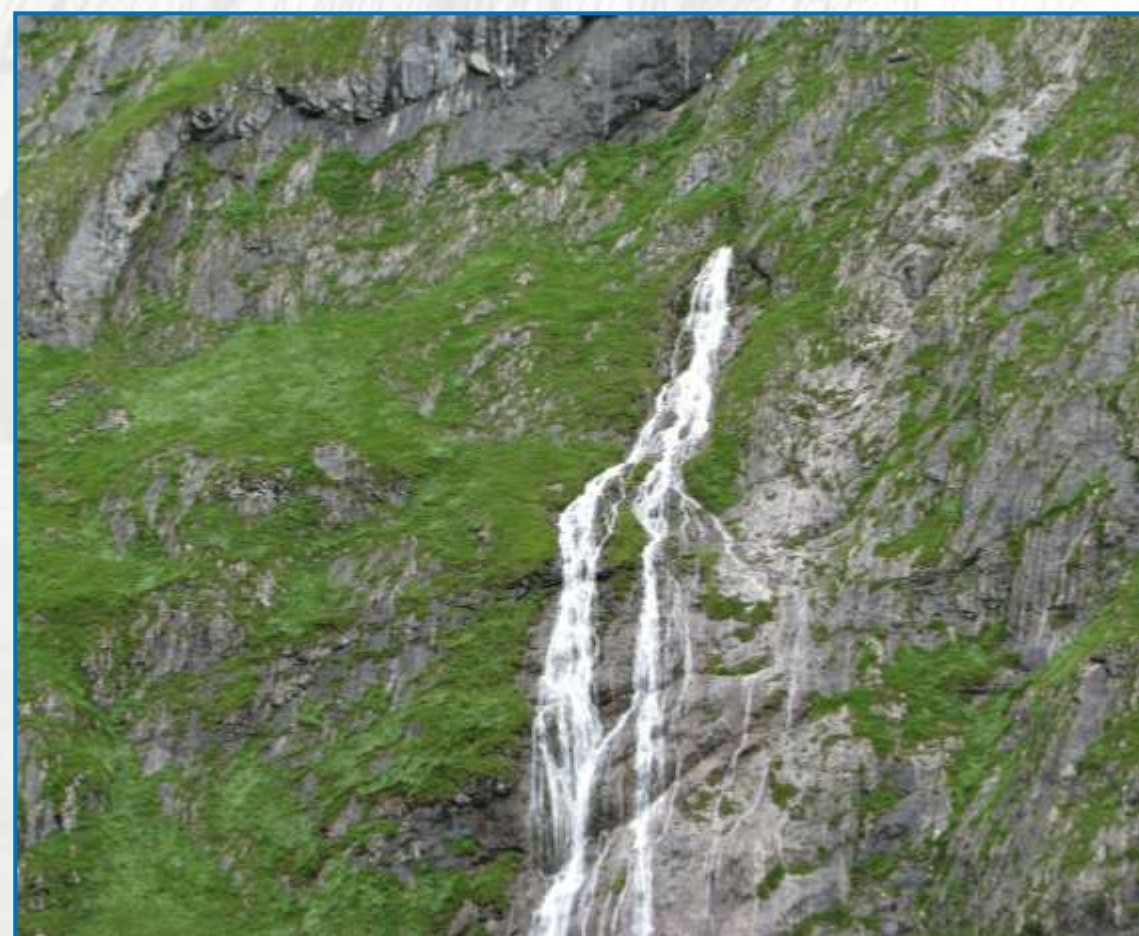
Ponor

- **Ponor** – forma krasowa stanowiąca miejsce zaniku wód powierzchniowych (np. potoków lub rzek), które wnikają w głąb skał i zasilają system krasowych wód podziemnych.
- Posiada najczęściej postać pionowego otworu, poszerzonej szczeliny krasowej lub korytarza wydrążonego w skale przez przepływającą wodę.
- W Polsce, na obszarze Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, formy te potocznie zwane są **łykawicami**.



Źródła krasowe – tzw. wywierzyska

- **Wywierzyska** (źródła krasowe) – specyficzne źródła występujące na obszarach krasowych, stanowiące miejsca wypływu wód podziemnych na powierzchnię terenu, często będących wcześniej wodami, które zanikły w **ponorach**.
- Ze względu na zasilanie z rozległych systemów podziemnych szczelin i kanałów krasowych cechują się dużą wydajnością i zmiennością przepływu.
- Doliny rzeczne rozpoczynające się w obrębie wywierzysk są często silnie zasilane już u źródła, co sprzyja intensywnemu rozcinaniu terenu i powstawaniu wyraźnie głęboko wciętych dolin.



Dolinne formy rzeźby krasowej

- **Dolinne formy rzeźby krasowej** – powstają w wyniku współdziałania erozji rzecznej i procesów krasowych, które prowadzą do powstawania głęboko wciętych dolin o zróżnicowanej budowie i kształcie, w tym należące do nich:
 - **jary krasowe** – stosunkowo wąskie doliny o stromych zboczach i przekroju zbliżonym do litery V, powstające głównie w wyniku erozji wgłębnej, osiągające zazwyczaj niewielkie rozmiary i najczęściej prowadzące wodę stale;
 - **kaniony krasowe** – głębokie doliny o stromych, często niemal pionowych ścianach skalnych i stosunkowo wąskim dnie, powstające w wyniku intensywnego rozcinania skał krasowiejących przez cieki powierzchniowe, które zwykle mają charakter stały, często rozwijające się wzdłuż stref spękań (np. kanion Verdon we Francji i Tara w Czarnogórze);
 - **wąwozy krasowe** – wąskie i głęboko wcięte formy dolinne o stromych zboczach, rozwijające się często wzdłuż szczelin i spękań skalnych oraz mające najczęściej charakter suchych dolin prowadzących wodę jedynie okresowo (np. Wąwóz Kraków w Tatrach Zachodnich).



Wąwóz Kraków w Tatrach Zachodnich

Kopuły i kaskady trawertynowe

- **Kopuły i kaskady trawertynowe** – powstają w wyniku wtórnej akumulacji węglanu wapnia, zachodzącej podczas wytrącania się tego minerału z wód źródłanych (często gorących) bogatych w rozpuszczony dwutlenek węgla.
- Tworzą się na progach i stokach w wyniku **odgazowania CO_2** i **osadzania się węglanu wapnia**, prowadzącego do narastania **warstw trawertynu** (zwanego również **martwicą wapienną**).
- **Trawertyn** jest porowatą skałą osadową, często zawierającą szczątki organiczne (np. fragmenty roślin), które uległy szybkiemu obudowaniu przez wytrącający się minerał.
- Najbardziej znane formy tego typu występują w **Parku Narodowym Yellowstone (USA)** i w **Pamukkale (Turcja)**.



Pamukkale w Turcji



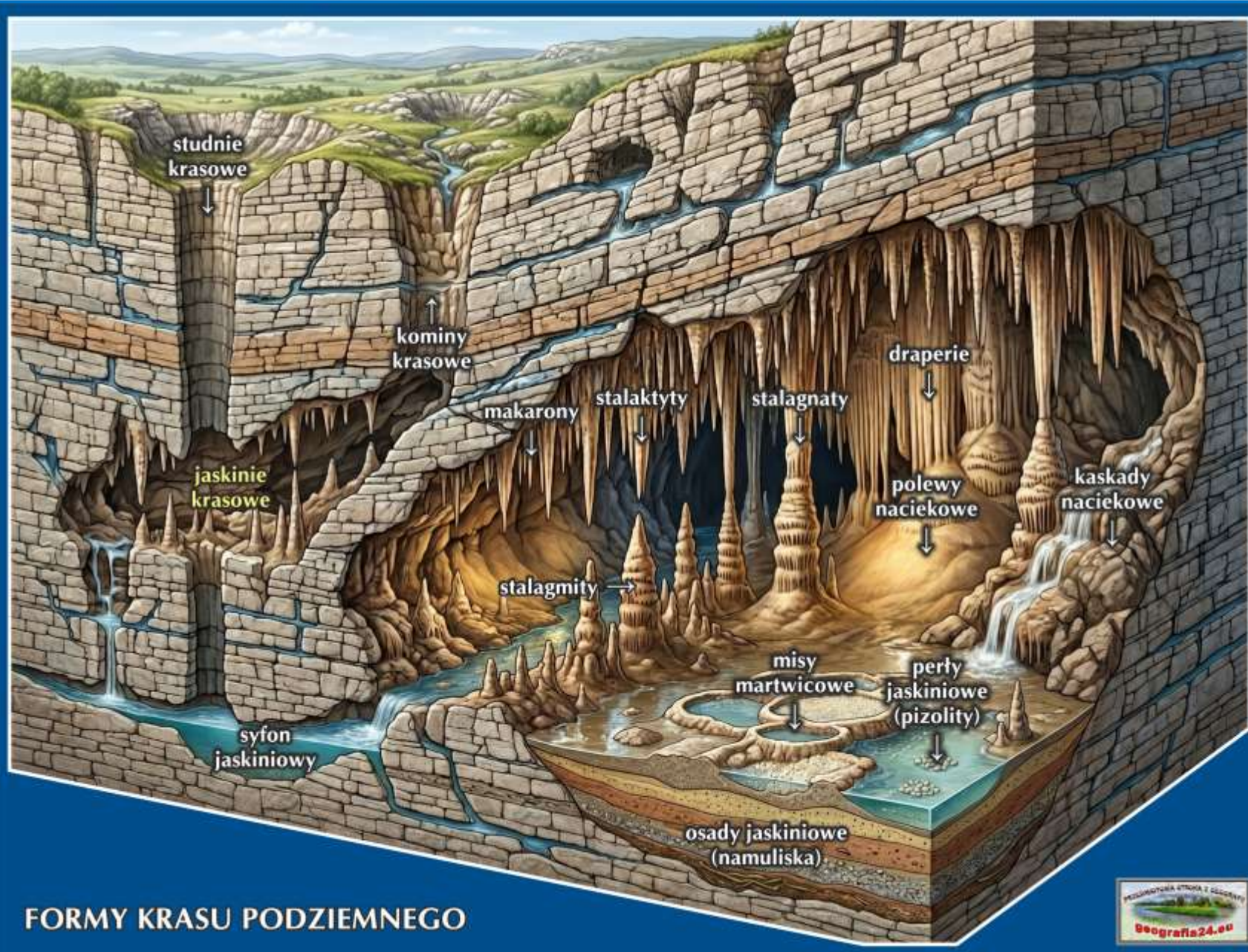
Mammoth Hot Springs w Parku Narodowym Yellowstone w USA



Kras podziemny

Formy krasu podziemnego

- **Formy krasu podziemnego** – powstają w wyniku przenikania wód do systemu podziemnego oraz rozpuszczania skał (węglanowych, siarczanowych i chlorkowych), a także wytrącania minerałów i akumulacji materiału.
- Wśród nich wyróżnia się m.in.:
 - studnie krasowe,
 - kominy krasowe,
 - jaskinie krasowe,
 - syfony jaskiniowe,
 - formy naciekowe (stalaktyty, stalagmity, stalagnaty, makarony, draperie, polewy naciekowe i kaskady naciekowe),
 - misy martwicowe i perły jaskiniowe (pizolity),
 - osady jaskiniowe (namuliska).



Studnie krasowe

- **Studnie krasowe** – pionowe formy krasu podziemnego o charakterze szybu, stanowiące fragmenty systemu jaskiniowego, które łączą powierzchnię terenu z jego głębszymi partiami (stanowią drogi pionowego transportu wód do systemu krasowego).
- Charakteryzują się przekrojem zbliżonym do okrągłego lub nieregularnego, a ich ściany mogą ulegać miejscowym rozszerzeniom lub zwężeniom w zależności od budowy skał i przebiegu szczelin (przy czym im głębiej, tym zazwyczaj stają się one szersze).
- Powstają najczęściej wzdłuż pionowych pęknięć i szczelin skalnych, którymi wody powierzchniowe wnikają w głąb podłoża, zasilając system krasowy.
- Określenie to stosuje się do pionowego korytarza w sytuacji, gdy obserwujemy go z góry, patrząc w dół.



Kominy krasowe

- **Kominy krasowe** – pionowe korytarze w obrębie systemu krasowego, łączące jego różne poziomy lub powierzchnię z głębszymi partiami (umożliwiają przepływ wód w obrębie systemu jaskiniowego).
- Powstają w wyniku poszerzania pionowych szczelin i spękań skalnych, którymi wody opadowe i roztopowe wnikają w głąb podłoża.
- Charakteryzują się nieregularnym przebiegiem i zmiennym przekrojem, uzależnionym od budowy geologicznej skał.
- Ich szerokość często wzrasta w dolnych partiach.
 - Najgłębsze formy osiągają nawet kilkaset metrów.
- Pod względem genezy są zbliżone do studni krasowych, lecz termin “komin” stosuje się, gdy pionowy korytarz obserwowany jest z wnętrza jaskini.



Jaskinie krasowe

- **Jaskinie krasowe** – naturalne pustki skalne o rozmiarach umożliwiających eksplorację przez człowieka, powstałe w wyniku rozpuszczania skał, głównie wapieni i dolomitów.
- Tworzą się i powiększają najczęściej w miejscach, gdzie poziomy przepływ wód krasowych łączy się z systemami pionowymi, np. studniami lub kominami.
- Rozwijają się w pionie lub poziomie, często tworząc kilka poziomów odpowiadających dawnym położeniom dna dolin, a sieć połączonych ze sobą jaskiń tworzy rozległe **systemy jaskiniowe**.
- W miejscach krzyżowania się szczelin ulegają poszerzeniu, tworząc większe przestrzenie w postaci **sal jaskiniowych**.
- Naukowym badaniem i eksploracją jaskiń zajmują się **speleolodzy**.



Jaskinia Niedźwiedzia w Sudetach (Polska)



Jaskinia Cuevas del Drach na Majorce (Hiszpania)

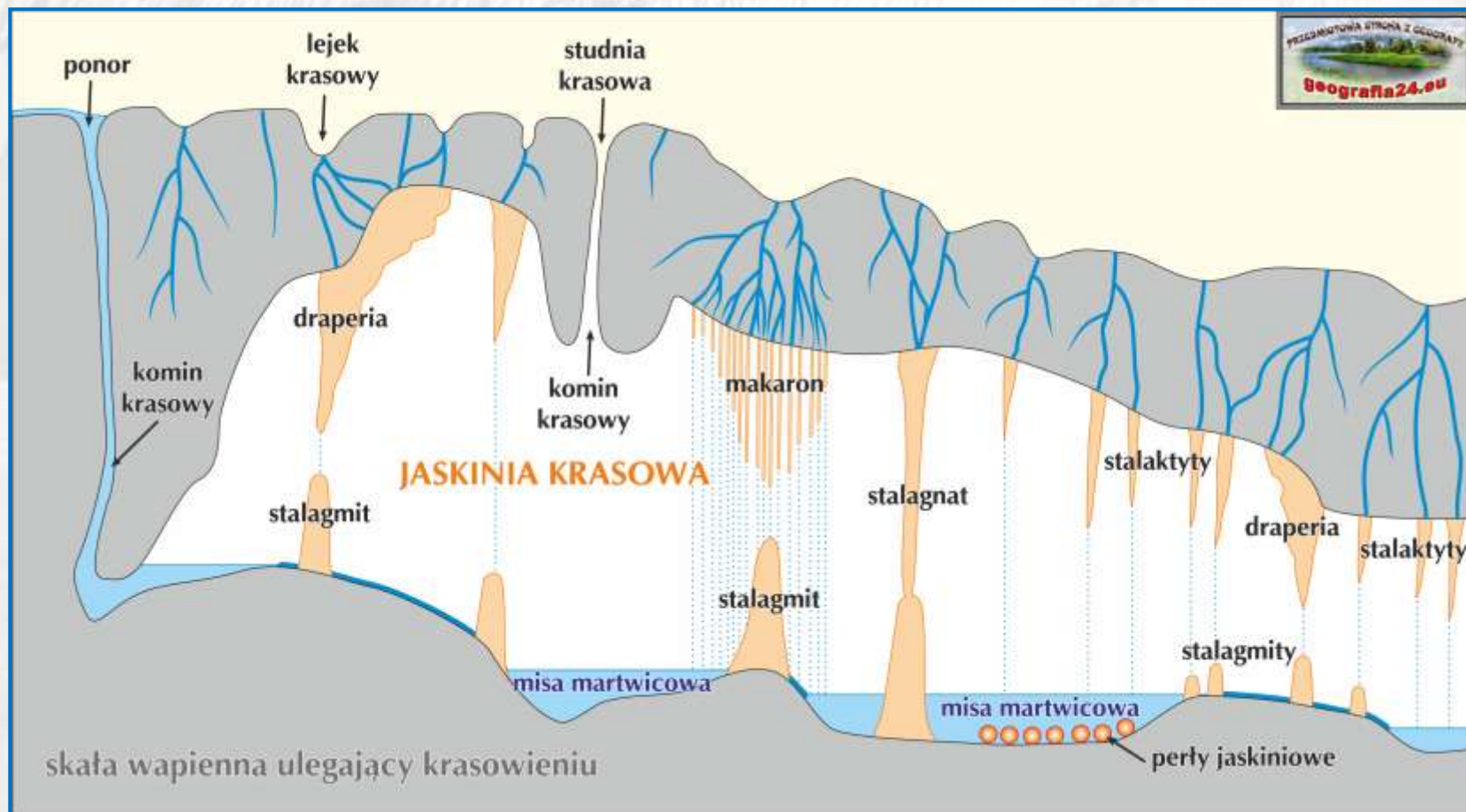
Syfony jaskiniowe

- **Syfony jaskiniowe** – odcinki korytarzy jaskiniowych całkowicie wypełnione wodą, od dna aż po strop.
- Mogą występować w korytarzach o różnym nachyleniu i często przybierają kształt litery “U”.
- Stanowią naturalną barierę w systemach jaskiniowych, odcinając dalsze, suche partie.
- Ich pokonanie jest trudne i wymaga często użycia specjalistycznego sprzętu nurkowego, a nurkowanie w takich warunkach wykonują zwykle jedynie doświadczeni speleologowie.



Formy naciekowe

- **Formy naciekowe** – powstają w jaskiniach oraz szczelinach skalnych w wyniku wytrącania się węglanu wapnia z wód przesączających się przez skały (proces ich powstawania jest bardzo powolny i może trwać tysiące lat).
- Nacieki mogą przybierać różne barwy w zależności od domieszek innych związków chemicznych.
 - Często są zabarwione przez związki żelaza, które nadają im odcienie od żółtego po brązowy.
- Do najważniejszych form naciekowych zalicza się: **stalaktyty**, **stalagmity**, **stalagnaty**, **makarony** (stalaktyty rurkowe), **draperie** (zastony naciekowe), **polewy naciekowe** i **kaskady naciekowe**.



Stalaktyty

- **Stalaktyty** – wydłużone, zwisające ze stropu jaskini formy naciekowe o kształcie stożków lub sopli, powstające u wylotu szczelin stropowych wskutek skapywania wody zawierającej rozpuszczony węglan wapnia i jego wytrącania się, co prowadzi do ich narastania ku dołowi.
- Ich rozwój i kształt zależą od warunków mikroklimatycznych panujących w jaskini, zwłaszcza wilgotności powietrza oraz intensywności i regularności skapywania roztworu zawierającego węglan wapnia.
- Tworzą się wolno – ich tempo wzrostu wynosi średnio około 0,1 mm/rok.

Formy naciekowe w jaskiniach: stalaktyty



Makarony (stalaktyty rurkowe)

- **Makarony (stalaktyty rurkowe)** – najcieńsze i zwykle wydłużone stalaktyty, mające postać cienkich, pustych w środku rurek o średnicy zbliżonej do wielkości pojedynczej kropli wody.
- Przez ich wnętrze spływa roztwór zawierający węglan wapnia, który wytrąca się wyłącznie na końcu rurki, co powoduje ich wydłużanie się ku dołowi bez zwiększania grubości.
- Tworzą się w warunkach bardzo słabego ruchu powietrza i są niezwykle kruche, przez co łatwo ulegają uszkodzeniu.

Formy naciekowe w jaskiniach: makarony (stalaktyty rurkowe)



Stalagmity

- **Stalagmity** – formy naciekowe **narastające od dna jaskini ku górze**, zwykle szersze od stalaktytów, o kształcie kopuł lub stożków.
- Powstają wskutek skapywania wody ze stropu (najczęściej ze stalaktytów) – krople spływające na podłoże powodują wytrącanie węglanu wapnia, który gromadzi się, budując formę ku górze.
- Największe formy rozwijają się pod stalaktytami lub większymi szczelinami, którymi spływa roztwór zawierający węglan wapnia.
- Ich tempo wzrostu jest bardzo powolne i wynosi, w zależności od warunków środowiskowych, zwykle poniżej 0,1 mm na rok.

Formy naciekowe w jaskiniach: stalagmity



Stalagnaty

- **Stalagnaty (kolumny naciekowe)** – masywne formy naciekowe łączące strop jaskini z jej dnem, powstające w wyniku stopniowego wzrostu i połączenia **stalaktytu** (od stropu jaskini) i **stalagmitu** (od dna jaskini).
- Tworzą się w miejscach długotrwałego i regularnego skapywania roztworu zawierającego węglan wapnia, co umożliwia jednoczesny rozwój obu form aż do ich połączenia w kolumnę.
- Po połączeniu dalszy rozwój kolumny polega głównie na zwiększaniu jej szerokości (przyroście na grubość) wskutek ciągłego lub okresowego osadzania się węglanu wapnia spływającego po jej powierzchni.

Formy naciekowe w jaskiniach: stalagnaty



Draperie (zaślony naciekowe)

- **Draperie (zaślony naciekowe)** – formy naciekowe przypominające **cienkie**, często **pofalowane zaślony** zwisające w dół.
- Tworzą się na nachylonych ścianach lub pochyłych stropach jaskiń, gdzie woda nie kapie bezpośrednio, lecz spływa ciekłą warstwą po powierzchni skały.
- W trakcie spływu węglan wapnia wytrąca się wzdłuż drogi przepływu, tworząc narastające ku dołowi, często półprzezroczyste i pasiaste struktury przypominające zwisające tkaniny.
- Jasne (białe) pasy w draperiach tworzy czysty kalcyt, natomiast odcienie czerwone wynikają z obecności związków żelaza w kalcyście.

Formy naciekowe w jaskiniach: draperie (zaślony naciekowe)



Polewy naciekowe

- **Polewy naciekowe** – bardzo powszechne i rozległe formy naciekowe, pokrywające ściany, dna i bloki skalne wewnątrz jaskiń.
- Powstają w wyniku wytrącania się węglanu wapnia z wody, która nie kapie, lecz spływa cienką, szeroką warstwą po pochyłych powierzchniach skał.
- Z czasem prowadzi to do powstania gładkich, lśniących i często pofalowanych powłok o różnej grubości.



Formy naciekowe w jaskiniach: polewy naciekowe



Kaskady naciekowe

- **Kaskady naciekowe** – formy naciekowe powstające w wyniku intensywnego rozwoju pól naciekowych na nachylonych powierzchniach, po których spływa woda.
- Tworzą się w miejscach, gdzie spływa większa ilość wody, co sprzyja szybkiemu narastaniu kolejnych warstw węgla wapnia.
- Przybierają postać stopniowo opadających struktur przypominających skamieniałe kaskady lub zastygłe wodospady.

Formy naciekowe w jaskiniach: kaskady naciekowe



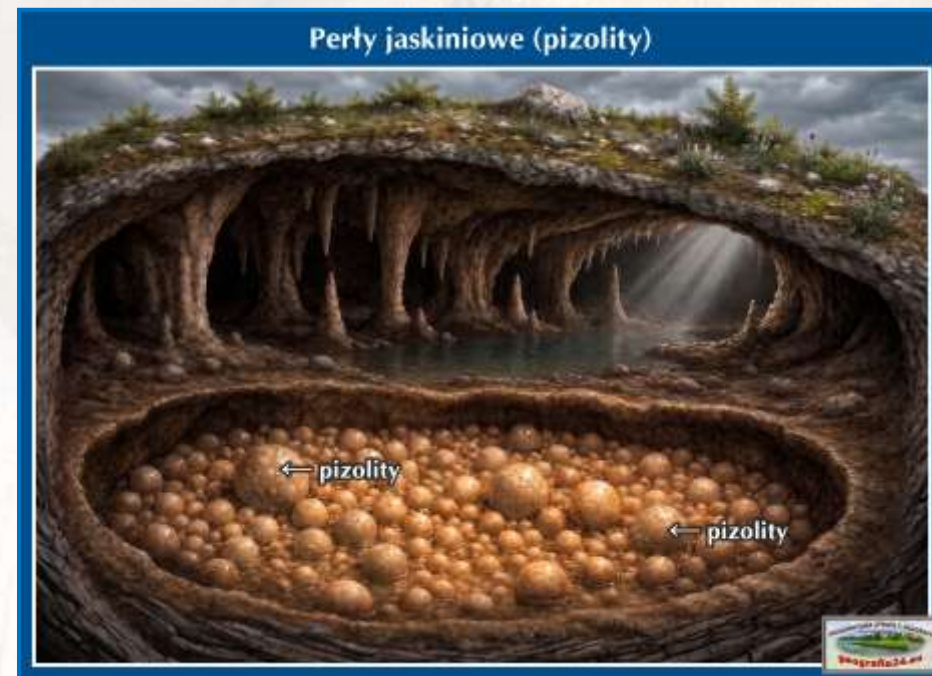
Misy martwicowe

- **Misy martwicowe** – płytkie zagłębienia (**baseny**) w dnie jaskini, otoczone **progami** i **groblami** utworzonymi z wytrąconego z wody węgla wapnia.
- Powstają w miejscach gromadzenia się i powolnego przelewania wody, gdzie kalcyt osadza się na krawędziach przepływu, stopniowo nadbudowując otaczające je progi.
- Często występują na różnych poziomach, tworząc rozległe, kaskadowe układy ciągnące się wzdłuż korytarzy jaskiniowych, które w niektórych jaskiniach osiągają długość dziesiątek, a nawet setek metrów.
- Wypełnione są zwykle wodą lub okresowo pozostają suche.



Perły jaskiniowe (pizolity)

- **Perły jaskiniowe (pizolity)** – niewielkie, kuliste formy kalcytowe powstające najczęściej w misach martwicowych, gdzie kapiąca lub wolno przepływająca woda wprawia je w delikatny ruch, co wpływa na ich kształt i zapobiega przytwierdzeniu do podłoża.
- Ich średnica zwykle wynosi od kilku milimetrów do kilku centymetrów.
- Wewnątrz każdej perły znajduje się jądro krystalizacji (np. ziarenko piasku lub drobny okruch skalny), wokół którego koncentrycznie, warstwa po warstwie, wytrąca się węglan wapnia.
- Perły jaskiniowe charakteryzują się zróżnicowanym zabarwieniem, zależnym od obecności domieszek innych związków chemicznych:
 - **związki żelaza** nadają im odcienie **od żółtego po brązowy**,
 - **związki miedzi** – **zielone**,
 - **związki cynku** – **niebieskie**.



Osady jaskiniowe (namuliska)

- **Osady jaskiniowe (namuliska)** – materiał okruchowy wyścielający dna jaskiń, przynoszony i odkładany najczęściej przez okresowo płynące wody podziemne.
- W osadach tych zachowują się cenne szczątki roślin i zwierząt, które obecnie nie występują.
- Doskonałym przykładem jest Jaskinia Niedźwiedzia w Masywie Śnieżnika, której nazwa pochodzi od licznych kości niedźwiedzi jaskiniowych znajdujących w namuliskach.
- Zwierzęta te wykorzystywały jaskinię jako miejsce snu zimowego, a po ich śmierci wody okresowych wezbrań przenosiły ich szczątki i gromadziły je w zagłębieniach, tworząc bogate osady kostne.





Jaskinie w Polsce – wybrane przykłady

Jaskinia Niedźwiedzia

- **Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie** – jedna z najpiękniejszych jaskiń naciekowych w Polsce, położona w **Sudetach**, w **Masywie Śnieżnika**.
- Obszerne sale i korytarze wypełnione są niezwykle urozmaiconymi naciekami, które aktywnie narastają, są barwne i efektownie kontrastują z ciemnymi ścianami skalnymi.
- W namuliskach znaleziono liczne kości niedźwiedzia jaskiniowego.
- Jaskinia wciąż aktywnie się rozwija – w korytarzach występują liczne kałuże i jeziorka, a ściekająca woda powoduje dalsze narastanie nacieków.
- Według badań długość korytarzy wynosi około 4,5 km, a jaskinia rozwija się na trzech poziomach.



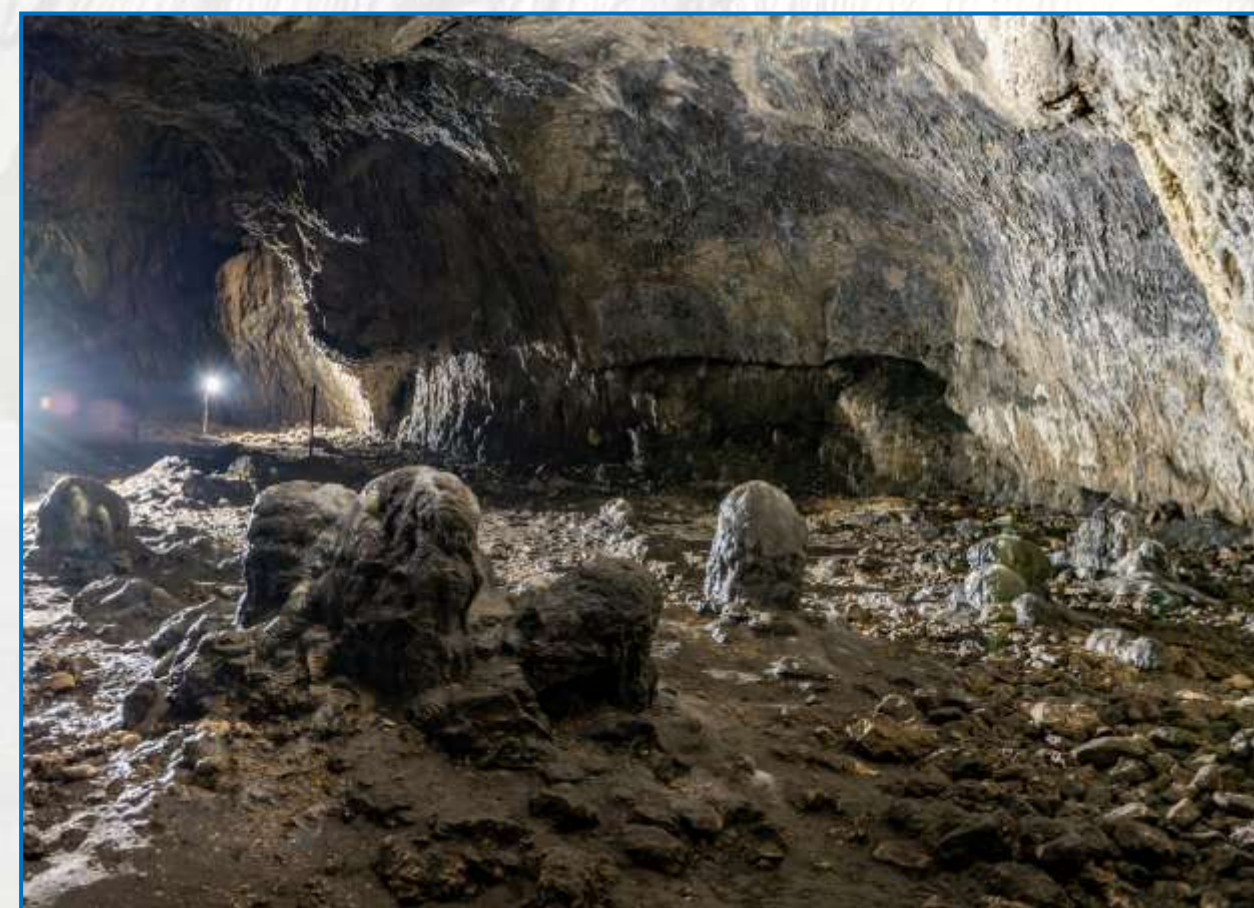
Jaskinia Raj

- **Jaskinia Raj** – jedna z najpiękniejszych jaskiń krasowych w Polsce, położona w **Górach Świętokrzyskich**.
- Mimo niewielkich rozmiarów wyróżnia się wyjątkowo bogatą i doskonale zachowaną szatą naciekową, obfitującą w liczne stalaktyty, stalagmity i stalagnaty tworzące gęste skupiska.
- Jej korytarze powstały w wapieniach środkowego dewonu, które około 360 milionów lat temu osadziły się na dnie płytkiego morza.
- Rozwój jaskini przebiegał wieloetapowo, głównie pod koniec neogenu i w czwartorzędzie.
- Długość naturalnych korytarzy: 240 m.
- Temperatura wewnątrz: 8-10°C.
- Wilgotność: powyżej 95%.



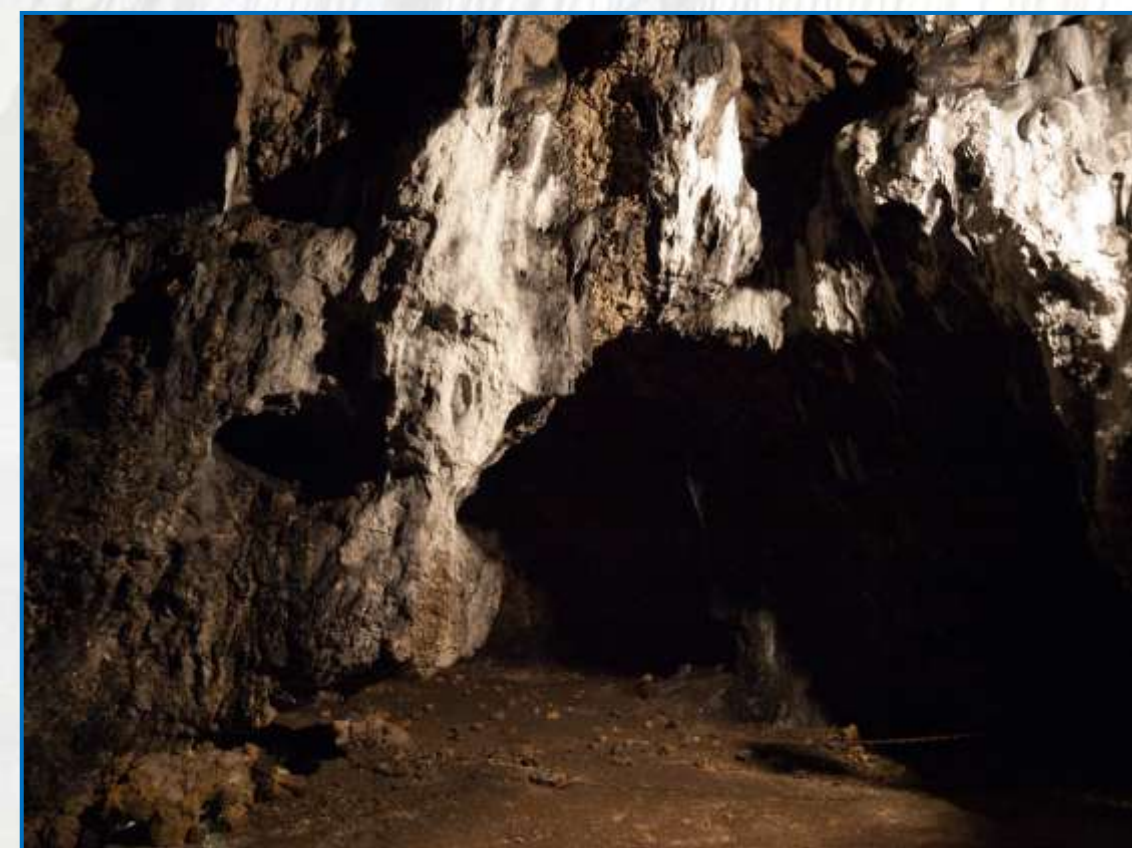
Jaskinia Ciemna

- **Jaskinia Ciemna** – znajduje się w Dolinie Prądnika na terenie **Ojcowskiego Parku Narodowego** (nieopodal Ojcowa).
- Powstała w wapieniach jurajskich i ma charakter jaskini komorowej – jej główną część stanowi obszerna sala o długości około 80 m, szerokości do 20 m i wysokości dochodzącej do 10 m.
 - Z komory prowadzi niski korytarz, który kończy się po około 50 m.
 - W słoneczne dni światło wpadające przez otwór wejściowy malowniczo oświetla wnętrze jaskini.
 - Jaskinia od wieków była jedną z głównych atrakcji Ojcowa i regionu (obecnie rolę tę pełni Jaskinia Łokietka).



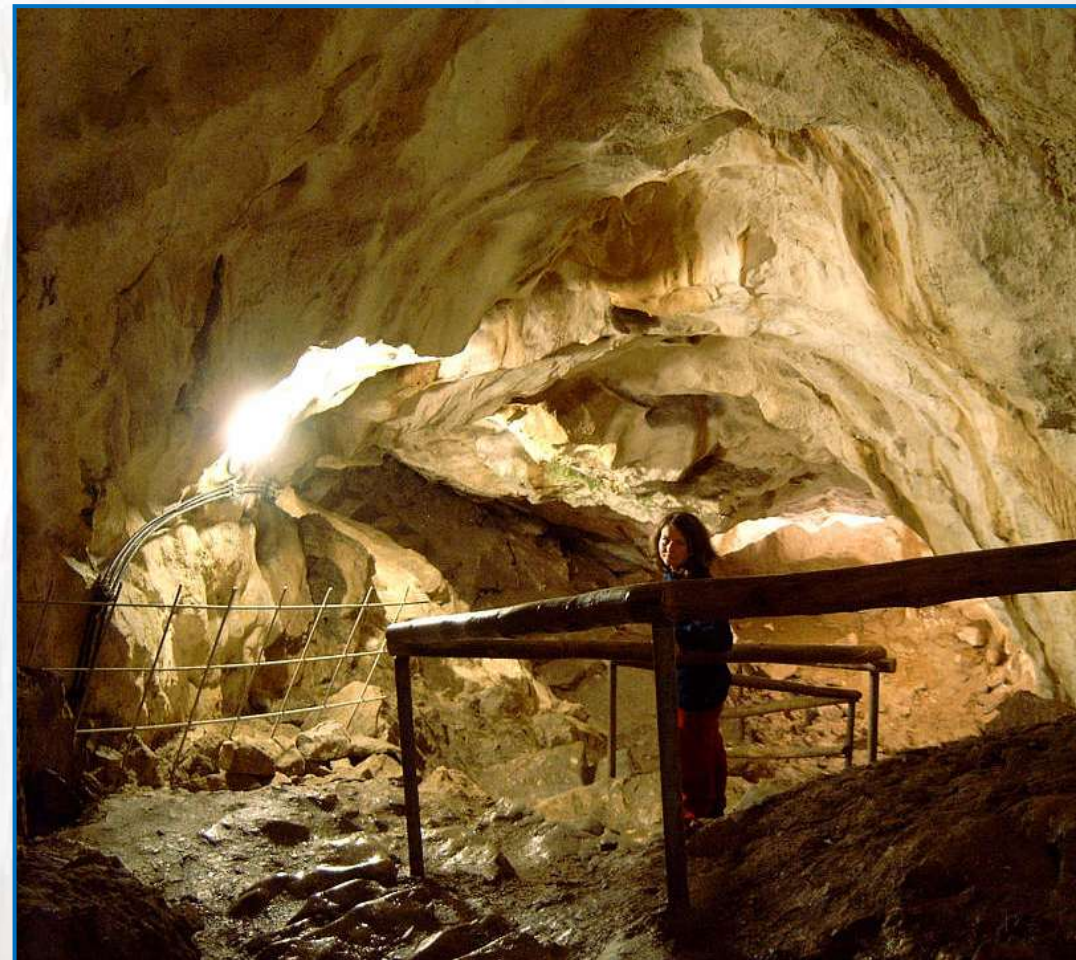
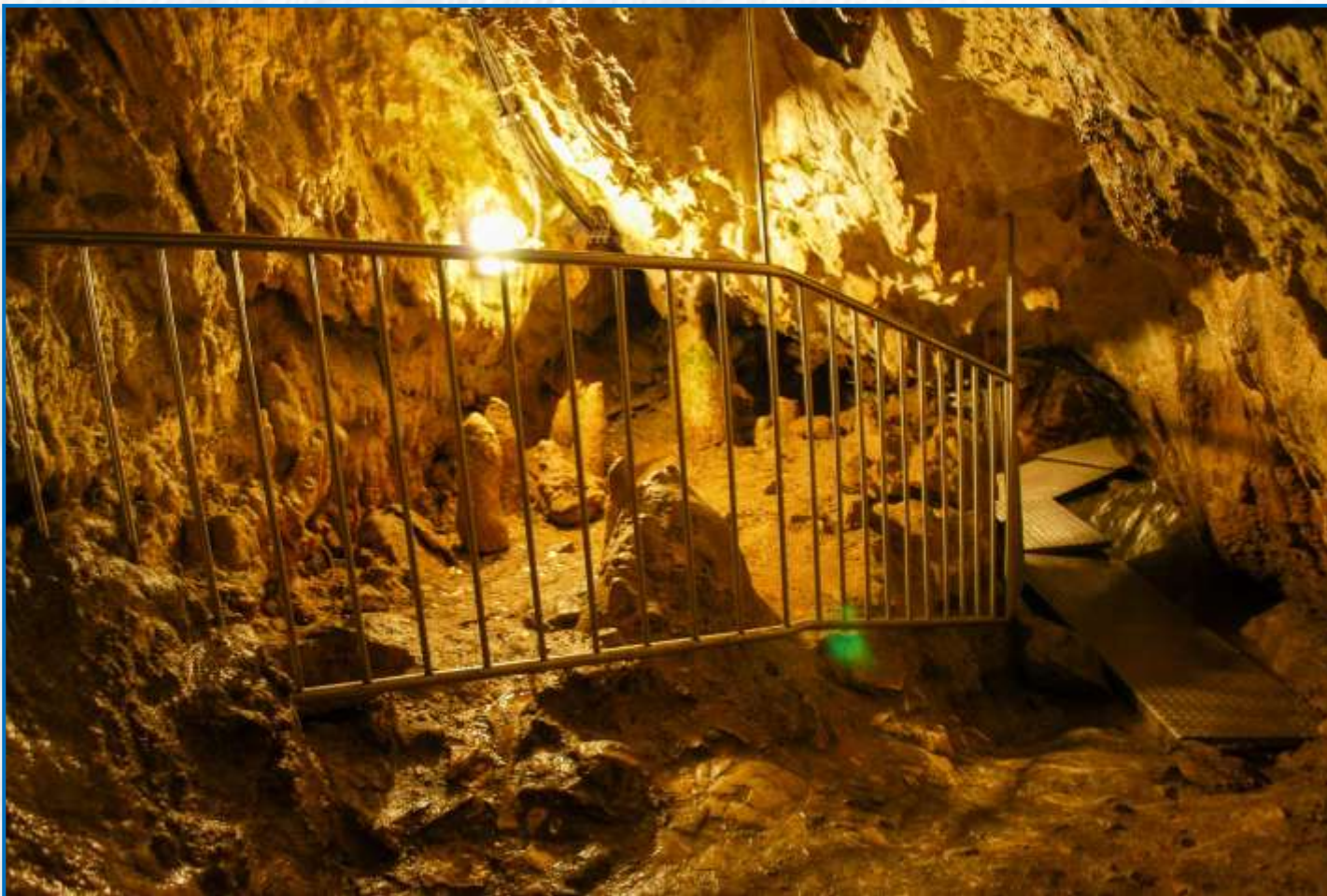
Jaskinia Łokietka

- **Jaskinia Łokietka** – znajduje się w **Ojcowskim Parku Narodowym** w Dolinie Prądnika, na stokach Chełmowej Góry.
- Jaskinia ma długość około 270 m i powstała w wapieniach jurajskich.
 - System jaskiniowy tworzą dwie obszerne sale (Sypialnia i Sala Rycerska) oraz mniejsze pomieszczenie zwane “Kuchnią”, połączone ze sobą systemem korytarzy.
- Ściany jaskini są ciemne i okopcone, a nacieki występują rzadko, a mimo to jest często odwiedzana przez turystów.
- Według legendy w jaskini tej ukrywał się król Władysław I Łokietek, przed którym wejście do jaskini zasłoniła pajęczyna, chroniąc go przed wrogami.



Jaskinia Mroźna

- **Jaskinia Mroźna** – położona w **Dolinie Kościeliskiej** w Tatrach Zachodnich, w masywie Organów.
- Jaskinia jest udostępniona do zwiedzania i stanowi popularną atrakcję Doliny Kościeliskiej.
- Jest niemal prostym tunelem o długości około 560 m, przebijającym na wylot masyw skalny.
- Powstała w wapieniach i ma charakter korytarzowy.
- Temperatura wewnątrz wynosi około 6°C.



KONIEC



Materiały pomocnicze do nauki
Opracowane w celach edukacyjnych (niekomercyjnych)

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

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE
- KOPIOWANIE ZABRONIONE -