

Jak powstają, starzeją się i giną jaskinie

Czas płynący w ciemności, czyli przemijanie skał



MICHAŁ GRADZIŃSKI

Instytut Nauk Geologicznych
Uniwersytet Jagielloński, Kraków

michal.gradzinski@uj.edu.pl

Dr hab. Michał Gradziński jest adiunktem w Zakładzie Sedymentologii i Analizy Paleośrodowiska w Instytucie Nauk Geologicznych UJ. Zajmuje się geologią krasu, sedymentologią skał węglanowych oraz osadami mikrobialnymi.

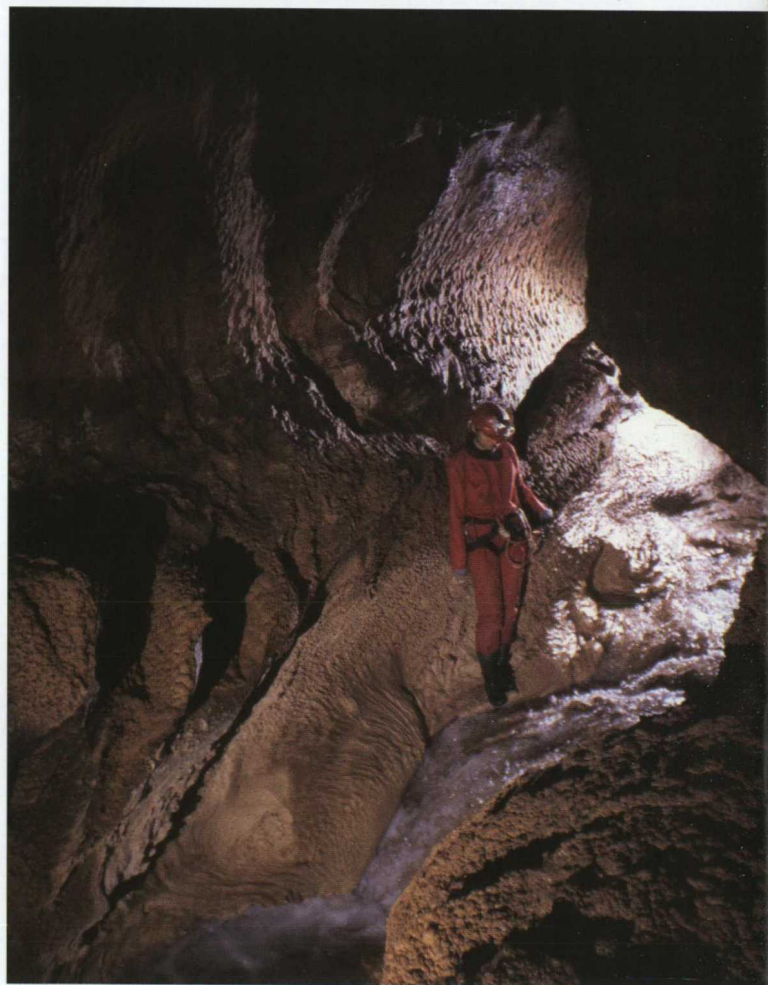
Odwiedzający jaskinie zwykle podziwiają nacieki różnorodnych kształtów i barw oraz słuchają legend opowiadanych przez przewodników. Rzadko jednak zadają sobie pytania, jaki jest wiek jaskiń, jak szybko one powstają, rozwijają się i – używając kolokwialnego terminu – starzeją

Tajniki rozwoju jaskiń krasowych, a więc powstających na skutek sukcesywnego rozpuszczania skał przez wodę, są poznawane od ponad stu lat. Początkowo służyły do tego jedynie obserwacje, później badania eksperymentalne, a ostatnio także modelowanie numeryczne. Obecnie wiadomo już, że typowa jaskinia krasowa w swoim „cyklu życiowym” przechodzi kilka etapów: inicjalny, gwałtownego poszerzania, kiedy staje się ona dostępna dla człowieka, dojrzały, starczy (stagnacji) oraz niszczenia.

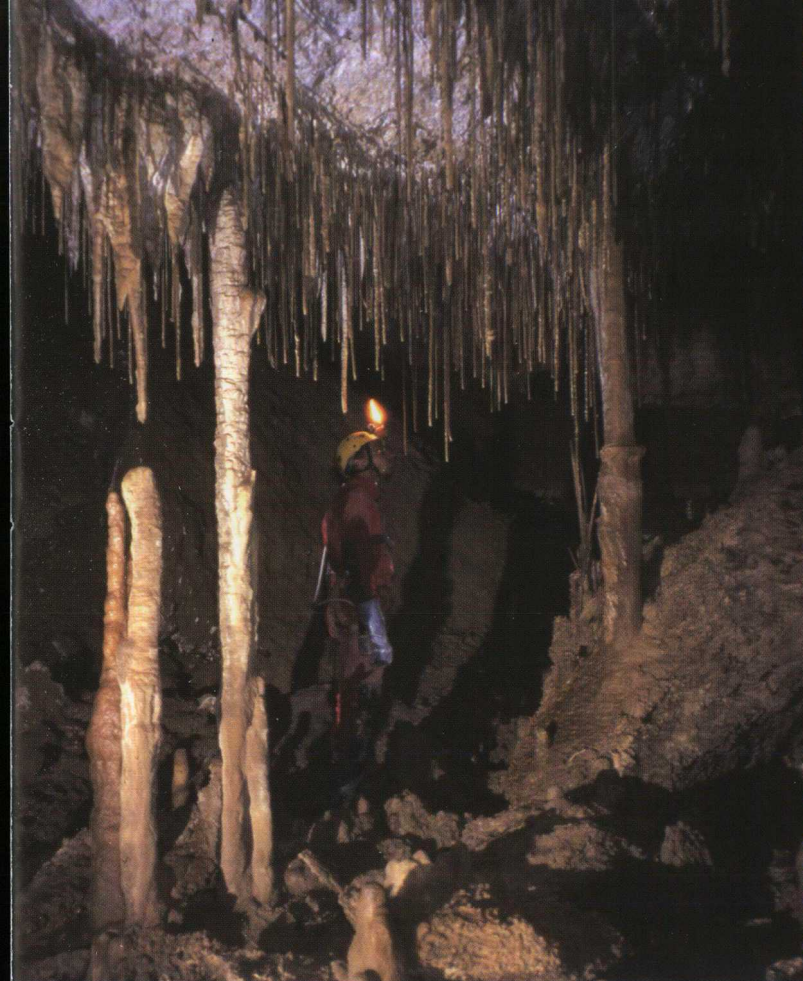
O czasie trwania początkowego etapu można wnioskować przede wszystkim na podstawie kalkulacji tempa procesów rozpuszczania skał. Określenie wieku konkretnej jaskini napotyka trudności natury obiektywnej. Jaskinia to – według encyklopedycznej definicji – próżnia w skale, powstała w sposób naturalny i dostępna dla człowieka, a więc posiadająca odpowiednio duże rozmiary. Czas powstania takiej pustki jest zdecydowanie trudniejszy do określenia niż czas powstania skał, czym rutynowo zajmują się geolodzy. Dla oszacowania minimalnego wieku każdej pustki w skałach, a więc także jaskiń, stosuje się metodę pośrednią. Przyjmuje się, że każda pustka, a więc także jaskinia musi być starsza od najstarszych osadów, które wewnątrz niej występują, a które nazywane są osadami wypełniającymi.

Wiek osadów wypełniających może być badany różnorodnymi metodami, analogicznymi do metod stosowanych

do badania wieku wszelkich innych osadów. Stosuje się różne metody paleontologiczne, czyli prowadzące do określenia tak zwanego wieku względnego, oparte na badaniach szczątków kopalnej fauny i flory. Jedną niedogodnością jest to, że osady jaskiń często są jałowe, czyli że nie zawierają w ogóle szczątków organicznych. Inna wynika z tego, że znajdowane w jaskiniach szczątki fauny i flory często nie mają wielkiej wartości stratygraficznej, czyli nie pozwalają na wystarczająco precyzyjne określenie wieku. Na przykład niedźwiedź jaskiniowy (*Ursus spelaeus*), którego liczne szczątki kostne są znajdowane w wielu jaskiniach Europy, wyginał dwadzieścia kilka tysięcy lat temu. Znalezienie jego



Jaskinia Su Palu aktywnie modelowana przez podziemny strumień – dojrzały etap rozwoju jaskini (Sardynia)



Rozwój nacieków, które wypełniają wcześniej uformowaną jaskinię Pierre Saint Martin – starczy etap rozwoju jaskini (Pireneje)

kości dostarcza więc jedynie pewnej wskazówki o wieku osadów, w których one występują. Bardziej użyteczne są w tym przypadku kości drobnych kręgowców, zwłaszcza gryzoni. Warto też wymienić badania pyłków roślin, które w ostatnich latach prowadzone są także w oparciu o materiał z osadów jaskiniowych.

W ostatnich 30 latach bardzo dynamicznie rozwijają się badania wieku izotopowego nacieków jaskiniowych przede wszystkim oparte na izotopach szeregu uranowego. Można dzięki nim uzyskać wiarygodne daty nacieków młodszych niż ok. 600 tys. lat. Obecnie czynione są też różnorakie wysiłki, aby możliwe było datowanie również starszych nacieków. W określaniu wieku osadów jaskiniowych pomocne są także metody paleomagnetyczne ostatnio stosowane z powodzeniem. Podsumowując: na określenie wieku danej jaskini, a często także umiejscowienie w czasie kolejnych etapów jej rozwoju, pozwala połączenie różnych metod datowania osadów wypełniających.

Narodziny...

Te eksperymenty i obliczenia wskazują, że etap inicjalny trwa zwykle – w sprzyjających warunkach – kilka tysięcy lat. Oczywiście tempo rozpuszczania skał zależy od wielu czynników, m.in. podaży wody, jej agresywności względem skał podłoża oraz cech tych skał, takich jak porowatość czy obecność wcześniej istniejących szczelin. W warunkach niesprzyjających czas trwania etapu inicjalnego znacznie się wydłuża, nawet do ponad miliona lat.



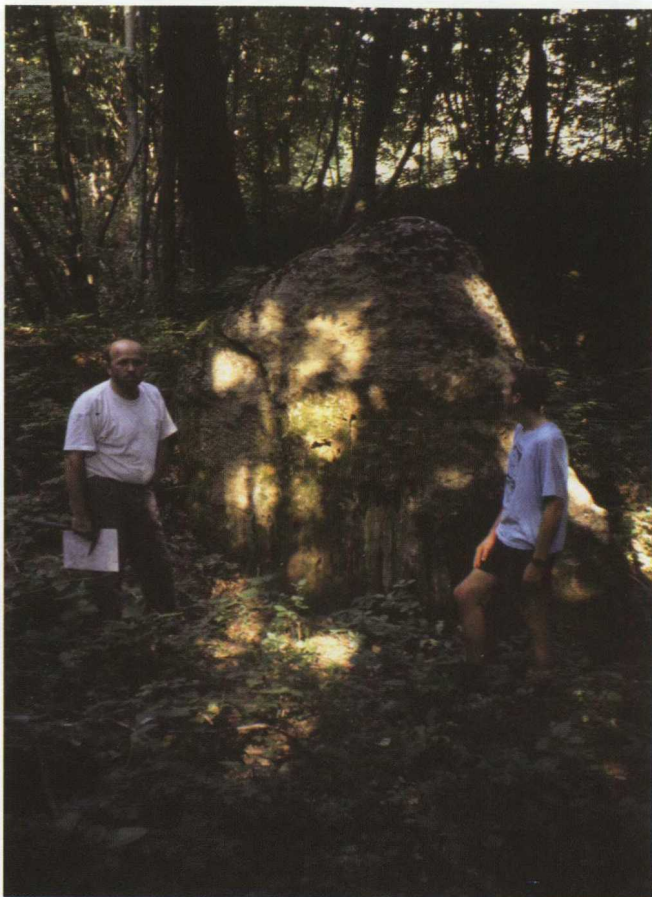
Okiennik Sąpsowski – pozostałość większej jaskini zniszczonej przez erozję (Dolina Sąpsowska, Ojcowski Park Narodowy)

Wzrost i dojrzewanie...

W momencie gdy procesy rozpuszczania poszerzą inicjalne pustki do średnicy ponad 5–15 mm, zaczyna się etap gwałtownego poszerzania, ponieważ taka średnica umożliwia przepływ o charakterze turbulentnym, co sprzyja znacznie wydajniejszemu rozpuszczaniu. W tym etapie, podobnie jak w poprzednim, pustka jest nadal w całości wypełniona wodą, czyli znajduje się w strefie freatycznej. Czas trwania tego etapu jest również zależny od wielu czynników i zwykle – w przypadku jaskiń rozwiniętych w skałach węglanowych – wynosi on od kilku do dziesięciu tysięcy lat, a może sięgać nawet ponad 100 tys. lat. Na tym etapie jaskinia osiąga rozmiary umożliwiające jej penetrację przez człowieka, czyli średnicę od kilkudziesięciu centymetrów do kilku i więcej metrów, i wchodzi w etap dojrzały.

Poza innymi istotnymi czynnikami czas trwania etapów gwałtownego poszerzania i dojrzałości danej jaskini zależy od rozwoju geomorfologicznego obszaru, na którym ona występuje. W przypadku szybkiego pogłębiania dolin, jaskinia stosunkowo prędko znajdzie się ponad zwierciadłem wód podziemnych, czyli w strefie wadcycznej. Wówczas będzie wypełniona w części lub zupełnie przez powietrze. Oznacza to, że jej dalsze powiększanie będzie albo zupełnie zahamowane albo w znacznym stopniu ograniczone. Oczywiście istnieją wyjątki, do których należą jaskinie zasilane przez skoncentrowane przepływy wód powodziowych lub przez wody z topniejących lodowców. Jaskinie reprezentujące tę drugą kategorię są nazywane

Jak powstają, starzeją się i giną jaskinie



Archiwum autora (4)

Duży stalagmit znajdujący się na powierzchni terenu – relikw osadów wypełniających dawną jaskinię zupełnie zniszczoną przez erozję (Słowenia)

proglacialnymi; do tej kategorii należy na przykład wiele jaskiń tatrzańskich i alpejskich.

Płynące przez jaskinie wody deponują w nich różnego typu osady klastyczne, od otoczków po osady ilaste złożone z bardzo drobnych cząstek mineralnych. Osady takie powoli wypełniają jaskinię, aczkolwiek mogą także podlegać erozji. W konsekwencji jaskinie często są wielokrotnie wypełniane osadami i oczyszczane, generalnie jednak powoli zapelniają je osady klastyczne. W strefie wadycznej jaskiń dochodzi też do krystalizacji różnorodnych nacieków.

Starość...

W momencie gdy jaskinia jest zupełnie osuszona, czyli pozbawiona płynących strumieni, jej poszerzenie ulega w zasadzie zatrzymaniu i przechodzi ona w stadium starcze. W głębszych partiach tego typu jaskiń wszelkie procesy postępują powoli. Przyrost osadów klastycznych, jest bardzo ograniczony, ale nadal wzrastają nacieki, a z powodu niestabilności stropu dochodzi do obrywów i gromadzenia ostrokrawędzistego materiału na dnie jaskini. Pewnym paradoksem jest fakt, że wiele jaskiń udostępnionych, sprawiających wrażenie żywych dzięki efektownym, stale

wzrastającym i podziwianym przez turystów naciekom znajduje się już na starczym etapie swego rozwoju.

Obumieranie...

Część jaskiń jest zupełnie wypełniana osadami i w sprzyjających okolicznościach może przetrwać wraz ze skałami otaczającymi wiele milionów, dziesiątków milionów, a nawet setek milionów lat. Jaskinie takie reprezentują kras kopalny, zwany także paleokrasem.

Najczęściej jednak jaskinia wraz z osadami ją wypełniającymi i skałami, w których jest uformowana, ulega zniszczeniu na skutek erozji powierzchniowej. Całkowite zniszczenie poprzedza etap fragmentacji jaskini, kiedy pozostają z niej jedynie niewielkie, niepołączone z sobą części. Takie jaskinie można napotkać na przykład na obszarze Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej. Są one relikwami dawnych obszernych jaskiń, powstałych w warunkach hydrologicznych i klimatycznych zdecydowanie odmiennych od dzisiejszych. Ostateczne zniszczenie jaskiń zwykle następuje po czasie rzędu około miliona lub więcej lat od jej uformowania. Zależy to jednak od tempa denudacji na danym obszarze, które z kolei jest warunkowane wieloma różnorodnymi czynnikami.

W wyjątkowych sytuacjach w skałach węglanowych rozwój jaskiń przebiega zdecydowanie szybciej. Dobrym przykładem są jaskinie powstające bardzo szybko w strefie mieszania wód morskich i słodkich, formowane w młodych skałach węglanowych o wysokiej porowatości.

Na zakończenie warto dodać, że powyżej zarysowane prawa rozwoju jaskiń dotyczą jaskiń krasowych, a szacowane tempo procesów odnosi się wyłącznie do jaskiń formowanych w skałach węglanowych. Jaskinie krasowe w skałach siarczanowych (gipsach i anhydrytach), a także w solach powstają w zdecydowanie krótszym czasie. Rozpuszczanie skał siarczanowych jest przynajmniej dwa rzędy wielkości szybsze niż rozpuszczanie skał węglanowych, a rozpuszczanie soli zachodzi około ośmiu rzędów wielkości szybciej. Z tego powodu jaskinie w skałach siarczanowych i solnych również szybciej podlegają niszczeniu niż te formowane w skałach węglanowych. Innym przykładem szybko rozwijających się jaskiń są te istniejące w potokach lawowych, których czas powstania szacuje się na poniżej miesiąca. Oczywiście początkowo są one niedostępne dla człowieka na skutek panującej wewnątrz bardzo wysokiej temperatury i atmosfery beztlenowej. Jaskinie takie, z innych powodów, również zdecydowanie szybciej podlegają niszczeniu, a więc ich „cykl życiowy” jest krótszy niż krasowych jaskiń skał węglanowych. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

- Bosák P. (2008). Karst processes and time. *Geologos*, 14: 19–36.
 Ford D.C., Williams P. W. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, Chichester (pp. 562).
 White W.B. (1988). *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. Oxford University Press, New York (pp. 464).