**Sekcja Speleologiczna**
**Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika**

# MATERIAŁY
# 59. SYMPOZJUM
# SPELEOLOGICZNEGO

**Redakcja: Jacek Szczygieł, Dawid Siemek**

**Kościelisko, 16–19.10.2025**

**ISBN: 978-83-962910-4-2**

59. SYMPOZJUM SPELEOLOGICZNE
KOŚCIELISKO 16-19.10.2025

**PATRONAT / PATRONAGE**

Union Internationale de Spéléologie

**ORGANIZATORZY SYMPOZJUM**

Sekcja Speleologiczna Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika, Kraków
Instytut Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Instytut Nauk Geologicznych Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie
Štátna ochrana prírody Slovenskej Republiky – Správa slovenských jaskýň
Tatrzański Park Narodowy

**KOMITET ORGANIZACYJNY**

Jacek Szczygieł (INoZ UŚ)
Michał Gradziński (ING UJ)
Wojciech Wróblewski (ING UJ)
Dawid Siemek (IGiGP UJ)
Pavel Bella (ŠOP SR – SSJ)
Maria Król (TPN)
Magdalena Sitarz (TPN)

Projekt dofinansowany ze środków budżetu państwa, przyznanych przez Ministra Nauki w ramach Programu Doskonała Nauka II (umowa nr KONF/SN/0373/2024/02)

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Doskonała Nauka

**Wydała Sekcja Speleologiczna PTP im. Kopernika**

**Kraków, 2025**

# SPIS TREŚCI

**WPROWADZENIE** **6**

**SESJE TERENOWE**

**Sesja terenowa A (czwartek, 16.10.2025): Tatry w roli Archiwum Planety Ziemia: nauka, popularyzacja, dziedzictwo**
*M. Król, M. Sitarz, M. Kadłub, J. Szczygieł* ..... 10

**Sesja terenowa B (sobota, 18.10.2025): Demianowski System Jaskiniowy – rozwój, osady wewnętrzne, procesy sejsmotektoniczne**
*P. Bella, M. Gradziński, H. Hercman, P. Holúbek, J. Littva, D. Siemek, P. Sala, J. Szczygieł, W. Wróblewski* ..... 16

**Sesja terenowa C (niedziela, 19.10.2024): Wpływ zlodowaceń na rozwój systemu krasowego Doliny Bystrej**
*J. Szczygieł, G. D Hoke, A. Sobczyk, H. Hercman, D. Siemek, P. Sala* ..... 30

**STRESZCZENIA WYSTĄPIEŃ**

**Zjawiska lodowe w jaskini Wielkiej Śnieżnej**
*B. Baturo, M. Kasprzak* ..... 44

**Antropopresja w jaskini Đalovića (Czarnogóra)**
*M. Lehman* ..... 44

**Okno Cave as a speleogenetic marker of the pre-Quaternary evolution of the Demänová Valley, Nízke Tatry Mountains**
*P. Bella, P. Bosák, R. Braucher, Š. Kdýr, P. Pruner, H. Hercman* ..... 45

**Ogień w jaskini. Nowoczesne badania sposobów wykorzystania ognia przez neandertalczyków jako narzędzia rekonstrukcji stylu ich życia**
*A. Boczarowski* ..... 48

**Naukowe rekonstrukcje przeszłości**
*A. Boczarowski* ..... 51

**Charakterystyka minerałów ciężkich w osadach piaszczystych jaskiń Twardowskiego i Pychowickiej w Krakowie**
*W. Czwońda* ..... 55

**O czym mówią nam badania fauny żyjącej w studniach miejskich?**
*E. Dumnicka* ..... 57

**Współczesne procesy depozycyjne i krasowe w trawertynach na wybrzeżu morskim w Edipsos (Eubea, Grecja)**
*A. Galicki, W. Wróblewski, Ch. Kanellopoulos* ..... 59

**Różnorodność gatunkowa skoczogonków (Collembola) jaskiń tatrzańskich w świetle aktualnych badań i danych historycznych**
*J. Kocot-Zalewska, D. Skarżyński* ..... 60

**Odkrycie Demianowskiej Jaskini Wolności – impuls dla rozwoju speleologii i turystyki jaskiniowej na Słowacji**
*Ł. Lewkowicz* ..... 61

**The flooding events heralding the opening of Neo-Tethys recorded in the exposures of the Middle Triassic carbonates in the Demänová Caves**
*J. Littva, Ľ. Gaál P. Herich* ..... 63

**Model geologiczny 3D Koziego Grzbietu (Tatry Zachodnie) opracowany na podstawie zintegrowanych danych geologicznych i jaskiniowych**
*J. Mierzchała, J. Szczygieł* ..... 65

**Hiatusy w naciekach jaskiniowych – podejście numeryczne**
*J. Pawlak, P. Sala, M. Błaszczyk, M. Gradziński* ..... 67

**Przykłady aktywności nietoperzy oraz zmian temperatury w dużych kompleksach jaskiniowych**
*A. Pereswiet-Soltan, S. Pospuła* ..... 68

**Temperatury krystalizacji permskich kalcytowych wypełnień krasowych określone z zastosowaniem inkluzji fluidalnych**
*P. Sala, Y. Dublyansky, M. Gradziński, A. Lewandowska, M. Paszkowski* ..... 70

**Mikroteksturalny zapis na ziarnach kwarcu z jaskini Demianowskiej - dowód środkowoplejstoceńskich zlodowaceń w Niżnych Tatrach**
*D. Siemek, J. Szczygieł, P. Kłapyta, J. Littva, B. Woronko* ..... 72

**Pierwsze datowania szczątków roślinnych zdeponowanych w lodzie z jaskini Shpella Akullt w Alpach Albańskich, Albania**
*M. Słupińska, N. Piotrowska, M. Polok* ..... 73

**Radionuklidy kosmogeniczne jako źródło informacji o ewolucji obszarów krasowych**
*A. Sobczyk* ..... 75

**Niesynchroniczność początku MIS 6 obserwowana w europejskich zapisach paleoklimatycznych z nacieków jaskiniowych**
*J. Stienss, M. Gąsiorowski, P. Sierpień, D. Teodorek* ..... 76

**Szczątki człowieka w jaskiniach Doliny Wodącej i Doliny Udorki**
*M. Sudoł-Procyk* ..... 77

**Jaskinie lodowe – relikt przeszłości? - współczesne badania jaskiń lodowych z perspektywy Tatr**
*W. Szczuciński, J. Barabach, M. Gradziński, D. Kicińska, P. Kicki, S. Kuczma, Z. Palińska, G. Rachlewicz, A. Stasiewicz* ..... 78

**Ile lat mają jaskinie Tatr? Wyniki datowania wieku pogrzebania osadów jaskiniowych radionuklidami kosmogenicznymi berylu ($^{10}$Be) i glinu ($^{26}$Al)**
*J. Szczygieł, G. D. Hoke, A. Sobczyk, H. Hercman, L. B. Corbett, J. Drebber, A. J. Hidy, P. R. Bierman* ..... 80

**Hipogeniczny kras w trawertynach Mulapampa i wysokogórski kras w ewaporatach formacji Ashua, Andy Środkowe (Peru)**
*A. Tyc, K. Gaidzik, M. Benavente* ..... 82

**Pseudokrasowe formy rzeźby chronione prawnie w regionie Ponta Grossa (Parana, południowa Brazylia)**
*J. Urban, K. Linette Hornes* ..... 85

**19. Międzynarodowy Kongres Speleologiczny, Belo Horizonte, Brazylia 2025 – wrażenia subiektywne**
*J. Urban, A. Tyc* ..... 88

**Ludzie paleolitu w jaskiniach Tatr i okolic**
*P. Valde-Nowak, K. Kerneder-Gubała, M. Kowa[1], J. Kościuk-Załupka, A. Kraszewska, K. Makuła, A. Nadachowski, J. Skłucki, M. Sojak* ..... 91

**Jaskinia Pod Wielką Kopą (Słowacja)**
*W. Zagórska, M. Gradziński, P. Holúbek, K. Maj-Szeliga, M. Skiba, W. Wróblewski* ..... 94

## WPROWADZENIE

Tatry od dawna stanowią kluczowy obszar badań w polskiej speleologii, co zaowocowało powstaniem wielu teorii – zarówno regionalnych, jak i uniwersalnych – w tym m.in. koncepcji jaskiń proglacjalnych. To intensywne zainteresowanie Tatrami znajduje również odzwierciedlenie w liczbie organizowanych tu sympozjów speleologicznych. 59. Sympozjum Speleologiczne jest już dziesiątym zorganizowanym w bezpośrednich okolicach Tatr. Choć od ostatniego spotkania w Zakopanem minęło zaledwie osiem lat, nasza wiedza o jaskiniach tatrzańskich znacząco się poszerzyła. Głównym motorem tego postępu było zastosowanie nowocześniejszych metod datowania. Udoskonalono klasyczną metodę uranowo-torową, przechodząc do pomiarów spektrometrem. Dzięki temu możliwe stało się przesunięcie granicy zastosowania tej metody z 350 do 550 tysięcy lat oraz znaczące zwiększenie precyzji uzyskiwanych wyników. Przełożyło się to na istotny rozwój badań nie tylko speleogenetycznych, ale także paleoklimatycznych i tektonicznych. Prawdziwym przełomem było jednak zastosowanie metody datowania wieku pogrzebania osadów klastycznych z wykorzystaniem nuklidów kosmogenicznych, co pozwoliło spojrzeć na ewolucję systemów krasowych sięgającą aż miocenu. Tym samym szacowany dotąd wiek jaskiń tatrzańskich nabrał znacznie bardziej konkretnego wymiaru. Intensywne i owocne badania prowadzone były także w bliźniaczym masywie Niżnych Tatr. Tam, w ścisłej współpracy z badaczami słowackimi, podejmowano zagadnienia związane ze speleogenezą, ewolucją rzeźby, sedymentologią oraz tektoniką.

Oczywiście, speleolodzy nie mieliby czego badać, gdyby nie taternicy odkrywający nowe jaskinie. Tatry można śmiało uznać za jeden z najlepiej rozpoznanych masywów krasowych świata, co jest efektem stosunkowo niewielkiej powierzchni Tatr w zestawieniu z liczbą aktywnych grotołazów działających w Polsce. Mimo to wciąż udaje się odkrywać nowe korytarze – m.in. w jaskiniach: Psiej, Ptasiej Studni, Poszukiwaczy Skarbów czy Zimnej, które wydawały się już dobrze poznane. Największym odkryciem ostatnich lat jest jednak Piwnica Miętusia, która z początkowych 193 metrów długości osiągnęła ponad 2 km.

Ulokowanie 59. Sympozjum Speleologicznego w Tatrach ma na celu zaprezentowanie szerszemu gronu odbiorców wyników badań naukowych oraz prac inwentaryzacyjnych prowadzonych w obiektach jaskiniowych. Sesja A – wizyta w Tatrzańskim Archiwum Planety Ziemia – poświęcona jest ważnej, choć często marginalizowanej działalności – popularyzacji efektów prac naukowych. Sesja B koncentruje się na historii sedymentacji oraz procesach neotektonicznych w Jaskini Demianowskiej w słowackich Tatrach Niżnich. Sesja C prezentuje najnowsze

wyniki badań krasu w Tatrach – zarówno tych dotyczących jego ewolucji, jak i tych wykorzystujących jaskinie jako źródło danych geomorfologicznych i geodynamicznych.

# PRZEWODNIK SESJI TERENOWYCH

## SESJA TERENOWA A

# TATRY W ROLI ARCHIWUM PLANETY ZIEMIA: NAUKA, POPULARYZACJA, DZIEDZICTWO

**Maria Król[1], Magdalena Sitarz[1], Michał Kadłub[1], Jacek Szczygieł[2]**

[1]*Tatrzański Park Narodowy, Kuźnice 1 34-500 Zakopane, Polska,*
[2]*Instytut Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, Polska*

Tatry, a szczególnie okolice Doliny Kościeliskiej, to jeden z najważniejszych obszarów krasowych w Polsce. Znajdująca się tutaj rozbudowana sieć jaskiń, odkryta dzięki intensywnym pracom inwentaryzacyjnym, od dawna stanowi przedmiot badań, dostarczając cennych informacji o ewolucji krajobrazu górskiego, procesach krasowych i dynamice masywów wapiennych. Analizy prowadzone w tym rejonie pozwoliły również odtworzyć dawne warunki klimatyczne i środowiskowe zapisane w osadach i formach jaskiniowych.

Tatrzańskie Archiwum Planety Ziemia (TAPZ) prezentuje szeroką perspektywę dziejów gór i ich podłoża – od procesów tworzenia skał i deformacji tektonicznych, przez rozwój krasu i form podziemnych, aż po ślady dawnych epok klimatycznych i obecność prehistorycznych zwierząt. W ten sposób łączy naukowe spojrzenie na przeszłość z nowoczesnymi formami popularyzacji wiedzy.

Rozpoczęcie sympozjum właśnie tutaj ma znaczenie nie tylko symboliczne, lecz także praktyczne. Dolina Kościeliska od ponad wieku jest miejscem intensywnych badań krasowych i speleologicznych, oraz punktem startu większości wypraw taternickich. Znajdujące się tu jaskinie dostarczyły materiału, który przyczynił się do rozwoju nauk o krasie. Wybór TAPZ podkreśla wagę Tatr jako naturalnego laboratorium do badań nad procesami geologicznymi i geomorfologicznymi, a zarazem jako miejsca, w którym wiedza naukowa znajduje swoje przedłużenie w działalności edukacyjnej. Stąd też punktem kulminacyjnym spotkania w TAPZ są dwa, otwarte dla szerokiej publiczności wykłady inauguracyjne w samym obiekcie:

- Pierwszy wykład zatytułowany *„Ludzie paleolitu w jaskiniach Tatr i okolic”*, który przybliży najnowsze odkrycia dotyczące osadnictwa pradawnych populacji w regionie, ze szczególnym uwzględnieniem wykorzystania miejscowych surowców kamiennych, wygłoszą: dr Katarzyna Kerneder-Gubała i dr Magda Kowal. Streszczenie referatu można znaleźć na stronie 90.
- Drugi wykład, *„Jaskinie lodowe – relikt przeszłości? – współczesne badania jaskiń lodowych z perspektywy Tatr”*, skupi się na unikalnych jaskiniach lodowych Tatr – ich znaczeniu jako rejestrów zmian klimatycznych i unikalnych ekosystemów, wygłosi Prof. Witold Szczuciński. Streszczenie referatu można znaleźć na stronie 77.

## Tatrzańskie Archiwum Planety Ziemia

Tatrzańskie Archiwum Planety Ziemia to nowoczesne centrum edukacyjne Tatrzańskiego Parku Narodowego, zlokalizowane u wylotu Doliny Kościeliskiej w Kirach. Obiekt został otwarty w 2022 roku i stanowi pierwsze tego typu miejsce w Polsce, w całości poświęcone geologii Tatr oraz historii Ziemi.

Budynek, niemal w całości ukryty pod powierzchnią terenu, harmonijnie wpisuje się w krajobraz doliny. Rozwiązanie to ma zarówno walor estetyczny, jak i symboliczny – nawiązuje do podziemnego świata jaskiń, który stanowi kluczowy element tatrzańskiej przyrody nieożywionej.

Ekspozycja TAPZ składa się z siedmiu sal tematycznych, w których zastosowano nowoczesne środki multimedialne oraz interaktywne instalacje. Zwiedzający poznają procesy geologiczne odpowiedzialne za powstanie Tatr, rolę wody, ciśnienia i temperatury w kształtowaniu krajobrazu, a także rozwój zjawisk krasowych. Wystawa ukazuje także historię życia na Ziemi oraz prehistorycznych zwierząt związanych z Tatrami, w tym dinozaury i niedźwiedzia jaskiniowego. Na końcu zapoznać się można z historią zasiedlania Tatr i Podhala.

Celem TAPZ jest popularyzacja wiedzy geologicznej i przyrodniczej wśród szerokiego grona odbiorców. Ekspozycja została przygotowana w taki sposób, aby była atrakcyjna zarówno dla dzieci, jak i dorosłych, a jednocześnie przekazywała rzetelne informacje o budowie geologicznej i historii Tatr. Obiekt jest w pełni dostępny dla osób z niepełnosprawnościami. Zwiedzanie odbywa się w grupach, w których uczestnikom towarzyszy wirtualny przewodnik. Czas przejścia przez wszystkie sale wynosi około 60 minut.

Lokalizacja TAPZ przy jednym z najczęściej uczęszczanych szlaków w Tatrach wynika z potrzeb edukacyjnych i dużego natężenia ruchu turystycznego w Dolinie Kościeliskiej. Dzięki temu centrum pełni funkcję zarówno punktu edukacji przyrodniczej, jak i miejsca wprowadzającego w świat tatrzańskiej geologii i krasu.

## Taternictwo jaskiniowe na obszarze TPN

Nie byłoby badań speleologicznych w Tatrach bez taternictwa jaskiniowego. To właśnie inwentaryzacja jaskiń, często wymagająca nie tylko determinacji i pasji, ale i szeregu umiejętności, otwiera drogę do nauki – aby prowadzić badania, jaskinie trzeba najpierw odkryć, udokumentować i udostępnić społeczności badawczej. Wielu z nas łączy obie te sfery – jesteśmy jednocześnie grotołazami i naukowcami, a nasze światy nieustannie się przenikają. Odkrywanie nowych korytarzy, poszerzanie granic poznania topografii jaskiń i ich systemów, tworzy fundament, na którym opierają się dalsze analizy geologiczne, geomorfologiczne, paleoklimatyczne czy biologiczne. To właśnie w Tatrach szczególnie dobrze widać tę symbiozę – inwentaryzacja obiektów jaskiniowych staje się tu początkiem drogi do ich naukowego poznania.

Taternictwo Jaskiniowe na terenie Tatrzańskiego Parku Narodowego można uprawiać na zasadach określonych w zarządzeniu nr 6/2012 Dyrektora TPN z dnia 4 maja 2012 r. Dopuszcza ono tę formę działalności w 25 jaskiniach (w tym w dwóch systemach

wielootworowych), z których 13 dostępnych jest przez cały rok, 4 od 16 czerwca do 30 listopada, a 8 od 16 czerwca do 31 marca. W celu rejestracji wyjść jaskiniowych wykorzystywana jest strona internetowa oraz aplikacja – jaskinie.tpn.pl.

Dane o ruchu taternickim rejestrowane są corocznie przez Tatrzański Park Narodowy. W 2024 r. taternicy jaskiniowi zarejestrowali 1050 wpisów, co przekłada się na 4814 osobowyjść (Tab. 1). Z tego 39 wpisów (135 osobowyjść) to wejścia do jaskiń w celach naukowych (Tab. 2). Dla porównania, w 2023 roku liczba taterników jaskiniowych była mniejsza o 329 osób.

Miesiącem największej aktywności jaskiniowej w 2024 r. był luty (136 wpisów i 686 osobowyjść, czyli 12,95 % rocznej działalności jaskiniowej), a następnie wrzesień (117 wpisów i 595 osobowyjść, czyli 11,05 % rocznej działalności jaskiniowej). Miesiące z najmniejszą ilością akcji jaskiniowych to kwiecień i maj. Taki rozkład aktywności w ciągu roku powtarza się już od kilku lat.

Tab. 1. Miesięczny rozkład liczby wpisów do jaskiń w celach taternickich i naukowych w 2024 r.

| **Miesiąc** | **Wpisy** | **Osobowyjścia** |
|---|---|---|
| styczeń | 64 | 274 |
| luty | 136 | 686 |
| marzec | 65 | 280 |
| kwiecień | 31 | 116 |
| maj | 49 | 178 |
| czerwiec | 66 | 263 |
| lipiec | 114 | 578 |
| sierpień | 99 | 385 |
| wrzesień | 117 | 595 |
| październik | 92 | 500 |
| listopad | 113 | 497 |
| grudzień | 104 | 462 |
| **Razem** | **1050** | **4814** |

Najaktywniejszym klubem w 2024 roku była Sekcja Taternictwa Jaskiniowego KW Kraków (143 wpisów/499 osobowyjść). W czołówce znalazły się też: Speleoklub Tatrzański (122/604), Speleoklub Bielsko Biała (121/598), Krakowski Klub Taternictwa Jaskiniowego (103/389). Tatrzańskie Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe zarejestrowało 22 wpisów/ 237 osobowyjść.

Taternicy jaskiniowi, oprócz wyjść sportowych i szkoleniowych do jaskiń wymienionych w Zarządzeniu Dyrektora TPN dotyczącym tej formy działalności, mają możliwość realizowania badań naukowych w obiektach nieudostępnionych na zasadach określonych w regulaminie prowadzenia badań na terenie parku. Są to badania z następujących dziedzin nauki: geologii, tektoniki, zoologii, geomorfologii, zmian klimatu

oraz ochrony przyrody. Ponadto prowadzone są inwentaryzacje obiektów jaskiniowych. Łącznie notujemy kilkanaście tematów badawczych w ciągu roku.

Tab. 2. Rodzaje jaskiniowych wyjść taternickich w 2024 r.

| Rodzaj wyjść jaskiniowych | Wpisy | Osobowyjścia |
|---|---|---|
| **Taternickie** | 1011 | 4679 |
| **Naukowe** | 39 | 135 |
| **Suma** | **1050** | **4814** |

Tab. 3. Frekwencja taternicka w poszczególnych jaskiniach w celach taternickich i naukowych w 2024 r.

| Jaskinia | Wpisy | Osobowyjścia |
|---|---|---|
| Czarna | 167 | 804 |
| otwór Śnieżna | 103 | 452 |
| Miętusia | 79 | 369 |
| Zimna | 77 | 396 |
| Ptasia Studnia | 64 | 263 |
| otwór Wielka Litworowa | 61 | 269 |
| Kasprowa Niżnia | 56 | 301 |
| Miętusia Wyżnia | 53 | 223 |
| Pod Wantą | 49 | 238 |
| Marmurowa | 43 | 218 |
| Kasprowa Wyżnia | 36 | 193 |
| Kasprowa Średnia | 30 | 180 |
| Studnia za Murem | 28 | 109 |
| otwór Nad Kotlinami | 27 | 121 |
| Wodna pod Pisaną | 22 | 101 |
| Śpiących Rycerzy | 15 | 74 |
| Przy Przechodzie | 14 | 55 |
| Nad Dachem | 13 | 44 |
| Śpiących Rycerzy Wyżnia | 13 | 55 |
| Koprowa Studnia | 10 | 34 |
| Lodowa Litworowa | 10 | 25 |
| Tunel Małołącki (dolny otwór) | 10 | 48 |
| Mała w Mułowej | 10 | 34 |
| Pomarańczarnia | 8 | 32 |
| Dudnica | 6 | 12 |
| Małołącka | 6 | 29 |
| Pod Dachem | 5 | 19 |
| Barania | 4 | 16 |

| | | |
|---|---|---|
| Goryczkowa | 4 | 11 |
| Kalacka | 4 | 7 |
| otwór Jasny Aven | 3 | 13 |
| Zimna - górny otwór (Biała) | 6 | 21 |
| Jaskinia Magurska | 3 | 15 |
| Śnieżna Studnia | 2 | 6 |
| Wysoka | 2 | 7 |
| Lodowa Małołącka | 1 | 2 |
| Lodowa Miętusia | 1 | 3 |
| Naciekowa | 1 | 3 |
| Piwnica Miętusia | 1 | 4 |
| Psia | 1 | 2 |
| Studnia w Kazalnicy | 1 | 4 |
| Szczelina Chochołowska | 1 | 2 |
| **Razem** | **1050** | **4814** |

Najczęściej odwiedzane jaskinie to: Jaskinia Czarna (167 wpisów i 804 osobowyjść), a następnie Śnieżna (103 wpisy i 452 osobowyjść) oraz Miętusia (79 wpisy i 369 osobowyjść) (Tab. 3).

Tatrzański Park Narodowy prowadzi bazę obiektów jaskiniowych, w której na koniec 2024 r. wprowadzonych było 1 001 rekordów reprezentujących otwory jaskiń i sztolni (27 sztolni i 2 częściowo antropogeniczne), w tym 36 otworów 14 systemów wielootworowych. Łączna długość tych obiektów wyniosła 141 394,14 m, a deniwelacja 11 246,12. Z tej liczby 26 obiektów ma co najmniej 1 000 m długości lub 100 m deniwelacji (Tab. 4).

Tab.4. Obiekty o długości większej niż 1000 m lub deniwelacji większej niż 100 m.

| **Lp.** | **Nazwa** | **Długość [m]** | * | **Deniwelacja [m]** | ** |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | System Wielkiej Śnieżnej | 23773,7 | 1 | 824 | 1 |
| 2 | Jaskinia Śnieżna Studnia | 14441 | 2 | 805 | 2 |
| 3 | Jaskinia Wysoka - Za Siedmiu Progami | 11700 | 3 | 435 | 5 |
| 4 | Jaskinia Miętusia | 10780 | 4 | 305 | 8 |
| 5 | Bańdzioch Kominiarski | 10010 | 5 | 562 | 3 |
| 6 | Jaskinia Czarna | 7247 | 6 | 303,5 | 9 |
| 7 | System Ptasiej Studni | 6874 | 7 | 352 | 7 |
| 8 | Jaskinia Zimna | 6153 | 8 | 176 | 12 |
| 9 | Jaskinia Mała w Mułowej | 3863 | 9 | 555 | 4 |
| 10 | Jaskinia Kozia | 3470 | 10 | 389 | 6 |
| 11 | Jaskinia Kasprowa Niżnia | 3100 | 11 | 47 | 33 |
| 12 | System Jaskiń Pawlikowskiego | 2404 | 12 | 76,1 | 21 |
| 13 | Szczelina Chochołowska | 2320 | 13 | ok. 60 | 25 |
| 14 | Piwnica Miętusia | 2300 | 14 | 133 | 18 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 15 | Jaskinia Bystrej | 1480 | 15 | 53 | 29 |
| 16 | Siwy Kocioł | 1390 | 16 | 295,4 | 10 |
| 17 | Jaskinia Magurska | 1285 | 17 | 59 | 26 |
| 18 | Jaskinia Naciekowa | 1210 | 18 | 97 | 20 |
| 19 | Jaskinia Psia | 1076 | 19 | 62 | 24 |
| 20 | Studnia w Kazalnicy | 1000 | 20 | 244 | 11 |
| 21 | Jaskinia Miętusia Wyżnia | 810 | 21 | 145 | 17 |
| 22 | System Zośka - Zagonna Studnia | 700 | 23 | 163 | 15 |
| 23 | Jaskinia Marmurowa | 681 | 24 | 150,5 | 16 |
| 24 | Jaskinia Harda | 578 | 26 | 126,3 | 19 |
| 25 | Jaskinia pod Wantą | 520 | 27 | 172 | 13 |
| 26 | Jaskinia Małołącka | 258 | 41 | 166 | 14 |

* - kolejność długości korytarzy, ** - kolejność wg deniwelacji

.

# SESJA TERENOWA B
# DEMIANOWSKI SYSTEM JASKINIOWY – ROZWÓJ, OSADY WEWNĘTRZNE, PROCESY SEJSMOTEKTONICZNE

**Pavel Bella[1], Michał Gradziński[2], Helena Hercman[3], Peter Holúbek[4], Juraj Littva[1], Dawid Siemek[5], Przemysław Sala[6], Jacek Szczygieł[7], Wojciech Wróblewski[2]**

*[1]Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky, Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš,*
*[2]Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Jagielloński, Kraków,*
*[3]Instytut Nauk Geologicznych, Polska Akademia Nauk, Warszawa,*
*[4]Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Liptovský Mikuláš,*
*[5]Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, Kraków,*
*[6]Instytut Nauk o Ziemi i Środowisku, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Toruń,*
*[7.]Instytut Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski w Katowicach, Sosnowiec*

## WPROWADZENIE

Demianowski System Jaskiniowy (DSJ; Demänovský jaskynný systém) znajduje się we wschodniej części Doliny Demianowskiej (Demänovská dolina; Droppa, 1957). Całkowita długość DSJ przekracza 49,5 km, a jego deniwelacja wynosi 197 m (Ryc. B1; www.sss.sk). System obejmuje dziesięć jaskiń, wśród których najdłuższą jest Demianowska Jaskinia Wolności (Demänovská jaskyňa slobody), która będziemy zwiedzać wraz z południowym fragmentem Jaskini Pokoju (Jaskyňa mieru). DSJ jest usytuowany na terenie parku narodowego. Niektóre partie DSJ są dostępne dla turystów, okresowo lub w ciągu całego roku.

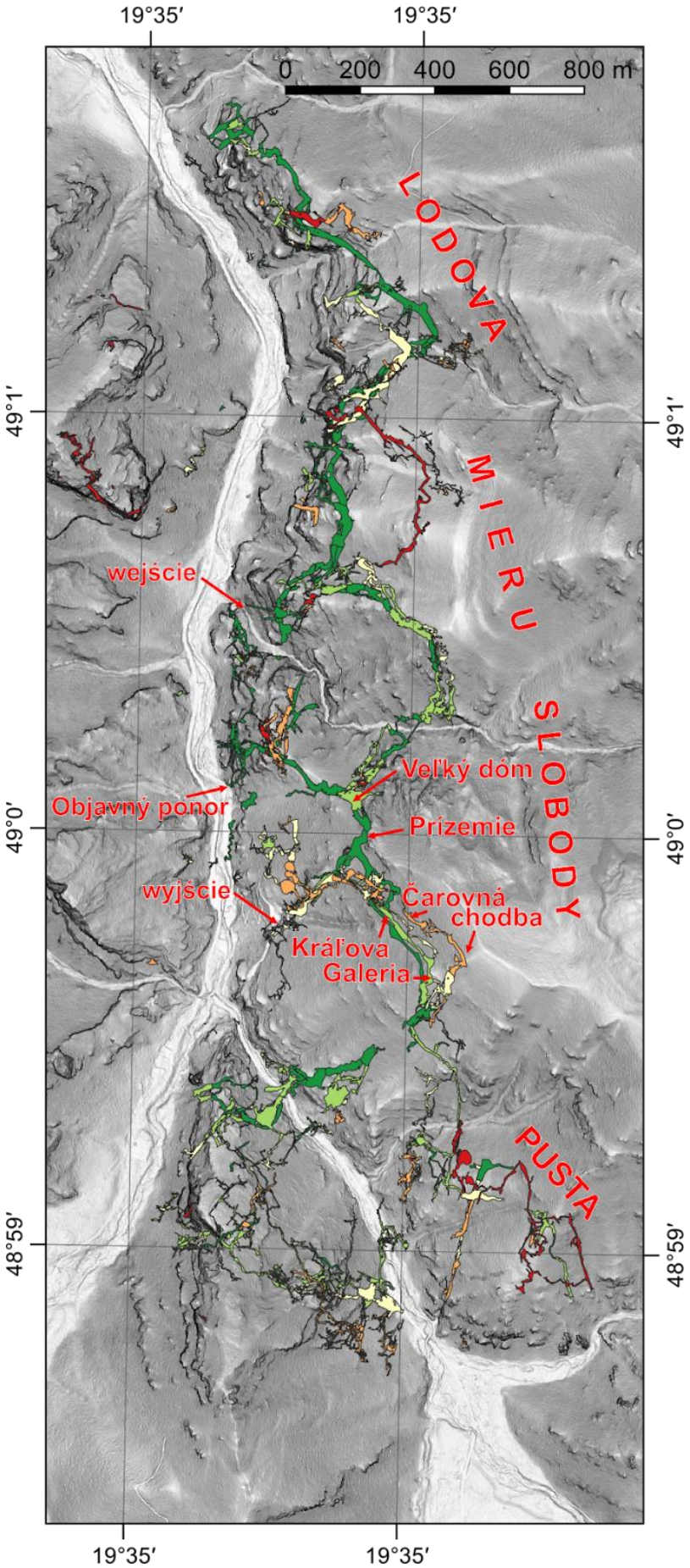
System jaskiń powstał w środkowotriasowych wapieniach i dolomitach typu Gutenstein i dolomitach typu Ramsau (Gaál, 2016). Należą one do allochtonicznej jednostki (płaszczowiny) kriżniańskiej, która tworzy północną pokrywę osadową granitoidowego krystalicznego trzonu Niżnych Tatr (Droppa, 1957; Bella et al., 2014). Górna część Doliny Demianowskiej była zlodowacona w plejstocenie (Vitásek, 1923; Louček et al., 1960; Droppa, 1972). DSJ jest rozwinięty poniżej zachowanych moren czołowych we wschodnim zboczu, równolegle do doliny, na odcinku, gdzie ma ona charakter stosunkowo wąskiego kanionu (Droppa, 1972). DSJ powstał na skutek korozji i erozji masywu węglanowego przez wody allogeniczne. Obecnie rzeka Demänovka wpływa na obszar zbudowany ze skał węglanowych na polanach zwanych Lúčki położonych na wysokości ok. 950 m n.p.m. Woda częściowo lub całkowicie znika pod ziemią, w zależności od aktualnego wydatku.

W klasycznej monografii Droppa (1957) wyróżnił dziewięć poziomów jaskiniowych w DSJ na podstawie szczegółowych pomiarów przy pomocy teodolitu. W kolejnych pracach skorelował te poziomy z tarasami rzecznymi Demänovki oraz Wagu i jego dopływów (np. Droppa, 1966, 1972). Przyporządkował poszczególne poziomy jaskiniowe do kolejnych etapów zlodowaceń plejstoceńskich, stosując klasyczny alpejski schemat morfostratygraficzny. Nowsze, szczegółowe badania wskazują jednak, że pochodzenie tego systemu jest bardziej złożone (np. Hochmuth, 1993; Bella, 2013. 2019;

Bella et al., 2014; Hercman et al., 2023). Bella (1993) przyporządkował poszczególne poziomy jaskiniowe DSJ wyróżnione przez Droppę (1957) do jaskiń powstających na poziomie zwierciadła wód podziemnych (*ideal watertable cave*) lub do stadium pośredniego z obecnością elementów powstałych na poziomie zwierciadła wód podziemnych przedzielonych pętlami freatycznymi (*sensu* Ford & Ewers, 1978). Datowanie reperów wiekowych za pomocą niezależnych metod fizycznych miało i nadal ma kluczowe znaczenie dla określenia ewolucji DSJ.

W maju tego roku minęło trzydzieści lat od rozpoczęcia aktywnej współpracy między badaczami z Polski i Słowacji, której przedmiotem był na początku wiek DSJ. Współpraca ta stopniowo rozwinęła się obejmując wiele innych ważnych i naukowo interesujących zagadnień dotyczących DSJ, a także innych jaskiń i obszarów krasowych Słowacji. Zainicjował ją profesor Jerzy Głazek, wieloletni prezes Sekcji Speleologicznej PTP im. Kopernika, korzystając ze swoich wcześniejszych kontaktów. Badania rozpoczęli ze strony słowackiej Pavel Bella, a z polskiej Michał Gradziński i Helena Hercman, którzy systematycznie włączali w nie swoich współpracowników i uczniów. Badania dotyczyły szerokiego spektrum zagadnień, takich jak: (i) wiek kolejnych poziomów DSJ i rozwój tego systemu (Hercman et al., 1997, 2000, 2006, 2023), (ii) zmiany paleoklimatyczne rekonstruowane na podstawie analiz nacieków jaskiniowych (Hercman, 2000; Hercman et al., 2020; Pawlak, 2021; Błaszczyk & Hercman, 2022; Błaszczyk et al., 2025), (iii) warunki paleohydrologiczne zapisane w sekwencji osadów klastycznych i speleotemów (Bella et al., 2021), (iv) aktywność sejsmotektoniczna i jej zapis w uszkodzonych naciekach jaskiniowych (Szczygieł et al., 2021; Sala et al., 2022), a także (v) zróżnicowanie chemizmu wód podziemnych (Motyka et al., 2005; Haviarová et al., 2021) i (vi) współczesna korozja nacieków jaskiniowych (Sala & Bella, 2023). W badania dotyczące genezy DSJ włączył się zespół z Pragi kierowany przez profesora Pavla Bosáka.

Asumptem do zorganizowania tej całodziennej sesji terenowej była z jednej strony wspomniana powyżej rocznica, a z drugiej przystosowanie do ruchu turystycznego kolejnego segmentu DSJ obejmującego Jaskinię Pokoju pomiędzy Doliną Vyvieranie a połączeniem z Demianowską Jaskinią Wolności i fragmentów tej drugiej jaskini – korytarzy Sucha chodba i Mramorové riečisko. Było to możliwe dzięki uruchomieniu funduszy Unii Europejskiej, a prace udostępniające zostały zakończone w 2024 r.



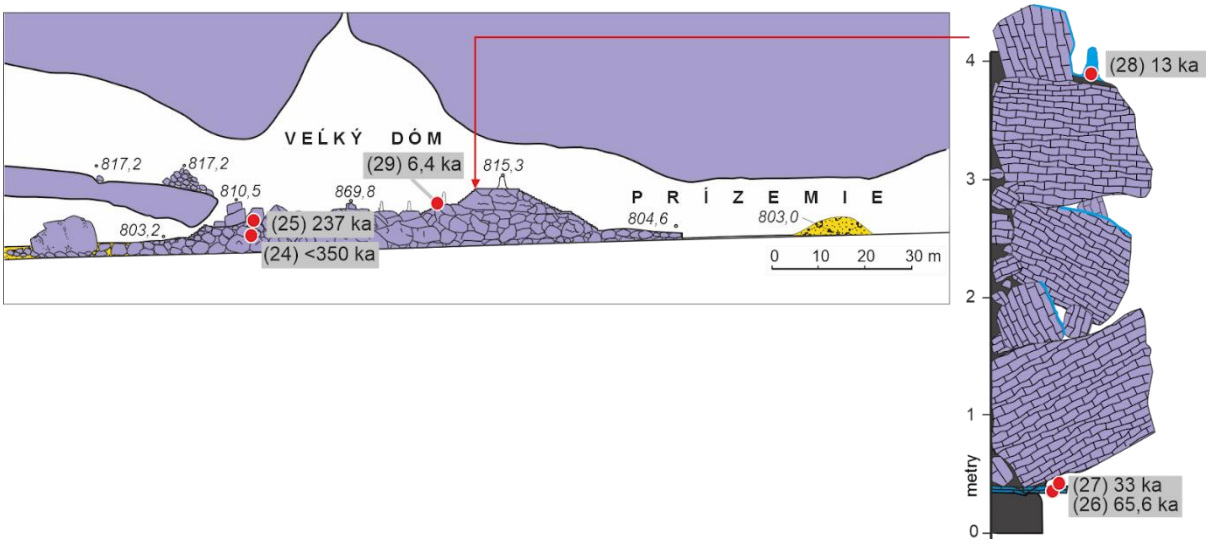

**Ryc. B1.** Demianowski System Jaskiniowy (DSJ; Demänovský jaskynný systém) na tle cieniowanego numerycznego modelu terenu (https://geoportal.gov.sk/) z zaznaczonymi punktami sesji terenowej

**Punkt 1 - Ponor Demänovki**

Ponor znajduje się po prawej (wschodniej) stronie doliny, na wysokości 805 m n.p.m., w pobliżu szlaku turystycznego. Jest to najniżej położony ponor rzeki Demänovka. W 1921 r. A. Král i A. Mišura korzystając z niskiego stanu wody weszli przez ten ponor do wnętrza nieznanej jaskini, która została później nazwana Demianowską Jaskinia Wolności. Część jaskini od korytarza Mramorové riečisko przez salę Veľký dom została udostępniona do zwiedzania już w 1924 r. poprzez przekopane wejście, które znajduje się 8 m powyżej ponoru. Odkrycie to stanowiło istotny impuls do poszukiwań kolejnych jaskiń na Słowacji.

**Punkt 2 - Demianowska Jaskinia Wolności – Veľký dóm**

Veľký dóm jest jedną z największych sal w DSJ. Jej wysokość sięga 41 m, a wymiary poziome 75 m x 45 m (Droppa, 1957). Powstała na skrzyżowaniu dwóch szczelin o biegu 300° i 70°. Północno-wschodnia ściana komory pokryta jest rozległą warstwą aktywnego mleka wapiennego. Spąg sali tworzy blokowisko złożone z bloków o rozmiarach dochodzących do kilku metrów. Materiał ten został zdeponowany w wyniku wieloetapowej destrukcji stropu sali. Pod blokami płynie podziemny odcinek rzeki Demänovki. Blokowisko jest w wielu miejscach pokryte stalagmitami, z których niektóre osiągają wysokość do 1 m (Droppa, 1957). Datowanie nacieków pozwoliło na określenie wieku ostatniego znaczącego obrywu na pomiędzy 33 ka a 9 ka (Ryc. B2; Bella et al., 2021).




**Ryc. B2**. Przekrój podłużny obrazujący salę Veľký dóm z blokowiskiem na dnie i korytarz Prízemie z odsypem osadów klastycznych (patrz Fig. B3) usytuowany w górnej części podziemnego odcinka Demänovki; podane daty nacieków (numery próbek w nawiasach) z Bella et al. (2021) zmodyfikowane.

**Punkt 3 - Demianowska Jaskinia Wolności – korytarz Prízemie**

Dno korytarza znajduje się na poziomie aktywnego, współczesnego przepływu podziemnego odcinka Demänovki, która płynie miejscami po skalnym dnie a miejscami po własnych, odłożonych wcześniej osadach.

W pobliżu niewielkiej kaskady Demänovki na wschodniej ścianie korytarza zachowane są relikty osadów klastycznych scementowanych i pokrytych naciekami. Znajdują się one na wysokości 2,5 m i 3,7 m ponad dzisiejszym dnem. Wiek najstarszych nacieków został określony na między 774 ka a 600 ka na podstawie datowania metodą U-Th i badań paleomagnetycznych (Hercman et al., 2023). Wskazuje to na minimalny wiek przejście tego segmentu jaskini ze stadium freatycznego do wadycznego. Położenie osadów w formie zawieszonych reliktów dowodzi późniejszej, prawie całkowitej erozji osadów wypełniających uformowany wcześniej korytarz.

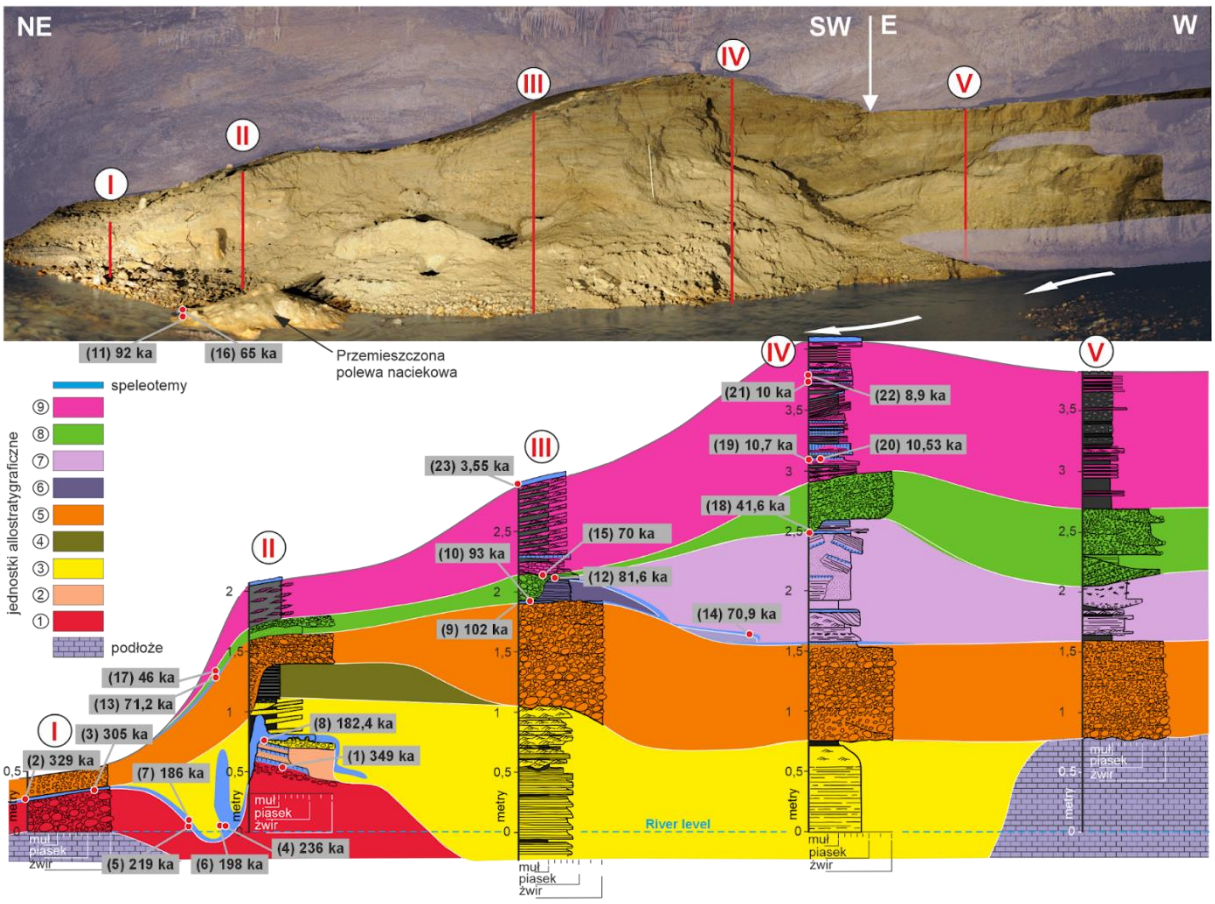
Kilkadziesiąt metrów na północ na prawym brzegu Demänovki odsłania się profil osadów klastycznych (żwirów, piasków i mułów) przeławiconych poziomami nacieków jaskiniowych. Szczegółowa analiza sedymentologiczna umożliwiła wyróżnienie dziewięciu jednostek allostratygraficznych rozdzielonych powierzchniami erozyjnymi (Ryc. B3; Bella et al., 2021). Natomiast datowanie nacieków jaskiniowych pozwoliło na precyzyjne określenie wieku poszczególnych jednostek. Najstarsza żwirowa jednostka była deponowane wcześniej niż ok. 350 ka, natomiast najmłodsza, drobnoziarnista na przełomie plejstocenu i holocenu.

Wyróżnione zostały cztery jednostki żwirowe lub zawierające żwir w spągu, które genetycznie wiążą się z dynamicznym przepływem związanym z deglacjacją w górnych segmentach Doliny Demianowskiej (Bella et al., 2021). Dwie z tych jednostek pokrywają wybitne powierzchnie erozyjne. W profilu stwierdzono także dwie jednostki drobnoziarniste, które dokumentują prawie całkowite zatrzymanie przepływu. Zostały one zinterpretowane jako efekt spiętrzenia wód poprzez obrywy w niższym biegu Demänovki w rejonie sali Veľký dóm (Bella et al., 2021). Młodszy z tych obrywów datowany jest na schyłek plejstocenu, już po epizodzie deglacjacji. Wiąże się z nim znaleziony w profilu ostrokrawędzisty materiał węglanowy pochodzący ze stropu i inkorporowany do osadów rzecznych. Ostatnim znaczącym epizodem było rozcięcie osadów i odsłonięcie omawianego profilu, co nastąpiło po 8,9 ka. Rozcięcie to było efektem udrożnienia przepływu przez blokowisko w niższym biegu podziemnego strumienia.

Badania z Bella et al. (2021) stały się podstawą do analiz mikrorzeźby ziaren kwarcu, wykonanych przy użyciu skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM). Głównym celem badań było rozpoznanie ziaren kwarcu, których powierzchnia została zmodyfikowana w środowisku glacjalnym, a tym samym próba odpowiedzi na pytanie o czas zlodowaceń poprzedzających ostatni glacjał.

Do analizy pobrano siedem próbek osadów piaszczystych i żwirowych, reprezentujących jednostki sedymentacyjne 1, 2, 3, 5, 6 i 8 (w przypadku jednostki 8 – dwie próbki), wyróżnione w opracowaniu Bella et al. (2021). Dla porównania zebrano także trzy próbki z obszaru zlewni powyżej jaskini: z moreny czołowo-bocznej lodowca

Široká, z osadów fluwioglacjalnych w strefie ponorowej w rejonie Lučky oraz próbkę kontrolną z osadów stokowych na szczycie Ostredoka. Z każdej próbki wybrano co najmniej 100 ziaren kwarcu frakcji piaszczystej, z których 20 analizowano szczegółowo w SEM, klasyfikując mikrostruktury jakościowo według uznanych opracowań. Za glacigeniczne uznawano ziarna spełniające trzy kryteria (Siemek et al., 2025): (i) posiadające przełamy muszlowe wraz z abrazją obejmującą ≥20–25% powierzchni ziarna, (ii) wykazujące nieregularne, nakładające się ślady abrazji oraz których (iii) przełamy były głębokie na co najmniej kilku µm. Pozostałe ziarna analizowano jedynie ogólnie, a te spełniające pierwsze dwa kryteria w niskim powiększeniu weryfikowano ponownie w większej rozdzielczości.

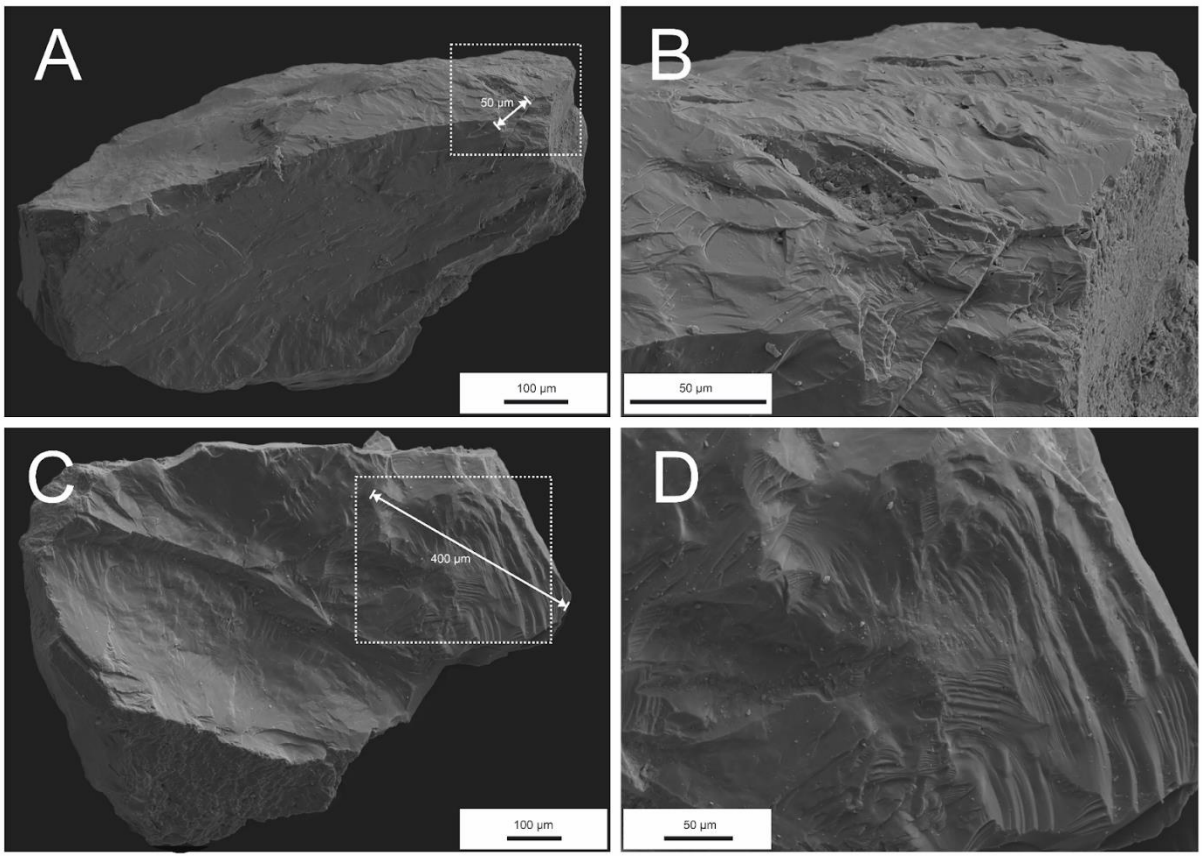



**Ryc. B3**. Położenie profili i wydzielone jednostki allostratygraficzne wraz z podanymi datami nacieków (numery próbek w nawiasach); z Bella et al. (2021) zmodyfikowane.

Dotychczasowa analiza 8 z 10 próbek wykazała obecność ziaren o powierzchni zmodyfikowanej w środowisku glacjalnym zarówno w osadach jaskiniowych, jak i w próbce z moreny lodowcowej (Ryc. B4). Liczba takich ziaren jest jednak bardzo niewielka – od 1 w jednostce 6 do maksymalnie 5 w jednostce 8 oraz w morenie na powierzchni. W przeciwieństwie do ziaren stokowych, których powierzchnia nosi ślady wietrzenia w środowisku bez aktywnego transportu, ziarna glacigeniczne wykazują znacznie silniejsze urzeźbienie. Sporadycznie obserwowano nieregularną abrazję przełamów muszlowych także w ziarnach zwietrzelinowych, jednak jej zasięg nie

przekraczał 100 µm, podczas gdy w ziarnach glacigenicznych powierzchnia abrazyjna sięgała nawet 400–500 µm (Ryc. B4).

Uzyskane wyniki, choć oparte na niewielkiej liczbie ziaren, stanowią pierwszy bezpośredni dowód na zlodowacenie Niżnych Tatr starsze niż maksimum ostatniego zlodowacenia (Vitásek, 1923; Droppa, 1972; Pyrda, 2023). Osady spągowe profilu (jednostka 1), datowane na ponad 350 tys. lat (Bella et al., 2021), zawierają ziarna glacigeniczne (ryc. B4), które można wiązać z morskim stadium izotopowym MIS 10 lub starszym. Z kolei ziarna glacigeniczne w wyższych (młodszych) jednostkach nie mogą być jednoznacznie powiązane z młodszymi zlodowaceniami, gdyż materiał ten mógł pochodzić ze starszych moren. W zestawieniu z badaniami osadów glacjalnych z powierzchni Tatr (Siemek et al., 2025) wyniki te wskazują również, że stopień przeobrażenia powierzchni ziaren jest kluczowym kryterium w rozpoznawaniu ziaren glacigenicznych. Uzyskane dane, choć niepełne, w pełni potwierdzają potencjał metody SEM do rozpoznawania starszych zlodowaceń w oparciu o osady jaskiniowe.




**Ryc. B4**. A. Ziarno z regolitu granitowego, pobrane w rejonie Ostredoka, znajdującym się poza zasięgiem zlodowacenia. Silnie i nieregularnie urzeźbiona powierzchnia przełamów muszlowych, widoczna na zdjęciu B, nie przekracza 50 µm i najprawdopodobniej stanowi efekt wietrzenia mrozowego. C: ziarno glacigeniczne z najstarszej jednostki sedymentacyjnej w jaskini Demianowskiej, zdeponowanej do około 350 tys. lat temu. Rozległa powierzchnia głęboko i nieregularnie urzeźbionych przełamów muszlowych, widoczna na zdjęciu D, osiąga do 400 µm.

**Punkt 4 - Kráľova Galeria**

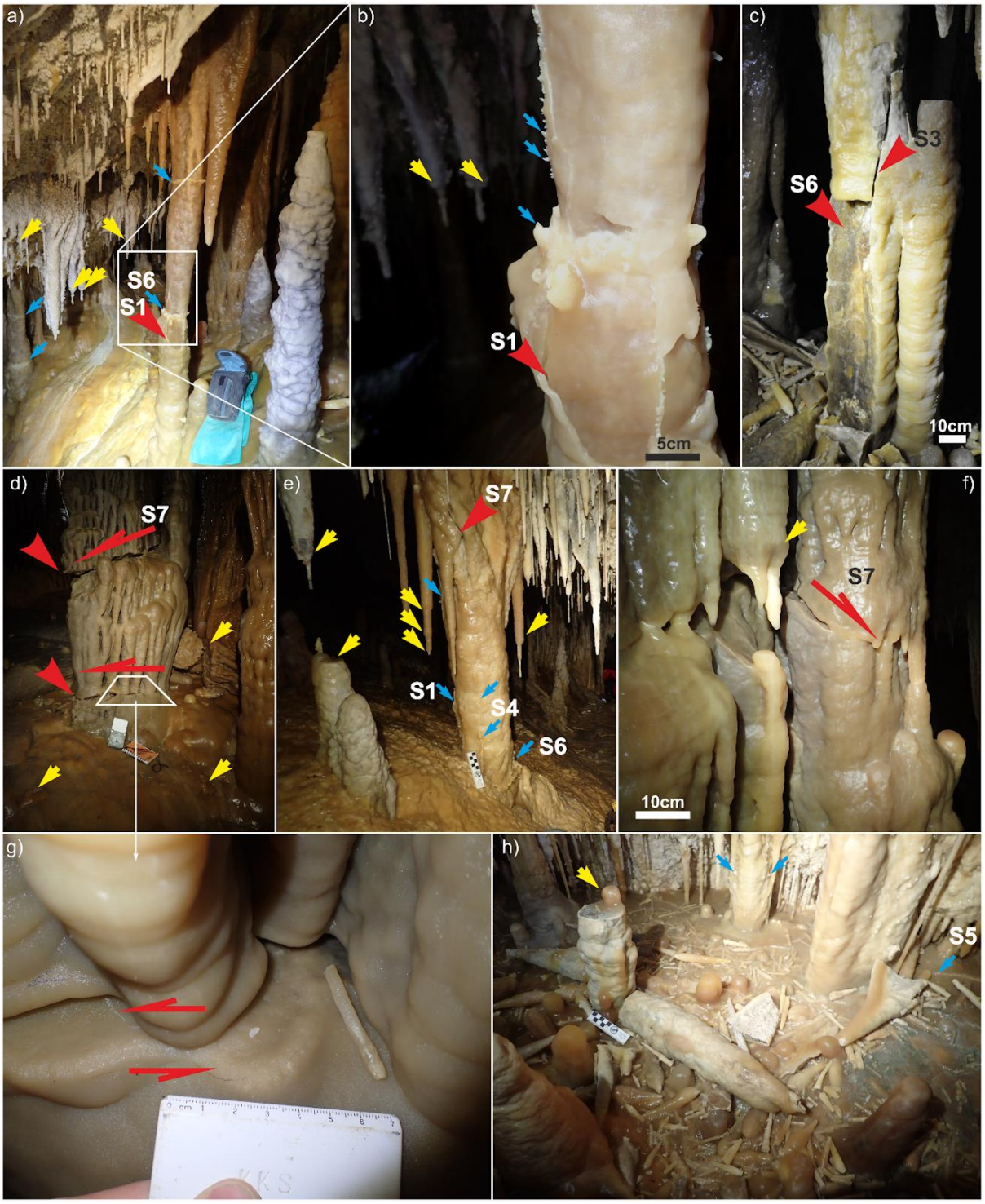
W ostatnich latach w DSJ prowadzono badania dotyczące zagadnień neotektonicznych (Szczygieł et al., 2021a; Sala et al., 2022). Ma to istotne znaczenie, ponieważ w Centralnych Karpatach Zachodnich (CKZ) struktury neotektoniczne identyfikuje się zwykle na podstawie relacji uskoków z osadami neogeńskimi, a datowania geochronometryczne stosowane są rzadko. W konsekwencji wiek deformacji określany jest przeważnie w sposób względny, a dodatkowo ograniczona precyzja stratygrafii czwartorzędowej utrudnia ich interpretację. Dopiero niedawno udokumentowano młodoczwartorzędową aktywność uskoków w CKZ. Panek i in. (2020) wykazali istnienie 50-km strefy uskoku podtatrzańskiego, zdolnej generować trzęsienia ziemi o magnitudzie >7 – znacznie silniejsze niż jakiekolwiek znane z zapisów historycznych. Wyniki te podkreślają znaczenie badań paleosejsmologicznych w regionie.

Uszkodzone nacieki jaskiniowe, relatywnie odporne na erozję i możliwe do bezwzględnego datowania, są cennym źródłem informacji o młodej aktywności tektonicznej. Trzeba jednak pamiętać, że zniszczenia nacieków mogą wynikać także z procesów niezwiązanych z tektoniką – takich jak zalodzenie, pełznięcie niżejległych osadów, powodzie, samoistne obrywy stropu czy działalność człowieka.

Badania w DSJ były skoncentrowane w korytarzach Čarovná Chodba i Kráľova Galeria, których morfologię warunkuje reaktywowany uskok. Zaobserwowano tam uszkodzenia nacieków (Ryc. B5), w tym kilkucentymetrowe przemieszczenia, które potencjalnie można wiązać z aktywnością sejsmiczną. Analizy obejmowały datowania metodą uranowo-torową, badania rzeźby powierzchni terenu nad jaskinią oraz ocenę parametrów sejsmicznych (m.in. intensywność makrosejsmiczną i maksymalne przyspieszenie gruntu - PGA ). Na podstawie datowania nacieków w DSJ wyróżniono pięć epizodów deformacji:(1) 570 (442)–417 ka, (2) 306–291 ka, (3) 184–130 ka, (4) ~19 ka, i (5) 2.56–2.3 ka (Ryc. B6).

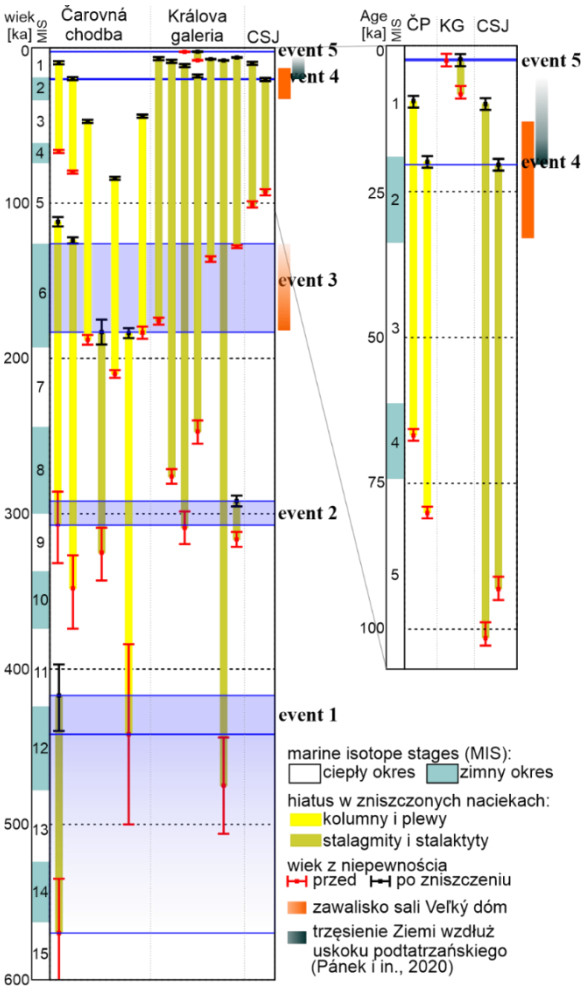
Kráľova Galeria, którą odwiedzimy podczas sesji terenowej jest subhoryzontalną galerią rozwinięte wzdłuż uskoku nachylonego pod kątem 50–70° na SW. Uskok rozciąga się co najmniej 350 m w poziomie i 50 m w pionie. W wielu miejscach jego powierzchnia jest zasłonięta przez nacieki. Zaobserwowano przesunięcia mezoform krasowych oraz przechylenia kolumn naciekowych (Ryc. B7), wskazujące na reaktywację uskoku po uformowaniu jaskini – głównie w postaci ruchu normalnego z niewielkim komponentem przesuwczym. Maksymalne przemieszczenia sięgają około 10 cm.

Deformacje potencjalnie powiązane z reaktywacją uskoku znaleziono też na powierzchni terenu nad jaskinią, gdzie zidentyfikowano dwa nieznane wcześniej osuwiska o powierzchni 0,43 $km^2$ i 0,99 $km^2$, których skarpy główne osiągają do 10 m, a koluwium osiąga miąższości do 50 m.




**Ryc. B5**. Zdeformowane kolumny towarzyszące połamanym i przewróconym stalagmitom oraz stalaktytom w korytarzu Čarovná Chodba; objaśnienie strzałek: niebieska (najmniejsza) – spękania wypełnione kalcytem, zwieńczone heliktytami, szczegółowo badana przez Sala et al. 2022; żółta (średnia) – przewrócone i połamane nacieki; czerwona (największa) – otwarte szczeliny i uskoki (wskazane półstrzałkami) wewnątrz kolumn (d, f i g). Oznaczenia S1, S2, S3 itd. odnoszą się do zestawów spękań (za Szczygieł et al., 2021a).

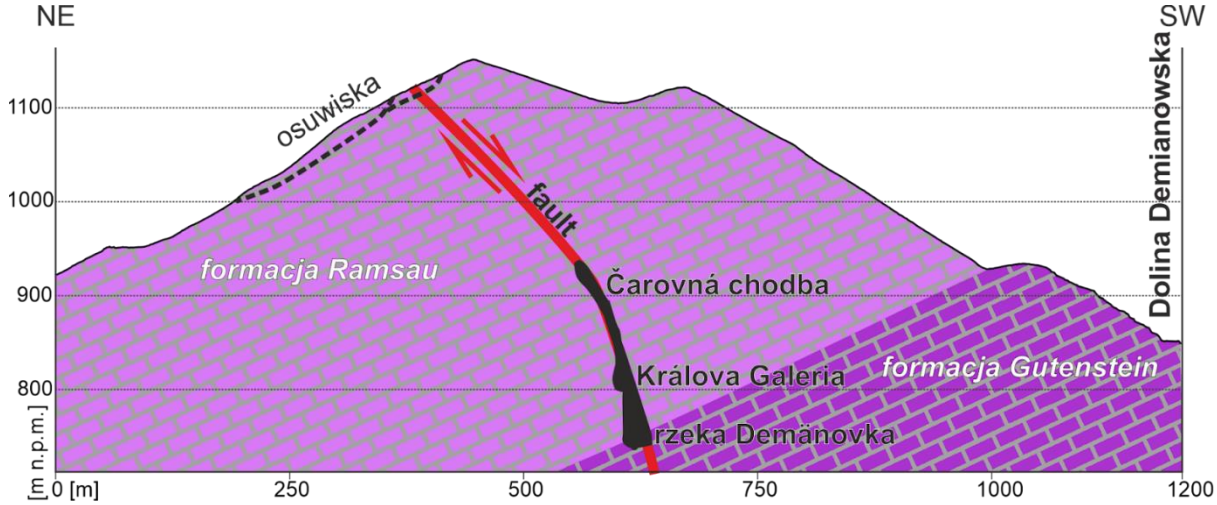
Udokumentowany uskok wykazuje kinematykę normalną, co otwiera możliwość interpretacji deformacji jako efektu grawitacyjnego zsuwu blokowego. Jednak geometria uskoku (bardziej stroma z głębokością), duża odległość między zdeformowanymi korytarzami a powierzchnią terenu (>250 m) oraz brak odpowiednich warunków topograficznych czynią ten scenariusz mało prawdopodobnym (Ryc. B8). Należy dodać, że w dolnej części Doliny Demianowskiej nie było zlodowacenia, a od co najmniej 550 tys. lat erozja pogłębiła ją zaledwie o kilka metrów (Hercman et al., 2023), co wyklucza możliwość relaksacji stoków jako czynnika wywołującego ruchy masowe.




**Ryc. B6**. Rozkład wieku uszkodzonych nacieków w Jaskini Demianowskiej na tle morskich stadiów izotopowych (MIS). Panel po prawej przedstawia powiększenie okresu 105 ka oraz dane jedynie dla zdarzeń 4 i 5. Po prawej stronie każdego panelu pokazano dla porównania inne dane paleosejsmologiczne; ČP – Čarovná Chodba, KG – Kráľova Galeria, CSJ – Korytarz Śnieżnego Jeziorka (za Szczygieł et al., 2021a, zmodyfikowane).

Badania (Gribovszki et al., 2017, 2018; Szczygieł et al., 2021b) wskazują, że większość z nacieków pęka przy wartości PGA (maksymalnego przyspieszenia gruntu) od 2 do 6 m/s$^2$. Najbliższe współcześnie aktywne strefy sejsmiczne to Kotlina Orawska i strefa Krowiarek, gdzie odnotowano trzęsienia ziemi do M 5,7. Jednak ze względu na odległość ich wpływ na system jaskiniowy (<2 m/s$^2$) jest marginalny. Jedynym uskokiem zdolnym do wygenerowania przyspieszeń PGA >4 m/s$^2$ w odległości 17,5 km wydaje się być uskok podtatrzański, w którym udokumentowano paleotrzęsienia o magnitudzie M > 7 (Pánek i in., 2020). Nie można jednak wykluczyć, że część deformacji jest skutkiem reaktywacji starszych struktur lub lokalnych wstrząsów wtórnych w sąsiedztwie jaskini (<5 km).

**Ryc. B7**. Pozycja próbek DJS-KG1 i DJS-KG2 (lewe zdjęcie) oraz próbek DJS-KG3 i DJS-KG4 (prawe zdjęcie) pobranych z Kráľovej Galerii w Jaskini Demianowskiej.




**Ryc. B8**. Interpretacyjny przekrój przez wschodnie stoki Doliny Demänovej, obejmujący badaną część Jaskiniowego Systemu Demianowskiej z zaznaczonymi osuwiskami; geologia powierzchniowa według Biely i in. (1992). (za Szczygieł et al., 2021a, zmodyfikowane).

## Potencjalne źródła sejsmiczne

Nacieki, ze względu na swoją kruchość i charakterystykę rezonansową, zachowują się jak naturalne sejsmometry. Badania (Gribovszki et al., 2017, 2018; Szczygieł et al., 2021b) wskazują, że większość z nich pęka przy wartości PGA od 2 do 6 m/s$^2$.

Jednym z bardziej znaczących uskoków wykazujących aktywność czwartorzędową jest uskok Vikartovce, o tempie deformacji 0,8–1,0 mm/rok w późnym plejstocenie. Leży on jednak ~40 km od jaskini i obecnie nie przejawia aktywności sejsmicznej. Najbliższe współcześnie aktywne strefy sejsmiczne to Kotlina Orawska i strefa Krowiarek, gdzie

odnotowano trzęsienia ziemi do M 5,7. Jednak ze względu na odległość ich wpływ na system jaskiniowy (<2 m/s$^2$) jest marginalny.

Jedynym uskokiem zdolnym do wygenerowania przyspieszeń PGA >4 m/s$^2$ w odległości 17,5 km pozostaje uskok podtatrzański, w którym udokumentowano paleotrzęsienia o magnitudzie M > 7 (Pánek i in., 2020). Choć jego charakter (normalny czy nasuwczy) pozostaje dyskusyjny, wydaje się on najbardziej prawdopodobnym źródłem zniszczeń w jaskini Demianowskiej. Nie można jednak wykluczyć, że część deformacji jest skutkiem reaktywacji starszych struktur lub lokalnych wstrząsów wtórnych w sąsiedztwie jaskini (<5 km).

## Literatura


Bella, P., 1993. Poznámky ku genéze Demänovského jaskynného sys¬tému. Slovenský kras, 31: 43–53.

Bella, P., 2013. Vtokové klesajúce chodby a nevytriedené fluviálne sedimenty v jaskyniach ponorovej zóny stredohorského alogénneho krasu: na príklade Demänovskej jaskyne slobody (Demänovská dolina, Nízke Tatry). Geographia Cassoviensis, 7(1): 16–23

Bella, P., 2019. Morfologické a vývojové odlišnosti spodných častí Demänovskej jaskyne slobody pozdĺž podzemného toku Demänovky. Aragonit, 24(2): 64–70.

Bella, P., Haviarová, D., Kováč, Ľ., Lalkovič, M., Sabol, M., Soják, M., Struhár, V., Višňovská, Z. & Zelinka, J., 2014. Jaskyne Demänovskej doliny. ŠOP SR, SSJ, Liptovský Mikuláš, 200.

Bella, P., Gradziński, M., Hercman, H., Leszczyński, S. and Nemec, W., 2021. Sedimentary anatomy and hydrological record of relic fluvial deposits in a karst cave conduit. Sedimentology, 68(1): 425-448. https://doi.org/ /10.1111/sed.12785

Biely, A., Beňuška, P., Bezák, V., Bujnovský, A., Halouzka, R., Ivanička, J., Kohút, M., Klinec, A., Lukáčik, E., Maglay, J., & Miko, O., 1992. Geological map of the Nízke Tatry Mountains 1: 50,000. Geological Institute of Dionýz Štúr Publisher, Bratislava.

Błaszczyk, M. & Hercman, H., 2022. Palaeoclimate in the Low Tatras of the Western Carpathians during MIS 11–6: Insights from multiproxy speleothem records. Quaternary Science Reviews, 275: 107290. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107290

Błaszczyk, M., Pawlak, J. & Hercman, H., 2025. Paleoclimatic implications of the Tatra Mountains in Central Europe during MIS 9–6 based on multiproxy speleothem records. Quaternary Science Reviews, 367: 109544. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2025.109544

Droppa, A., 1957. Demänovské jaskyne – krasové zjavy Demänovskej doliny. Slovenská akadémia vied, Bratislava, 289.

Droppa, A., 1966. The correlation of some horizontal caves with river terraces. Studies in Speleology, 1: 186-192.

Droppa, A., 1972. Geomorfologické pomery Demänovskej doliny. Slovenský kras, 10: 9-46.

Ford, D. C. & Ewers, R. O., 1978. The development of limestone cave systems in the dimensions of length and depth. Canadian Journal of Earth Sciences, 15: 1783–1798.

Gaál, Ľ., 2016. Litológia karbonatických hornín Demänovského jaskynného systému. Slovenský kras, 54(2): 109–129.

Gribovszki, K., Kovács, K., Mónus, P., Bokelmann, G., Konecny, P., Lednická, M., et al. (2017). Estimating the upper limit of prehistoric peak ground acceleration using an in situ, intact and vulnerable stalagmite from Plavecká priepast cave (Detrekői-zsomboly), Little Carpathians, Slovakia—first results. Journal of Seismology, 21(5): 1111–1130. https://doi.org/10.1007/s10950-017-9655-3

Gribovszki, K., Esterhazy, S., & Bokelmann, G. (2018). Numerical Modeling of Stalagmite Vibrations. Pure and Applied Geophysics, 175(12): 4501–4514.

https://doi.org/10.1007/s00024-018-1952-4
Haviarová, D., Gradziński, M. & Motyka, J., 2021. Chemické zloženie vôd v Demänovskej jaskyni Slobody. Slovenský kras, 59: 157–186.
Hercman, H., 2000. Reconstruction of palaeoclimatic changes in central Europe between 10 and 200 thousand years BP, based on analysis of growth frequency of speleothems. Studia Quaternaria, 17: 35–70.
Hercman, H., Bella, P., Głazek, J., Gradziński, M., Lauritzen, S. E. & Løvlie, R., 1997. Uranium-series dating of speleothems from Demanova Ice Cave: A step to age of the Demanova Cave System (The Nizke Tatry Mts., Slovakia). Annales Societatis Geologorum Poloniae, 67(4): 439–450.
Hercman, H., Bella, P., Głazek, J., Gradziński, M. & Nowicki, T., 2000. Rádioizotopové datovanie sintrov z Demänovskej jaskyne slobody. In: Bella, P. (ed.), Výskum využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov z 2. vedeckej konferencie (Demänovská dolina, 16. – 19. 11. 1999). SSJ, Liptovský Mikuláš, 26–35.
Hercman, H., Bella, P., Gradziński, M., Głazek, J., Nowicki, T. & Sujka, G., 2006. Výsledky rádioizotopového datovania sintrov z Demänovského jaskynného systému v rokoch 1995 – 2005. In: Bella, P. (ed.), Výskum využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov z 5. vedeckej konferencie (Demänovská Dolina, 26. – 29. 9. 2005). SSJ, Liptovský Mikuláš, 21–36.
Hercman, H., Gąsiorowski, M., Pawlak, J., Błaszczyk, M., Gradziński, M., Matoušková, Š., Zawidzki, P. & Bella, P., 2020. Atmospheric circulation and the differentiation of precipitation sources during the Holocene inferred from five stalagmite records from Demänová Cave System (Central Europe). The Holocene, 30(6): 834–846. https://doi.org/ 10.1177/0959683620902224
Hercman, H., Gąsiorowski, M., Szczygieł, J., Bella, P., Gradziński, M., Błaszczyk, M., Matoušková, Š., Pruner, P. & Bosák, P., 2023. Delayed valley incision due to karst capture (Demänová Cave System, Western Carpathians, Slovakia). Geomorphology, 437: 108809. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108809
Hochmuth, Z., 1993. Výsledky podrobného mapovania a revízny geo¬morfologický výskum jaskyne Vyvieranie v Demänovskej doline. Slovenský kras, 31: 29–42.
Louček, D., Michovská, J. & Trefná, E., 1960. Zalednění Nízkych Tater. Sborník Československé společnosti zeměpisné, 65: 326–352.
Motyka, J., Gradziński, M., Bella, P. & Holúbek, P., 2005. Chemistry of water from selected caves in Slovakia – a reconnaissance study. Environmental Geology, 48(6): 682–692.
Pawlak, J., 2021. The speleothem oxygen record as a proxy for thermal or moisture changes: a case study of multiproxy records from MIS 5–MIS 6 speleothems from the Demänová Cave system. Climate of the Past, 17(3): 1051–1064. https://doi.org/10.5194/cp-17-1051-2021
Pánek, T., Minár, J., Vitovič, L., & Břežný, M. (2020). Post-LGM faulting in Central Europe: LiDAR detection of the >50 km-long Sub-Tatra fault, Western Carpathians. Geomorphology, 364: 107248. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107248
Pyrda, A., 2023. Glacial geomorphology and Pleistocene glacier reconstruction in the Demänovská Valley, Low Tatra Mountains, Slovakia. Geology, Geophysics & Environment, 49(1): 19–36. https://doi.org/10.7494/geol.2023.49.1.19
Sala, P. & Bella, P., 2023. Corrosion of carbonate speleothems by an allogenic river inferred from petrography and a weight loss experiment: a case study from the Demänová Cave System, Slovakia. Annales Societatis Geologorum Poloniae, 93(4): 467–481. https://doi.org/10.14241/asgp.2023.15
Sala, P., Bella, P., Szczygieł, J., Wróblewski, W. & Gradziński, M., 2022. Healed speleothems: A possible indicator of seismotectonic activity in karst areas. Sedimentary Geology, 430: 106105. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2022.106105
Siemek, D., Woronko, B., Kłapyta, P., Zasadni, J. and Szczygieł, J., 2025. Size does not matter: Glacial record on quartz grains from Pleistocene glacial deposits in Tatra Mts. (Western Carpathians) revealed by scanning electron microscopy. Sedimentary Geology: 106937.
Szczygieł, J., Gradziński, M., Bella, P., Hercman, H., Littva, J., Mendecki, M. J., Sala, P., & Wróblewski, W., 2021a. Quaternary faulting in the Western Carpathians: Insights into

paleoseismology from cave deformations and damaged speleothems (Demänová Cave System, Low Tatra Mts). Tectonophysics, 820.
https://doi.org/10.1016/j.tecto.2021.229111

Szczygieł, J., Sobczyk, A., Hercman, H., Mendecki, M. J., & Gąsiorowski, M., 2021b. Damaged Speleothems and Collapsed Karst Chambers Indicate Paleoseismicity of the NE Bohemian Massif (Niedźwiedzia Cave, Poland). Tectonics, 40(3).
https://doi.org/10.1029/2020TC006459

Vitásek, F., 1923. Studie pleistocenu v údolí Demänovky. Sborník Státního geologického ústavu Československé republiky, 2: 157–171.

# SESJA TERENOWA C
# WPŁYW ZLODOWACEŃ NA ROZWÓJ SYSTEMU KRASOWEGO DOLINY BYSTREJ

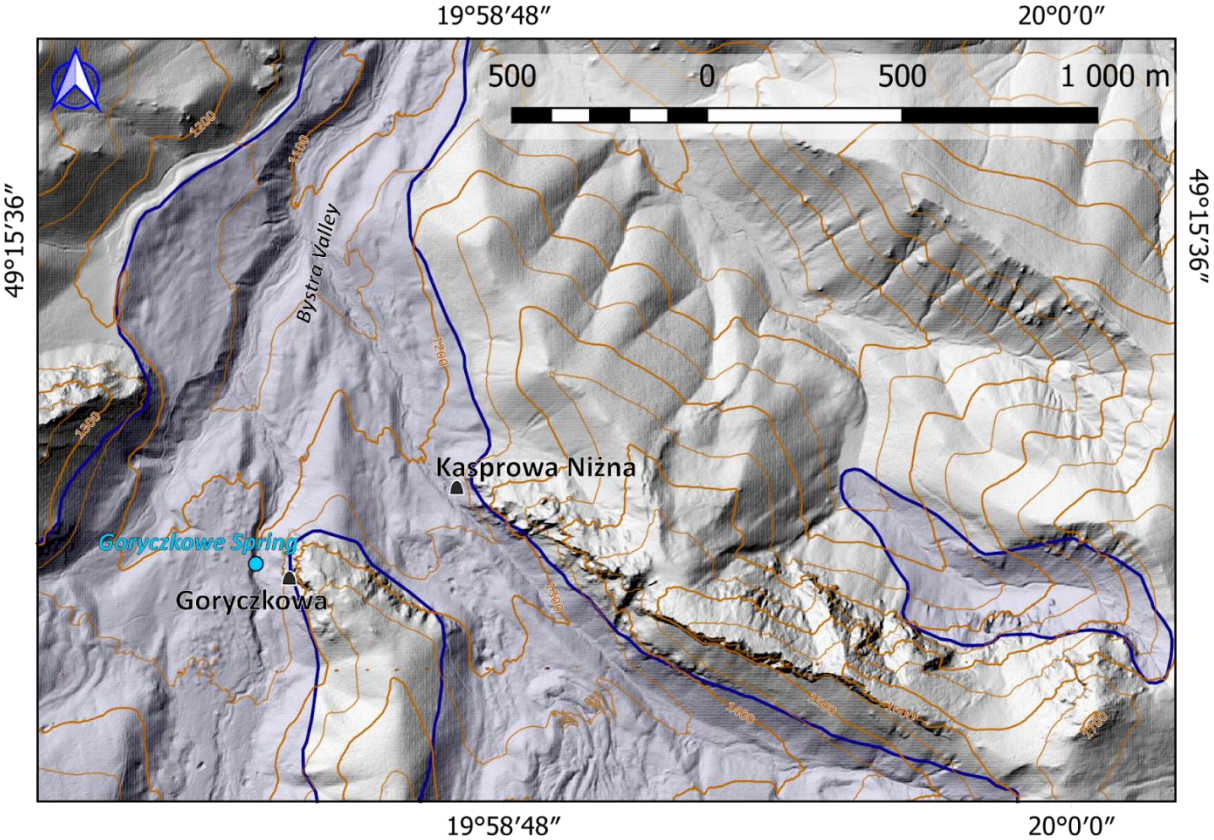
**Jacek Szczygieł[1], Gregory D Hoke[2], Artur Sobczyk[3], Helena Hercman[4], Dawid Siemek[5], Przemysław Sala[6]**

[1]*Instytut Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, Polska*
[2]*Earth and Environmental Sciences, Syracuse University, Syracuse NY, USA*
[3]*Pracownia Radionuklidów Kosmogenicznych, Zakład Geologii Strukturalnej i Kartografii Geologicznej, Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław, Polska*
[4]*Instytut Nauk Geologicznych, Polska Akademia Nauk, Warszawa, Polska*
[5]*Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, Kraków, Polska*
[6]*Instytut Nauk o Ziemi i Środowisku, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Toruń, Polska*

## WPROWADZENIE

Dolina Bystrej była silnie zlodowacona podczas ostatniego zlodowacenia (Ryc. C1), a przebieg kolejnych faz awansu i recesji lodowca został dobrze udokumentowany (Makos i in., 2016). Pod względem zjawisk krasowych w dolinie występują dwa niezależne systemy drenażu. Oba aktywne wywierzyska – Bystre i Goryczkowe – odwadniają płaszczowinę Giewontu oraz serię autochtoniczną. Źródło Bystre zbiera wody z zachodniej części doliny, natomiast źródło Goryczkowe z części centralnej i wschodniej, a dodatkowo także wody allogeniczne ze zbudowanej ze skał krystalicznych górnej partii sąsiedniej Doliny Suchej Wody (Barczyk, 2003). Średnie wydajności źródeł oszacowano odpowiednio na 350 $dm^3/s$ dla Bystrego i 800 $dm^3/s$ dla Goryczkowego (Barczyk, 2003).

Paleofreatyczny odpowiednik źródła Bystrego, tj. Jaskinia Kalacka (poziom L1 wg. Szczygieł i in., 2020a), znajdował się w zasięgu lodowca doliny Bystrej podczas maksimum ostatniego zlodowacenia. Najprawdopodobniej nagromadzone tam osady zostały wówczas wymieszane w efekcie zjawiska tzw. *backflooding* (Szczygieł i in., 2020a). Jaskinia Kalacka była celem wycieczki terenowej na poprzednim Sympozjum Speleologicznym w Tatrach w 2017 r. Od tego czasu szczegółowe badania skoncentrowano na systemie źródła Goryczkowego, obejmującym Jaskinię Kasprową Niżną, Jaskinię Goryczkową oraz Jaskinię Magurską (Ryc. C1). Celem niniejszej wycieczki są dwie pierwsze jaskinie, podczas której będziemy prezentować (i) zależność pomiędzy jaskiniami a rozwojem doliny i zlodowaceniami oraz (ii) deformacje korytarzy jaskiniowych oraz nacieków w Jaskini Goryczkowej.




**Ryc. C1.** Mapa topograficzna środkowej części Doliny Bystrej nałożona na cieniowany model rzeźby terenu uzyskany z danych lidarowych (źródło: https://www.geoportal.gov.pl/). Ciemnoniebieski poligon przedstawia zasięg lodowca w trakcie maksimum ostatniego zlodowacenia (LGM) wg Zasadni i Kłapyta (2014).

## Punkt 1 - Jaskinia Kasprowa Niżna

### *Stop 1.1 - otwór wejściowy*

Na wschodnim zboczu Doliny Bystrej zlokalizowana jest Jaskinia Kasprowa Niżna, której otwór położony jest na wysokości 1228 m n.p.m (Ryc. C1, C2). Jaskinia ma długość około 3100 m i osiąga 47 m głębokości. Pełni ona rolę swoistego „zaworu bezpieczeństwa" dla źródła Goryczkowego – podczas wezbrań woda wypływa przez jej wylot (Barczyk, 2003). Jaskinia zasilana jest nie tylko wodami przelewającymi się ze źródła Goryczkowego, lecz także wodami pochodzącymi z ponorów Doliny Kasprowej (górny, wschodni kocioł Doliny Bystrej), a także wodami allogenicznymi z Doliny Suchej Wody. Jaskinia Kasprowa Niżna reprezentuje aktywny poziom epifreatyczny L0 (wg. Szczygieł i in., 2020b). Z otworu jaskini bierze początek suche przez większość czasu koryto rzeczne, co czyni otwór Jaskini Kasprowej Niżnej ewenementem w skali Tatr Polskich właśnie ze względu na okresowy charakter jego aktywności.

### *Stop 1.2 - Pierwsze jeziorko*

Jaskinia Kasprowa Niżna była przedmiotem wielu szczegółowych badań nie tylko ze względu na stosunkowo łatwy dostęp, lecz przede wszystkim na unikalny w skali Tatr Polskich charakter epifreatyczny. Analizowano zarówno osady klastyczne (minerały ciężkie), jak i nacieki (izotopy stabilne), m.in. w pracach Hercman (1986, 1991) oraz Kicińskiej et al. (2017). Fakt, że część korytarzy jaskini znajduje się poniżej otworu, a tym samym poniżej dna doliny, umożliwia również określenie minimalnego wieku doliny poprzez datowanie samej jaskini.

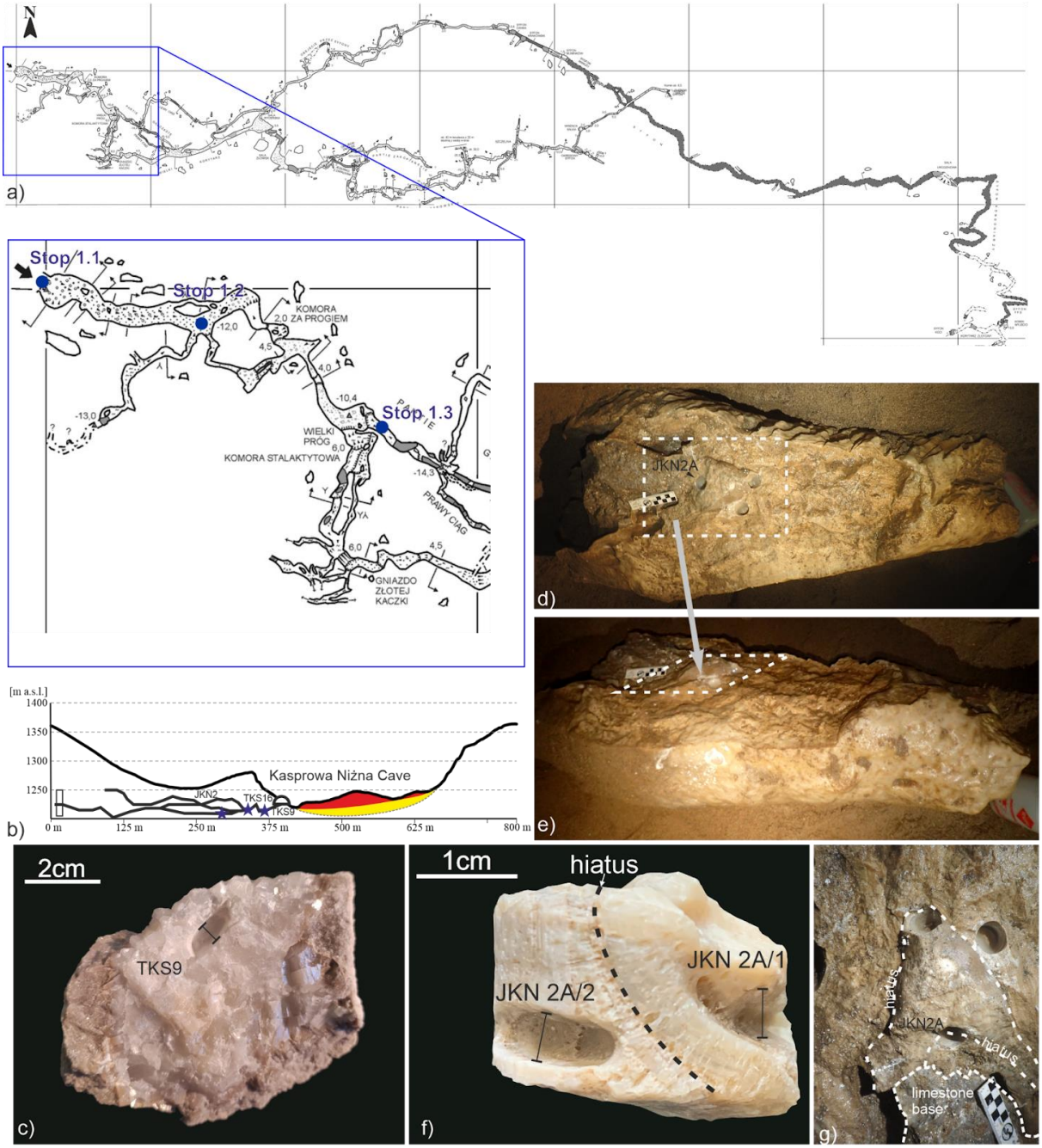
Piarżysty korytarz, opadający pochylnią spod otworu, prowadzi do okresowego syfonu na głębokości 12 m (Ryc. C2). Na jego brzegach, jak również w korytarzu po drugiej stronie, występują liczne polewy naciekowe i stalagmity. Formy te są silnie zerodowane wskutek przepływu wody, co pozwala w sposób nieinwazyjny prześledzić ich wewnętrzną strukturę. Przede wszystkim jednak dowodzi drastycznej zmiany warunków hydrogeologicznych, z kapiącej i/lub wolno płynącej po ścianach wody sprzyjającej krystalizacji nacieków na gwałtowne przepływy całym przekrojem korytarza o dużej sile erozyjnej. Z tego miejsca pochodzi próbka polewy TSK 9, której nieskorygowany wiek U-Th określono na 228 ± 9 ka (Szczygieł et al., 2020b). Syfon można obejść ciasnym korytarzem, będącym morfologicznie klasycznym *bypassem* w ujęciu Forda i Ewersa (1978).

### *Stop 1.3. Sala pod Progiem*

Sala pod Progiem to miejsce, w którym jaskinia się rozwidla. Ku górze prowadzi tzw. *Wielki Próg* – miejsce niezwykle ważne w historii taternictwa jaskiniowego, ponieważ to właśnie tutaj generał Zaruski po raz pierwszy zastosował techniki wspinaczkowe do pokonania pionowego odcinka jaskini. Na wprost korytarz prowadzi do częściowo zalanych *Partii Gąbczastych* (Ryc. C2). Podobnie jak w poprzednich korytarzach w otoczeniu Sali pod Progiem oraz na samym progu spotyka się liczne nacieki o miąższości przekraczającej 30 cm, silnie zerodowane przez przepływającą wodę.

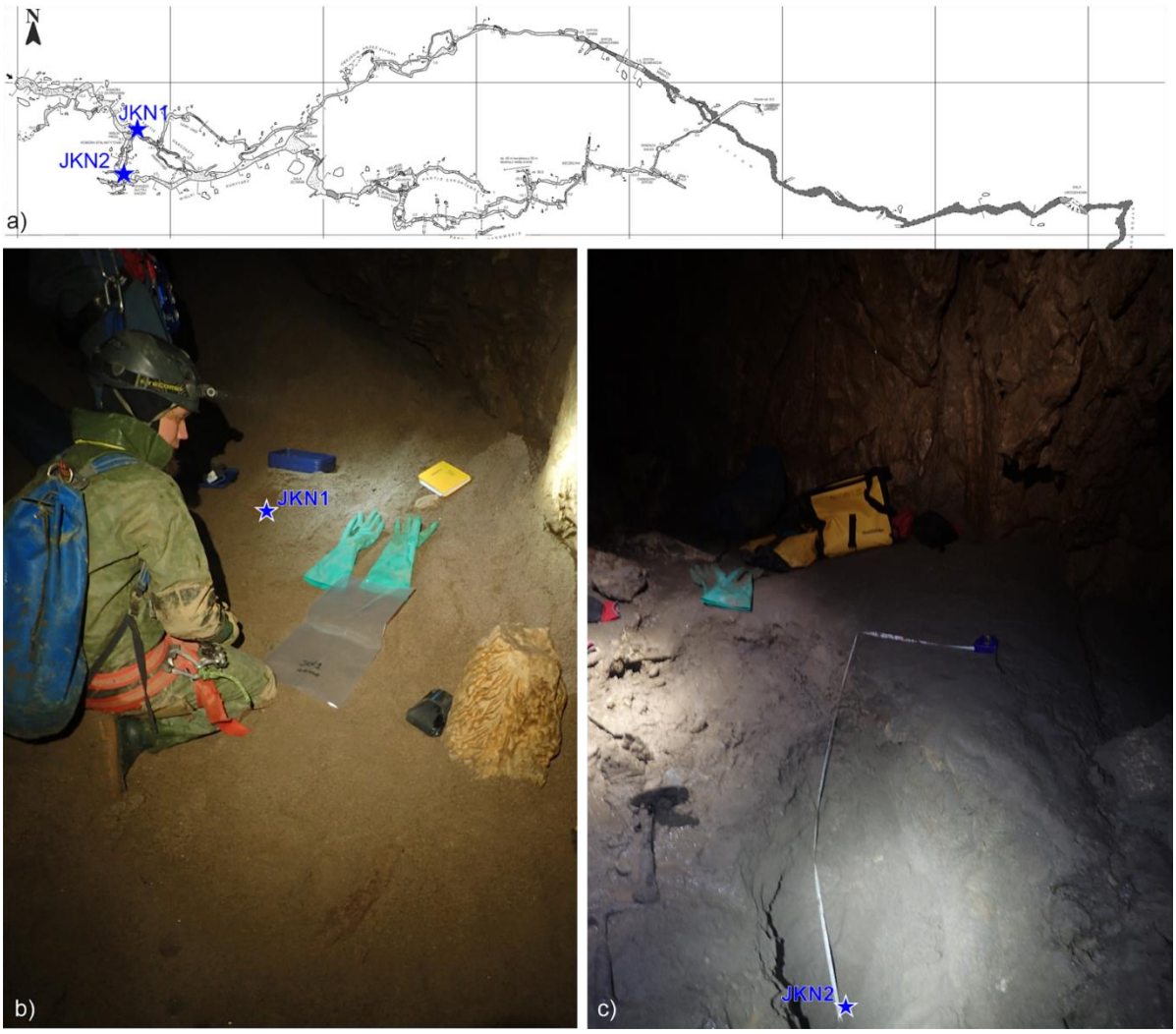
W dolnej części korytarza spąg wypełnia miąższa łacha piasku, w której zalegają połamane stalagmity, w tym jeden o imponujących rozmiarach – 0,7 m wysokości i ponad 0,3 m średnicy. Z jego najstarszej warstwy pobrano rdzenie JKN2 (Ryc. C2). Stalagmit był złamany (*ex situ*), jednak jego rozmiar i ciężar wskazują, że nie został przemieszczony, a co najwyżej odpadł od ściany. Brak transportu potwierdza również nieobecność materiału większego niż frakcja piaszczysta – przepływ wody w jaskini nie osiągał warunków zdolnych do przenoszenia grubszego rumoszu. Na powierzchni stalagmitu widoczne są ślady abrazji fluwialnej, m.in. ukośne żłobienia. Stalagmit znaleziono w korytarzu położonym 12 m poniżej otworu wejściowego (czyli poniżej dna doliny), co wskazuje na obniżenie zwierciadła wód. Jest on nie tylko złamany u podstawy, lecz także częściowo oderwany od boku, co umożliwia obserwację jego wewnętrznej struktury i dotarcie do osi nawet przy płytkim wierceniu. Rdzeń JKN2A został wywiercony w najstarszej części stalagmitu, tuż nad wapiennym podłożem. Płytki rdzeń przecina

bardzo cienka, brunatna warstwa, interpretowana jako hiatus (Szczygieł i in., 2020b), rozdzielający próbki JKN2A/1 (279 -14/+16 ka) i JKN2A/2 (199 -34/+38 ka).




**Ryc. C2.** a) Plan Jaskini Kasprowej Niżnej (źródło: http://jaskiniepolski.pgi.gov.pl/) z zaznaczonymi stanowiskami wycieczki terenowej; b) schematyczny przekrój przez Dolinę Bystrą z zaznaczoną szacowaną miąższością osadów polodowcowych (czerwone pole – miąższość minimalna; żółte pole miąższość maksymalny) za Szczygieł et al. (2020b); c-g) próbki nacieków ze stanowiska 2 i 3.

Tak stare i miąższe nacieki poniżej dna doliny skłoniły badaczy do zastosowania innej metody pozwalającej sięgnąć dalej w przeszłość niż 0,6 Ma – datowania pogrzebania przy użyciu radionuklidów kosmogenicznych $^{10}Be$ i $^{26}Al$. Z jaskini pobrano dwie próbki piasku (Ryc. C3). Pierwsza (JKN1) pochodzi z luźnego, dobrze wysortowanego piasku przy brzegu jeziorka, u wejścia do Partii Gąbczastych – z tej samej łachy, w której pogrzebany był stalagmit. Druga próbka (JKN2) została pobrana z wyżej położonego korytarza, ok. 20 m ponad strefą syfonu, z niszy na zakręcie, gdzie nagromadziło się 1,1 m osadów klastycznych. W dolnej części – do 40 cm – występuje piasek z domieszką żwiru na podłożu skalnym, a powyżej piaski z fragmentami nacieków i wapieni, świadczące o depozycji po odwodnieniu jaskini. Obie próbki znajdowały się dostatecznie głęboko pod powierzchnią terenu, a jednocześnie były na tyle młode, że korekcja o produkcję głęboką przez miony nie wpłynęła istotnie na obliczony wiek. Próbka JKN1 dała wiek pogrzebania 0,67 (±0,18) Ma, po korekcie 0,69 (+0,19/-0,18) Ma; próbka JKN2 odpowiednio 0,63 (+0,18/-0,16) i 0,67 (+0,19/-0,17) Ma.




**Ryc. C3.** a) Plan Jaskini Kasprowej Niżnej (źródło: http://jaskiniepolski.pgi.gov.pl/) z zaznaczeniem miejsc poboru próbek do badań metodą radionuklidów kosmogenicznych oraz analizy ziaren kwarcu; b) i c) lokalizacje stanowisk dla próbek JKN1 i JKN2.

Obecność tak starych osadów w aktywnej jaskini, położonej poniżej dna doliny, ma daleko idące konsekwencje. Zostały zdeponowane podczas ochłodzenia, które można korelować z MIS 16 i, być może z pierwszym zlodowaceniem po środkowoplejstoceńskiej zmianie cyklu orbitalnego. Po pierwsze stoją w sprzeczności z hipotezą speleogenezy proglacjalnej ponieważ sugerują, że cykle lodowcowe miały mniejszy wpływ na rozwój jaskiń tatrzańskich niż postulowali Głazek i in. (1977). Po drugie podobne wnioski można wysnuć nie tylko dla jaskiń, lecz także dla całych Tatr – doliny nie zostały pogłębione przez największe zlodowacenia z wyjątkiem pierwszego. Datowania wieku pogrzebania osadów allochtonicznych z jaskiń położonych wyżej (np. Jaskini Goryczkowej) pokazują, że już w środkowym plejstocenie Tatry były wysokimi górami o głęboko wciętych dolinach, a pierwsze dolinne zlodowacenie (prawdopodobnie MIS 16) pogłębiło je najwyżej o 80 m (Szczygieł i in., w recenzji).

## Punkt 2 - Jaskinia Goryczkowa

Kolejnym punktem wycieczki jest **Jaskinia Goryczkowa**, której główne wejście położone jest na wysokości 1263 m n.p.m. (Ryc. C1). Jaskinia ma około 605 m długości i 31 m głębokości. Stanowi przykład paleofreatycznego poziomu L2 w systemie źródła Goryczkowego (Szczygieł i in., w recenzji) i znajduje się ok. 60 m powyżej dna doliny. Jaskinia Goryczkowa to złożony system niewielkich korytarzy paleofreatycznych.

### *Stop 2.1 – Sala w części południowej*

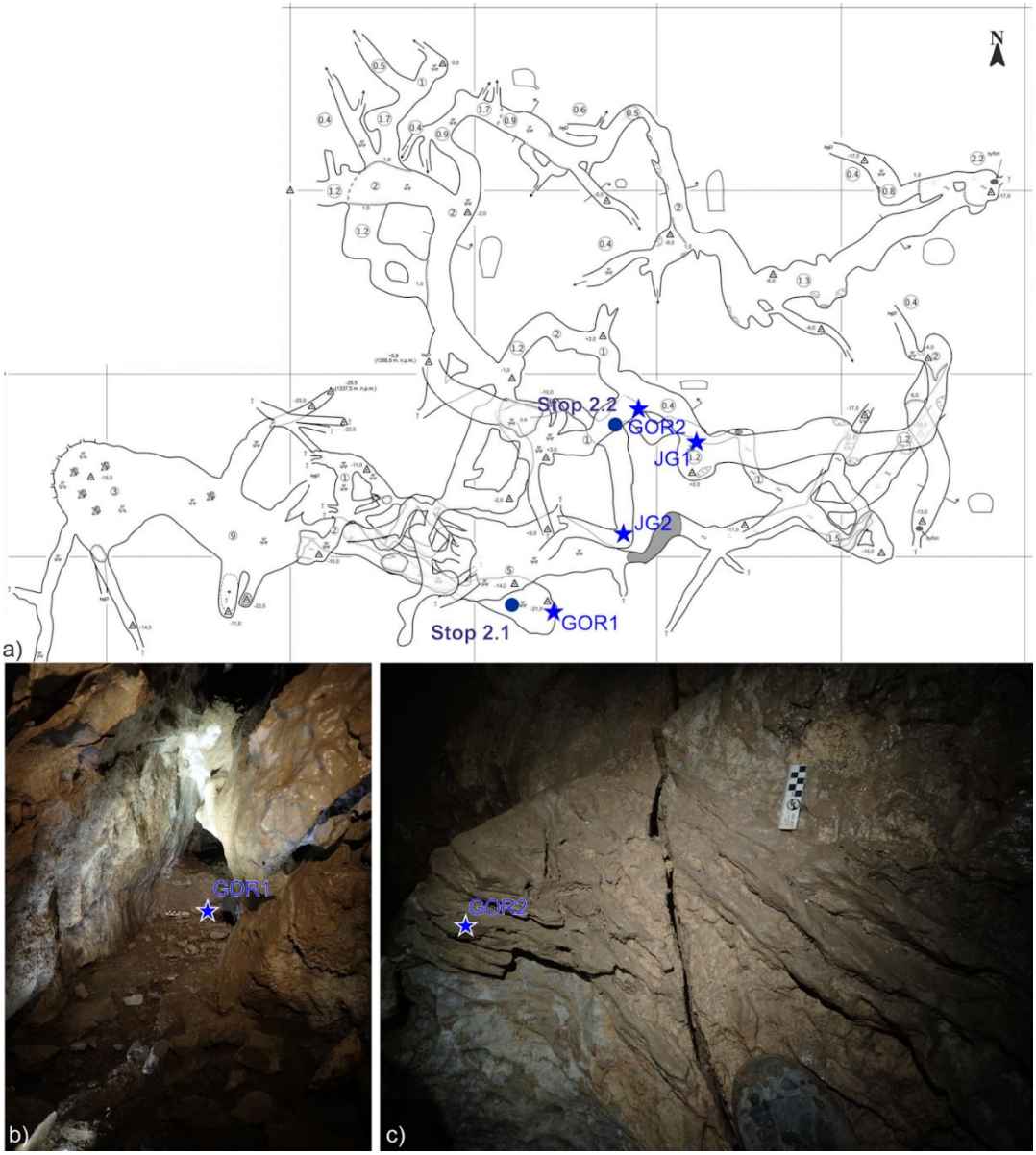
Kierując się na południe od otworu, schodzimy do największej sali w jaskini. Ku wschodowi odchodzi stąd niewielki, ślepy korytarz prowadzący do dna jaskini. W końcowej salce dno wypełnione jest piaskiem. To właśnie stąd pobrano próbkę GOR1 do datowań kosmogenicznych $^{10}Be/^{26}Al$ – z dolnej części 40-centymetrowej kieszeni z piaskiem zawierającym drobne otoczaki (Ryc. C4). Choć jest to najniżej położone miejsce w jaskini, znajduje się jedynie ok. 50 m poniżej powierzchni terenu. W efekcie konieczne było zastosowanie korekcji związanej z głęboką produkcją mionów. Wiek niekorygowany próbki wyniósł 1.47 (+0.18/−0.14) Ma, natomiast po korekcie 1.67 (+0.23/−0.18) Ma.

### *Stop 2.2 – Korytarz boczny*

Przed zejściem do sali, w lewo odchodzi niewielka rura krasowa prowadząca do rozwidlenia korytarzy. W lewym ramieniu na ścianach widoczne są listwy piaskowców jaskiniowych (zlityfikowanych, dobrze wysortowanych piasków) – relikty dawnego wypełnienia jaskini (Ryc. C4). Próbka GOR2 pobrana z tych osadów dała wiek 0.80 (+0.19/−0.17) Ma, a po korekcie 0.88 (+0.25/−0.18) Ma.

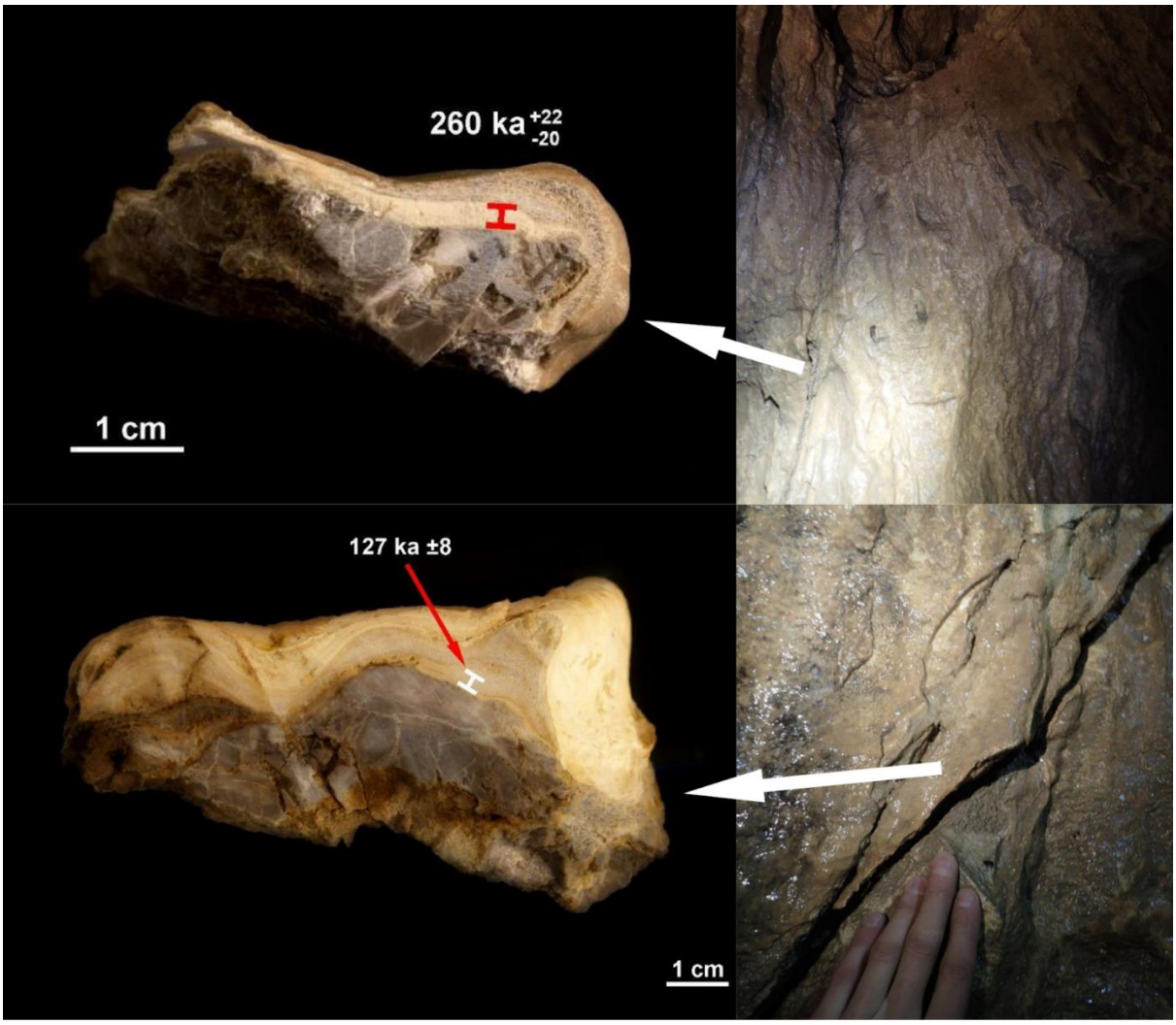
W tym miejscu prowadzono także badania zdeformowanych nacieków pod kątem analiz tektonicznych (Szczygieł et al., 2024). Pobrano w tym celu dwie próbki (Ryc. C5):

- **JG 1** – spękany i przemieszczony fragment wapienia pokryty polewą naciekową przeciętą w wyniku reaktywacji uskoku. Wiek polewy wyznacza więc maksymalny czas deformacji. Próbka JG 1.1 dała wiek U-Th 127 ± 8 ka.
- **JG 2** – niewielkie żeberko naciekowe narosłe już po reaktywacji uskoku, a więc młodsze od samego zdarzenia. Próbka JG 2.1 została wydatowana metodą U-Th na 260 +22/−20 ka.




**Ryc. C4.** a) Plan Jaskini Goryczkowej (źródło: http://jaskiniepolski.pgi.gov.pl/) z zaznaczonymi punktami wycieczki terenowej oraz miejscami poboru omawianych próbek; b i c) stanowiska osadów klastycznych datowanych metodą $^{10}Be/^{26}Al$, oraz analizowanych pod SEM.

Analiza strukturalna wykazała, że obie deformacje powstały w wyniku pionowej kompresji utożsamianej z działaniem procesów grawitacyjnych. W połączeniu z płytkim położeniem jaskini pod powierzchnią terenu oraz lokalizacją na stromym, polodowcowym stoku, wskazuje to jednoznacznie na grawitacyjny, a nie tektoniczny charakter przemieszczeń (Szczygieł et al., 2024). Tym samym, wyniki badań potwierdziły wcześniejsze tezy Wójcika i Zwolińskiego (1959) o znaczącej roli procesów stokowych w deformacji jaskiń tatrzańskich.




**Ryc. C5**. Miejsca poboru próbek w Jaskini Goryczkowej (po prawej stronie) oraz zaznaczone miejsca poboru próbek do datowań metodą $^{230}$Th/U (po lewej stronie).

## Analiza mikromorflogii ziaren kwarcu z jaskiń Kasprowej Niżnej i Goryczkowej

Uzyskanie wieków pogrzebania metodą radionuklidów kosmogenicznych dla osadów klastycznych w jaskini Kasprowej Niżniej stało się podstawą do ich dalszej analizy pod kątem mikromorfologii ziaren kwarcu przy użyciu skaningowej mikroskopii elektronowej (ang. SEM). Głównym celem było znalezienie ziaren glacigenicznych, dzięki którym można by wnioskować na temat wieku starszych zlodowaceń tatrzańskich. Jak do tej pory, analizę mikromorfologiczną ziaren kwarcu w jaskiniach tatrzańskich

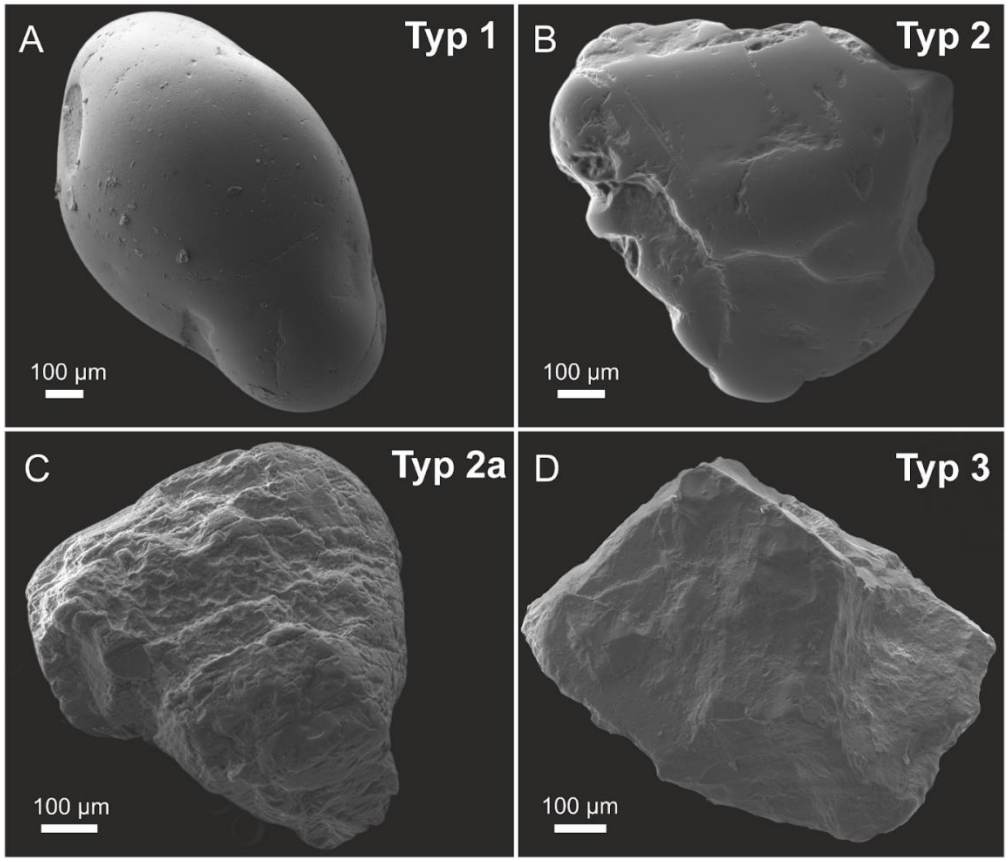
przeprowadzono jedynie w jaskiniach doliny Chochołowskiej (Kostrzewski i in., 1991), jednak badania te nie przyniosły znaczących rezultatów w kontekście historii zlodowacenia Tatr.

Do analizy wybrano osady z miejsc poboru próbek przeznaczonych do datowania radionuklidami kosmogenicznymi (Ryc. C3 i C4). Z każdej próbki, obejmującej co najmniej 100 ziaren o wielkości 0,5–0,7 mm, 20 ziaren poddano szczegółowej analizie SEM. Dodatkowo przeprowadzono oględne obserwacje około 100 ziaren w celu identyfikacji ziaren glacigenicznych.

W analizowanych osadach, jak do tej pory, nie udokumentowano ziaren glacigenicznych. Przeprowadzono natomiast szereg innych obserwacji. Na podstawie kształtu i stopnia obtoczenia ziarna podzielono na cztery typy (Ryc. C6). **Typ 1** to błyszczące, dobrze obtoczone ziarna z mikroteksturami typu *V-shaped pits,* charakterystycznymi dla wysokoenergetycznego środowiska wodnego (np. plaży). **Typ 2 i 2a** obejmuje ziarna częściowo obtoczone – odpowiednio z powierzchnią błyszczącą lub zwietrzałą. W obu grupach widoczne były ślady transportu wodnego, słabiej jednak zaznaczone w Typie 2a, co wiąże się zapewne z zatarciem powierzchni ziaren przez wietrzenie chemiczne. **Typ 3** to ziarna kanciaste, o różnym stopniu zwietrzenia, pozbawione mikrotekstur typu *V-shaped pits*, co wskazuje, że nie były transportowane w środowisku wysokoenergetycznym.

Na ziarnach rozpoznano mikrostruktury świadczące o kilku etapach modyfikowania powierzchni ziaren w historii geologicznej. Najstarsze ślady związane są z intensywnym wietrzeniem chemicznym (rozpuszczaniem powierzchni) występującym w każdym typie ziaren. Następnie, ziarna kanciaste uległy silnemu wietrzeniu mechanicznego czego śladem są duże przełamy muszlowe, których nie obserwowano na ziarnach obtoczonych. Kolejna faza to ponowne wietrzenie chemiczne, które zaokrągliło krawędzie przełamów i trawiło powierzchnię ziaren oraz powodowało wtórne wytrącanie krzemionki. Ostatnim procesem było wietrzenie mrozowe, które pozostawiło świeże przełamy muszlowe i mikrotekstury typu *breakage blocks*. Zgodnie z obecnym stanem badań tylko ostatni proces, tj. wietrzenie mrozowe, można przypisać okresowi pobytu ziaren w jaskini. Wcześniejsze etapy nadpisywania powierzchni ziaren są być może efektem separacji ze skały macierzystej lub, jak w przypadku ziaren bardzo dobrze obtoczonych - procesów zachodzącym przed diagenezą.

Różny kształt i stopień obtoczenia ziaren, a także różnice w zapisie mikrotekstur na ich powierzchni, pozwalają na stwierdzenie, że ziarna pochodzą ze skał o różnej litologii. Przede wszystkim, za najbardziej prawdopodobne źródło należy uznać skały trzonu krystalicznego Tatr, bogate w kwarc i obserwowane przez autorów makroskopowo w profilach osadowych w jaskiniach. Zaskakujący jest jednak udział ziaren dobrze obtoczonych, których źródła należy upatrywać w dobrze wysortowanych piaskowcach kwarcytowych lub kwarcytach. Skał tego typu jest na obszarze Tatr niewiele, ale najbardziej prawdopodobnym źródłem dla tego typu ziaren wydają się być piaskowce kwarcowe dolnego triasu (tzw. formacja z Lużnej), tworzące izolowane płaty w obrębie całej serii wierchowej. Przemawia za tym fakt, że podobne ziarna znaleziono również w próbkach w innych dolinach tatrzańskich, a także generalna zgodność położenia tych osadów na trasie paleoprzepływów. Obecność podobnych ziaren stwierdzono również w osadach jaskini Demianowskiej, gdzie piaskowce dolnotriasowe zlokalizowane są tuż ponad jaskinią w górnej części doliny, a duże otoczaki o różowym zabarwieniu tworzą bruk korytowy potoku w samej jaskini.




**Ryc. C6.** Typy ziaren kwarcu określone na podstawie stopnia obtoczenia i różnic w zapisie mikroteksturalnym: A - jaskinia Kasprowa Niżnia (Sala pod Progiem), B - jaskinia Goryczkowa (sala w części południowej), C - jaskinia Kasprowa Niżnia (nad zjazdem do Gniazda Złotej Kaczki), D - jaskinia Goryczkowa (korytarz boczny).

## Podsumowanie

Początkowo, ze względu na pozycję morfologiczną względem dna doliny, Szczygieł i in. (2020b) przypisali Jaskinię Goryczkową do poziomu L1. Jednak datowania pogrzebania osadów klastycznych wskazują jednoznacznie, że właściwsze jest przypisanie jej do poziomu L2. Potwierdza to wiek $^{10}Be/^{26}Al$ osadów z Jaskini Kasprowej Niżnej (~0,68) Ma i Goryczkowej (~1,6 Ma) w relacji do ich niskiego położenia w obrębie doliny. Prezentowana chronologia ewolucji jaskiń doliny Bystrej, w połączeniu z wcześniejszymi datowaniami metodą U-Th (Szczygieł i in., 2020a), stanowią jedyne udokumentowane geochronologicznie zapisy erozji w Tatrach starsze od ostatniego zlodowacenia (LGM; Zasadni i in., 2022). Wyniki te wskazują, że około 90% współczesnej rzeźby północnego stoku Tatr ukształtowało się przed ~1,6 Ma. Daty pogrzebania z poziomu L1 oraz z systemów wadycznych, które go zasilały, potwierdzają istnienie minimum 700 m deniwelacji w obrębie wapieni już około 1,6 Ma (Szczygieł i in., w recenzji).

Zaobserwowane przyspieszenie tempa erozji między poziomami L2 i L1 odpowiada zwiększonej sedymentacji we wczesnym plejstocenie na przedpolu Tatr (Birkenmajer, 2009), impulsowi depozycyjnemu w Basenie Dunaju ok. 2 Ma (Šujan i in., 2018) oraz jest zgodne z podobnymi zjawiskami notowanymi np. w Alpach Wschodnich (Wagner i in., 2010).

## Literatura

Barczyk, G., 2003. Circulation in present-day karst systems sourcing the vaucluse springs in the Polish Tatra Mts., based on tracer methods and limnimetric observations. Geological Quarterly, 47(1): 97–106.

Birkenmajer, K., 2009. Quaternary glacigenic deposits between the Biała Woda and the Filipka valleys, Polish Tatra Mts, in the regional context. Studia Geologica Polonica, 13*2*, 91-115.

Ford, D. C. & Ewers, R. O., 1978. The development of limestone cave systems in the dimensions of length and depth. Canadian Journal of Earth Science, 15: 1783–1798.

Głazek J., Rudnicki J. & Szynkiewicz A., 1977. Proglacial caves – a special genetic type of caves. In: Ford T.D. (Ed.): Proceedings of the 7th International Congress of Speleology. British Cave Research Assoc., Shieffield, 215—217.

Hercman, H., 1986. Pochodzenie allochtonicznych osadów Jaskini Magurskiej i Kasprowej Niżnej (Tatry) w świetle analizy minerałów ciężkich. Przegląd Geologiczny, 34: 100–103.

Hercman, H., 1991. Rekonstrukcja elementów środowiska geologicznego Tatr Zachodnich na podstawie datowania izotopowego nacieków jaskiniowych. Geochronometria, 8: 1–139.

Kicińska, D., Hercman, H., & Najdek, K., 2017. Evolution of the Bystrej Valley caves (Tatra Mts, Poland) based on corrosive forms, clastic deposits and U-series speleothem dating. Annales Societatis Geologorum Poloniae, 87(1): 101–119. https://doi.org/10.14241/asgp.2017.007

Kostrzewski, A., Noel, M., Thistlewood, L., & Zwoliński, Z., 1991. Osady jaskiniowe Doliny Chochołowskiej w Tatrach, W: Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych. Geografia, 50: 289–308.

Makos, M., Rinterknecht, V., Braucher, R., Żarnowski, M. & Aster Team, 2016. Glacial chronology and palaeoclimate in the Bystra catchment, Western Tatra Mountains (Poland) during the Late Pleistocene. Quaternary Science Reviews, 134, 74-91.

Šujan, M., Braucher, R., Rybár, S., Maglay, J., Nagy, A., Fordinál, K., et al., 2018. Revealing the late Pliocene to Middle Pleistocene alluvial archive in the confluence of the Western Carpathian and Eastern Alpine rivers: 26Al/10Be burial dating from the Danube Basin (Slovakia). Sedimentary Geology, 377: 131–146. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.10.001

Szczygieł, J., Wróblewski, W., Mendecki, M. J., Hercman, H., & Bosák, P., 2020a. Soft-sediment deformation structures in cave deposits and their possible causes (Kalacka Cave, Tatra Mts., Poland). Journal of Structural Geology, 140: 104161. https://doi.org/10.1016/j.jsg.2020.104161

Szczygieł, J., Hercman, H., Hoke, G., Gąsiorowski, M., Błaszczyk, M., & Sobczyk, A., 2020b. No valley deepening of the Tatra Mountains (western Carpathians) during the past 300 ka. Geology, 48(10): 1006–1011. https://doi.org/10.1130/G47635.1

Szczygieł, J., Gradziński, M., Grasemann, B., Hercman, H., Wróblewski, W., Bella, P., et al., 2024. Tectonics or rebound: Pleistocene fault reactivation in the highest mountains of the Carpathians. Tectonophysics, 871. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.230171

Wagner, T., Fabel, D., Fiebig, M., Häuselmann, P., Sahy, D., Xu, S., & Stüwe, K., 2010. Young uplift in the non-glaciated parts of the Eastern Alps. Earth and Planetary Science Letters, 295(1–2): 159–169. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.03.034

Wójcik, Z., & Zwoliński, S., 1959. Młode przesunięcia tektoniczne w jaskiniach tatrzańskich. Acta Geologica Polonica, 9: 319–346.

Zasadni, J., & Kłapyta, P. (2014). The Tatra Mountains during the Last Glacial Maximum. Journal of Maps, 10(3): 440–456. https://doi.org/10.1080/17445647.2014.885854

# STRESZCZENIA WYSTĄPIEŃ

# Zjawiska lodowe w jaskini Wielkiej Śnieżnej

### Ice phenomena in the Wielka Śnieżna Cave

Bartosz Baturo[1], Marek Kasprzak[2]

*[1]e-mail: bartosz.baturo@gmail.com,*
*[2] Uniwersytet Wrocławski*

Jaskinie lodowe charakteryzują się specyficznym mikroklimatem, który zależy od klimatu zewnętrznego oraz morfologii jaskini (a więc od jej położenia). Są one wyjątkowymi elementami dziedzictwa Ziemi. Powstały w nich lód zawiera ważne informacje paleoklimatyczne i może być wykorzystany do oceny wpływu globalnego ocieplenia na kriosferę w obszarach niepokrytych lodowcami. Przedstawiamy przykład z Wielkiej Śnieżnej, najgłębszego systemu jaskiń w polskich Tatrach, położonego w Tatrzańskim Parku Narodowym. W ostatnim czasie nie przeprowadzono żadnych badań na ten temat w tej lokalizacji. Przedstawiamy pierwsze współczesne wyniki pomiarów temperatury poprzez analizę trendów mikroklimatycznych i ich odpowiedzi na postępujące zmiany klimatyczne. Trwa ablacja lodospadu znajdującego się w jednym z niższych wejść (Śnieżna). Poziom lodu obniżył się o około 2 m w ciągu ostatnich 10 lat. Jaskinia podlega niewielkiemu wpływowi człowieka, ponieważ dostęp do niej mają wyłącznie profesjonalni speleolodzy. Jednak niektóre praktyki mają wpływ na równowagę tego wrażliwego środowiska. Porównując nasze wyniki z danymi dotyczącymi temperatury zewnętrznej, staramy się zrozumieć, w jakim stopniu mikroklimat jaskini jest zależny od zewnętrznych wahań i zmian. Oczekuje się, że lód w Śnieżnej zniknie w bieżącym stuleciu.

# Antropopresja w jaskini Đalovića (Czarnogóra)

### Anthropogenic pressure in the Đalovića Cave (Montenegro)

Magdalena Lehmann

*Sekcja Speleologii Studenckiego Koła Naukowego Geografów im. Stanisława Pawłowskiego UAM*
*magleh@st.amu.edu.pl*

Jaskinia Đalovića (Đalovića Pećina), położona w północnej Czarnogórze w kanionie rzeki Bistrica (Đalovića Klisura), należy do najdłuższych i najcenniejszych systemów krasowych Bałkanów. Długość poznanych korytarzy przekracza 20 km, a deniwelacja sięga 240 m. Obiekt rozwinięty w wapieniach Płaskowyżu Pešter stanowi element chronionego obszaru o wyjątkowych walorach przyrodniczych i speleologicznych.

Od 1987 roku jaskinia jest systematycznie badana przez międzynarodowe zespoły speleologiczne. W ostatnich latach stała się jednak przykładem silnej antropopresji. W ramach projektu „Valorizacija Đalovića Pećina" rozpoczęto prace mające na celu przekształcenie jej w obiekt turystyczny. Inwestycja prowadzona bez konsultacji ze specjalistami doprowadziła do poważnych zniszczeń: przebicie otworu metodą strzałową zaburzyło mikroklimat i uszkodziło szatę naciekową, a prace budowlane spowodowały degradację krajobrazu doliny Bistricy. Po wstrzymaniu robót teren pozostał niezrekultywowany i narażony na dalsze zniszczenia.

Przypadek Đalovića Pećina ujawnia konflikt między rozwojem turystyki a ochroną dziedzictwa krasowego. Obecnie działania badawcze koncentrują się na dokumentacji i monitoringu jaskini oraz ocenie skutków antropopresji. Uzyskane wyniki mogą przyczynić się do opracowania skutecznych modeli zarządzania i ochrony wrażliwych systemów krasowych w regionie Bałkanów.

## *Wykład gościnny*

# Okno Cave as a speleogenetic marker of the pre-Quaternary evolution of the Demänová Valley, Nízke Tatry Mountains

### Jaskinia Okno jako speleogenetyczny marker przedczwartorzędowej ewolucji Doliny Demianowskiej, Niżne Tatry

Pavel Bella[1,2], Pavel Bosák[3], Régis Braucher[4], Šimon Kdýr[3], Petr Pruner[3], Helena Hercman[5]

*[1] State Nature Conservancy of the Slovak Republic, Slovak Caves Administration, Liptovský Mikuláš, Slovakia,*
*[2] Department of Geography, Faculty of Education, Catholic University in Ružomberok, Ružomberok, Slovakia, e-mail: pavel.bella@ssj.sk*
*[3] Institute of Geology of the Czech Academy of Sciences, Praha, Czech Republic,*
*[4] Aix-Marseille Universite, CNRS-IRD-Collège de France, CEREGE, Aix-en-Provence, France,*
*[5] Institute of Geological Sciences, Polish Academy of Sciences, Warszawa, Poland*

The Okno Cave is included among the oldest caves in the Demänová Valley on the northern slope of the Nízke Tatry Mountains, northern Slovakia (e.g., Volko-Starohorský, 1939; Droppa, 1963, 1966, 1972). It is located on the right side of the Demänová Valley. Its entrance is at an altitude of 916 m, which is 147 m above the valley floor and the Demänovka River (Droppa, 1957, 1972). The cave is 2,855 m long and has a vertical span of 110 m (Holúbek et al., 2006; Herich, 2023).

It consists of two morphologically distinct parts: (1) the main horizontal river-sculpted level passage leading from the entrance to the south, and (2) lower, meandering and channel-like parts (see Holúbek et al., 2006; Psotka, 2008).

The granite gravel and sand were washed from the surface into the cave by the sinking allochthonous waters of the Demänovka River (Volko-Starohorský, 1925, 1927; Droppa, 1957; Psotka, 2008). The former underground stream flowed through the level passage from the southern parts (Palmová sieň Hall, Nánosová chodba Passage) to the current entrance. At the time, the entrance was an outflow channel at the level of the valley floor (Volko-Starohorský, 1925, 1927; Droppa, 1957). This is evident from the scallops on the rock wall, which indicate a northerly flow (Osborne, 2006, 2007; Psotka, 2008). The length of the level passage is about 640 m (Droppa, 1957), and its inclination is 3‰ (Bella, 2017).

Volko-Starohorský (1925, 1927) assumed that the Okno Cave formed during the Pleistocene. In 1939, he described horizontal caves as "internal" cave terraces containing Pleistocene fluvial sediments, which correspond to the terraces of the Váh River in the Liptov Basin. Of the caves that were known at the time, Droppa (1963, 1966, 1972) considered the horizontal passage of Okno Cave to be the oldest and highest cave level in the Demänová Valley. As it is located below the Late Pliocene pediment known as the river-side level, Droppa (1966, 1972) concluded it to be pre-Quaternary. He correlated the Okno Cave with the highest terrace T-IX in the Liptov Basin.

Since the fine-grained sediments in the level passage of the Okno Cave have a normal magnetic polarity and are covered by flowstone older than 1.2 Ma, Kadlec et al. (2004) assumed that they probably belong to the Olduvai epoch (1.77 to 1.95 Ma). However, the bedrock floor of the passage is mostly covered by older granite gravel and sand. Therefore, the burial ages of two samples of these fluvial deposits, taken in 2017, were dated using cosmogenic nuclides Be and Al. The burial ages of 3.20 ± 0.60 Ma (sample OK1, 911 m a.s.l., Nánosová chodba) and 3.04 ± 0.67 Ma (sample OK2, 900 m a.s.l., Pekelná chodba Passage) show that the Okno Cave is pre-Quaternary. It was formed by sinking allogenic stream during the Late Pliocene. Data obtained on pre-burial denudation rates (26.96 and 28.08 m/Ma) indicate rather relatively low rates of valley incision in

the adjacent part of the allogenic Demänovka River catchment, from which quartz-rich gravel was transported fluvially into the Okno Cave. Over the last 3.2 Ma (after the main level passage of the Okno Cave was formed), the northern part of the Demänová Valley has been incised at an average rate of 45.3 m/Ma.

Additionally, further magnetic research of the cave sediments was conducted in 2019 across three profiles within the excavated trench: in the Sieň smútočnej vŕby Hall (DO1), in the loop between the Sieň smútočnej vŕby and the Priepasťová chodba Passage (DO3), and in the Stĺpová sieň Hall (DO2). The studied fine-grained sediments are bounded above by flowstone older than 1.2 Ma and below by gravel with a burial age of 3.2 Ma. The dating results from both methods (U-series and cosmogenic nuclides) and their correlation with the Geomagnetic Polarity Time Scale (Ogg, 2020) suggest that the top part of the magnetostratigraphic profile (DO1) corresponds with the Olduvai polarity Subchron. The top part of the profile DO2 represents the continuation of the Olduvai, and the lower-placed R-polarity zone correlates with the Matuyama C2r polarity zone. The lowermost situated sedimentary section of the profile DO3 with R polarity zone also corresponds to the Matuyama C2r polarity zone. The lower-placed N-polarity samples could be related to either the Reunion Subchron or the Gauss Chron.

The main horizontal passage of the Okno Cave is currently the only cave level in the well-known Demänová Valley (allogenic karst) with dated pre-Quaternary allochthonous fluvial sediments.

*This work was supported by the grant project VEGA No. 1/0323/24 and institutional funding from the State Nature Conservancy of the Slovak Republic (Slovak Caves Administration) and the Institute of Geology of the Czech Academy of Sciences (RVO67985831).*

## Literatura

Bella, P., 2017. Morfologické odlišnosti fluviálne modelovaných jaskynných úrovní v centrálnej, prechodnej a okrajovej časti Západných Karpát. Aragonit 22, 2: 43-49.

Droppa, A., 1957. Demänovské jaskyne – krasové zjavy Demänovskej doliny. Slovenská akadémia vied, Bratislava, 289.

Droppa, A., 1963. Paralelizácia riečnych terás a horizontálnych jaskýň. Geologické práce, Zošit 64: 93-96.

Droppa, A., 1966. The correlation of some horizontal caves with river terraces. Studies in Speleology 1: 186-192.

Droppa, A., 1972. Geomorfologické pomery Demänovskej doliny. Slovenský kras 10: 9-46.

Herich, P., 2023. Demänovské jaskyne. Atlas krasových javov Demänovskej doliny. Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky, Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 400.

Holúbek P., Staník P., & Psotka J., 2006. Stručné zhrnutie poznatkov z jaskyne Okno. Spravodaj Slovenskej speleologickej spoločnosti 37, 1: 56-59.

Kadlec, J., Pruner, P., Hercman, H., Schnabl, P., & Šlechta, S., 2004. Magnetostratigrafia sedimentov zachovaných v jaskyniach Nízkych Tatier. In: Bella, P., (ed.) Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov zo 4. vedeckej konferencie, Tále 5. – 8. 10. 2003. SSJ, Liptovský Mikuláš, 15-19.

Ogg, J.G., 2020. Geomagnetic Polarity Time Scale. In: Gradsteim, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D., Ogg, G.M. (eds.) Geologic Time Scale 2020, vol. 1. Elsevier, 159-192. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824360-2.00005-X

Osborne, A., 2006. Lithified palaeokarst deposits in Okno Cave, Demänovská Valley, Slovakia: relicts of an ancient karst history. In: Bella P. (ed.) Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov z 5. vedeckej konferencie, Demänovská Dolina 26. – 29. 9. 2005. SSJ, Liptovský Mikuláš, 4-20.

Osborne, R.A.L., 2007. Intensely lithified paleokarst deposits in Okno Cave, Demänovská Valley (Slovakia). Geologica Carpathica 58, 6: 565-578.

Psotka, J., 2008. Fluvial deposits and morphology of the Okno Cave, Demänová Valley – preliminary results of the study. Slovenský kras 46, 1: 99-107.

Volko-Starohorský, J., 1925. Diluviálne náplavy v Jaskyni „Okne" v Demänovskej doline (Liptov na Slovensku). Věstník Státního geologického ústavu Československé republiky 1, 2: 1-11.
Volko-Starohorský, J., 1927. Vykopávky v jaskyni „Okne" (Demänovská dolina, Liptov). Zpráva o nálezisku. Sborník Muzeálnej slovenskej spoločnosti 21: 24-39.
Volko-Starohorský, J., 1939. Štvrtovršie. Kvartér či Anthropozoikum. Muzeálna knižnica, 17, Múzem slovenského krasu, Liptovský Sv. Mikuláš, 176.

# Ogień w jaskini. Nowoczesne badania sposobów wykorzystania ognia przez neandertalczyków jako narzędzia rekonstrukcji stylu ich życia

## Fire in the Cave: Modern Research on Neanderthal Fire as a Tool for Reconstructing Their Lifestyle

Andrzej Boczarowski

*Wydział Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, Polska*
*e-mail: boczarowski@gmail.com*

Istotnym aspektem życia neandertalczyków było wykorzystywanie ognia w różnych celach np.: wzniecanie pożarów przestrzennych, orientacja w terenie, oświetlanie ciemności, ochrona przed drapieżnikami, przygotowanie posiłków, palenie odpadków, suszenie, ogrzewanie, czynności obrzędowe (?), obróbka bloków skalnych, produkcja smoły brzozowej czy wytapianie tłuszczu zwierzęcego (Kindler et al., 2025; Pop et al., 2016, Zeigen et al., 2019).

Zrozumienie rytmu życia prehistorycznych społeczności od dawna stanowi jedno z wyzwań archeologii i paleoantropologii. Zapis kopalny często przypomina palimpsest – wielokrotnie zapisaną i wytartą kartę, na której ślady różnych zdarzeń i pokoleń nakładają się na siebie, tworząc trudną do zinterpretowania całość. Konwencjonalne metody datowania, choć precyzyjne w skali tysiącleci, rzadko pozwalają zajrzeć w ramy czasowe odpowiadające dekadom, stuleciom, ludzkiemu życiu, czy chociaż kilku pokoleniom (Allué et al., 2022).

Fulinginochronologia to mikrochronologiczne studium osadów sadzy, które stanowią bezpośredni dowód na obecność ludzi i rozpalanie przez nich ognisk w jaskiniach i schroniskach skalnych (Vandevelde 2019, 2022). Sadza ta, uwięziona w narastających na ścianach i suficie speleotemach, staje się geoarcheologicznym archiwum o wielkiej precyzji.

Przełomowe badania z wykorzystaniem tej techniki przeprowadzono na materiale pochodzącym z Jaskini Mandrin we Francji (dolina Rodanu) (Vandevelde 2019, 2022). Analizie poddano fragmenty ścian pokryte polewami i skorupami węglanowymi, zebrane z dwunastu poziomów archeologicznych datowanych na paleolit środkowy oraz okres przejściowy do późnego paleolitu, a także z jednego poziomu holoceńskiego. Kluczowym odkryciem było stwierdzenie, że to, co gołym okiem wygląda na pojedynczą, czarną warstwę sadzy, pod mikroskopem jawi się jako sekwencja wielu mikroskopijnych filmów sadzy, przypominających „kod kreskowy". Każdy taki film jest zapisem pojedynczego epizodu obecności ludzi w jaskini. Co więcej, warstewki te są osadzone w obrębie rocznych dubletów kalcytowych, gdzie każdy składa się z dwóch odmiennych lamin (mikrytowej i sparytowej), które odpowiadają dwóm porom roku (np. wilgotnej i suchej). Analiza położenia warstw sadzy w obrębie tych rocznych cykli pozwala na umieszczenie poszczególnych pobytów ludzi w jaskini w rocznym kalendarzu z niespotykaną dotąd precyzją, określając nie tylko ich częstotliwość, ale i sezonowość. Metoda została zweryfikowana za pomocą szeregu dodatkowych analiz, w tym datowania U-Th i 14C oraz spektroskopii Ramana, które potwierdziły jej potencjał datujący i roczny charakter przyrostów kalcytu.

Badania w Jaskini Mandrin, będące pierwszą próbą stworzenia chronologii zasiedlenia dla wszystkich poziomów archeologicznych w schronisku skalnym, przyniosły rewolucyjne wyniki. Udało się określić „Minimalną Liczbę Pobytów" (MNI) dla każdego poziomu archeologicznego oraz zidentyfikowano zróżnicowane rytmy zasiedlenia – od pojedynczych wizyt w ciągu roku po cykle wieloletnie – wskazując, że dynamika wykorzystania jaskini zmieniała się w czasie. Najbardziej spektakularnym odkryciem było stwierdzenie, że sukcesja między ostatnimi neandertalczykami a pierwszymi regionalnymi *Homo sapiens* na tym stanowisku dokonała się w ciągu zaledwie jednego roku. To bezpośredni dowód na współczesność obu tych populacji ludzkich na tym samym terytorium.

Inne, przełomowe, interdyscyplinarne badania palenisk pochodzą ze stanowiska El Salt w Hiszpanii. Oferują one wgląd w chronologię o niespotykanej dotąd rozdzielczości (Herrejón-Lagunilla, et al., 2024). Naukowcy połączyli dwie techniki: archeostratygrafię i archeomagnetyzm.

Pierwsza z nich, oparta na drobiazgowej analizie mikroskopijnych warstw osadów oraz wzajemnego ułożenia artefaktów, pozwoliła na ustalenie względnej kolejności powstawania paleolitycznych palenisk. Druga, znana metoda – archeomagnetyzm odpowiada na pytanie: jak długo trwały przerwy między ich użytkowaniem? (del Río et al., 2025; Zeigen et al., 2019). Opiera się ona na zjawisku powolnych, ale stałych zmian kierunku pola magnetycznego Ziemi. Minerały ferromagnetyczne zawarte w podłożu paleniska, w momencie ostatniego rozpalenia ognia i stygnięcia, działają jak swoisty kompas, trwale „zapisując" orientację pola magnetycznego z tamtej chwili (*vide*: temperatura Curie). Porównując subtelne różnice w tym zapisie między poszczególnymi paleniskami, można obliczyć minimalny czas, jaki musiał upłynąć, aby pole magnetyczne zmieniło swój kierunek w zarejestrowanym stopniu. Choć modele pola magnetycznego obejmują jedynie ostatnie 14 000 lat (Pavón-Carrasco et al., 2014), ich zastosowanie było możliwe, ponieważ badane paleniska np.: z El Salt pochodzą z okresu dużej stabilności geomagnetycznej, co pozwala założyć, że tempo zmian było wówczas porównywalne (Herrejón-Lagunilla, i in. 2024; Vandevelde 2024). Wyniki analiz próbek z El Salt są intrygujące. Okazało się, że badana sekwencja palenisk, które na pierwszy rzut oka mogły wydawać się pozostałością po jednym, długim obozowisku, w rzeczywistości obejmuje okres co najmniej 200-240 lat (z 99% prawdopodobieństwem). Przerwy między ponownym rozpalaniem ognia w tym samym miejscu wynosiły od kilkudziesięciu do ponad stu lat.

Metody te przesuwają skalę analizy z procesów geologicznych na perspektywę ludzkich pokoleń. Po raz pierwszy możemy precyzyjnie śledzić dynamikę osadnictwa neandertalskiego: cykliczność powrotów, wielkość grup i strategie przetrwania w skali dekad i stuleci, a nie tysiącleci. To nowe możliwości dla wszystkich archeologów, pod warunkiem, że badane paleniska są dobrze zachowane i nie naruszone przez wtórne procesy geologiczne.

## Literatura

Allué, E., Mallol, C., Aldeias, V., Burguet-Coca, A., Cabanes, D., Carrancho, Á., Connolly, R., Leierer, L., Mentzer, S., Miller, C., Sandgathe, D., Stahlschmidt, M., Théry-Parisot, I., & Vaquero, M. 2022. Chapter 12 - Fire among Neanderthals. In: Romagnoli, F., Rivals, F., & Benazzi, S. (Eds). 2022. Updating Neanderthals. Understanding Behavioural Complexity in the Late Middle Palaeolithic: 227-249). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821428-2.00014-7

del Río, J., Palencia-Ortas, A., Gómez-Paccard, M., Carrancho, Á., Saladié, P., Chacón, M.G., Carbonell, E., & Vallverdú, J. 2025. Archaeomagnetic Tools Applied to the Study of Middle Palaeolithic Hearths: The Level R (ca. 60 ka BP) at Abric Romaní (NE Iberian Peninsula). Journal of Paleolithic Archaeology 8(1): 12. https://doi.org/10.1007/s41982-025-00213-6

Herrejón-Lagunilla, Á., Villalaín, J.J., Pavón-Carrasco, F.J., Serrano Sánchez-Bravo, M., Sossa-Ríos, S., Mayor, A., Galván, B., Hernández, C.M., Mallol, C., & Carrancho, Á. 2024. The time between Palaeolithic hearths. Nature 630(8017): 666-670. https://doi.org/10.1038/s41586-024-07467-0

Kindler, L., Gaudzinski-Windheuser, S., Scherjon, F., Garcia-Moreno, A., Smith, G. M., Pop, E., Speth, J. D., & Roebroeks, W. 2025. Large-scale processing of within-bone nutrients by Neanderthals, 125,000 years ago. Science Advances 11(27): eadv1257. https://doi.org/10.1126/sciadv.adv1257

Pavón-Carrasco, F.J., Osete, M.L., Torta, J.M., & De Santis, A. 2014. A geomagnetic field model for the Holocene based on archaeomagnetic and lava flow data. Earth and Planetary Science Letters 388: 98-109. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.11.046

Pop, E., Kuijper, W., van Hees, E., Smith, G., García-Moreno, A., Kindler, L., Gaudzinski-Windheuser, S., & Roebroeks, W. 2016. Fires at Neumark-Nord 2, Germany: An analysis of fire proxies from a Last Interglacial Middle Palaeolithic basin site. Journal of Field Archaeology 41(5): 603-617. https://doi.org/10.1080/00934690.2016.1208518

Vandevelde, S. 2019. Y'a pas de suie sans feu!: étude microchronologique des concrétions fuligineuses. Étude de cas: le site paléolithique de la Grotte Mandrin (France). PhD Thesis, University Paris 1, Panthéon-Sorbonne, Vol. 01: 1-456, Vol. 02: 1-184.

Vandevelde, S. 2022. There is no soot without fire! Micro-chronological study of fuliginous carbonated deposits. Case study. Mandrin cave (France) palaeolithic site. Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire 33(02): 1-6. https://journals.openedition.org/quaternaire/16665

Vandevelde, S. 2024. Precision dating pinpoints time between use of ancient fireplaces. Nature 630(8017): 566-568. https://doi.org/10.1038/d41586-024-01501-x

Zeigen, C., Shaar, R., Ebert, Y., & Hovers, E. 2019. Archaeomagnetism of burnt cherts and hearths from Middle Palaeolithic Amud Cave, Israel: Tools for reconstructing site formation processes and occupation history. Journal of Archaeological Science 107: 71-86. https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.05.001

# Naukowe rekonstrukcje przeszłości

## Scientific reconstructions of the past

Andrzej Boczarowski

*Wydział Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, Polska,*
*e-mail: boczarowski@gmail.com*

Praca zawodowego rekonstruktora jest zarazem trudna i fascynująca. Jej celem jest wizualne i narracyjne odtworzenie dawnych organizmów oraz ich środowisk w granicach wyznaczonych przez dowody. Już na starcie napotykamy kilka zasadniczych trudności.

**Czas i rola człowieka.** Nie możemy „cofnąć się" i sfotografować przeszłości. Dlatego korzystamy z metod graficznych i symulacji komputerowych, ale żaden algorytm nie zbuduje wiarygodnego modelu bez kurateli człowieka. AI operuje na wzorcach dostarczonych przez badaczy; nie wymyśli danych wejściowych dla nowo odkrytego taksonu ani nie rozstrzygnie sporów interpretacyjnych. Za dobór cech anatomicznych, uogólnienia paleoekologiczne i integrację wieloźródłowych danych odpowiedzialny jest rekonstruktor (Boczarowski 2025).

**Prymat dowodów nad ekspresją.** Rekonstruktor jest dokumentalistą stosującym środki artystyczne. Każdy detal – przebieg przyczepów mięśni, zakres ruchu w stawach, kształt i położenie części anatomicznych – musi wynikać z anatomii porównawczej, morfologii funkcjonalnej, biomechaniki i materiału kopalnego. W animacji deformacje mięśni i sekwencje ruchu powinny podlegać prawom biologii i fizyki, a nie estetyce. Zalew publikacji oraz rozbieżne hipotezy utrudniają wybór rozwiązań. Interdyscyplinarne konsultacje z ekspertami wypracowują kompromis, który jest metodologicznie poprawny w komunikacji z odbiorcą. Nowe odkrycia zmieniają paradygmaty i deaktualizują dawne ekspozycje. Nie należy ich jednak odrzucać, ponieważ stanowią świadectwo rozwoju nauki.

**Zasada aktualizmu (uniformitaryzm) Charles'a Lyella.** Fundamentem nowoczesnej rekonstrukcji jest założenie, że „teraźniejszość jest kluczem do przeszłości" (Lyell 1830-1833). Obserwując współczesne zjawiska (erozja, sedymentacja, wulkanizm, ekologia), interpretujemy zapis stratygraficzny, środowiska kopalne i zachowania wymarłych taksonów. To „most" między geologią, paleontologią, archeologią, paleobiologią i paleoklimatologią. Praca terenowa i podróże uczą rozpoznawać sygnatury procesów: ruchy wydm w Dolinie Śmierci, depozycje popiołów w strefach wulkanicznych, dynamikę tundry czy mokradeł. Obserwacje zachowań zwierząt współczesnych (np. wzorce lokomocji gadów i ptaków) inspirują modele ruchu osobników kopalnych. Kontakt z tradycyjnymi społecznościami zbieracko-łowieckimi (np. Hadza) i pasterskimi (np. Himba) ostrożnie inspiruje rekonstruktora, by nie przenosić bezrefleksyjnie analogii etnograficznych.

**Fosylia i tafonomia.** Skamieniałości – od zachowanych kości i zębów, przez odciski i odlewy, po skamieniałości śladowe – są głównym „archiwum" przeszłości. Tafonomia wyjaśnia ich losy pośmiertne (transport, pogrzebanie, chemizm, ślady drapieżnictwa i obróbki), pozwalając zrekonstruować środowisko powstania zespołu oraz przyczyny śmierci i interakcje troficzne. To narzędzie filtrujące zniekształcenia zapisu kopalnego.

**Chemiczne i molekularne „odciski palców".** Sygnatury izotopowe odsłaniają dietę, migracje, warunki klimatyczne i umożliwiają datowania (w tym radiowęglowe). Paleogenomika ujawnia relacje filogenetyczne, epizody hybrydyzacji, adaptacje oraz cechy fenotypowe (np. ubarwienie). Kalkulus (kamień nazębny) konserwuje fitolity, skrobię, pyłki, mikrobiom i ślady białek/DNA – dzięki czemu odtwarzamy dietę i środowisko życia dawnych ludzi, w tym neandertalczyków. Palinologia i fitolity służą do rekonstrukcji paleobotanicznych i identyfikacji upraw.

**Ogień w zapisie archeologicznym.** Mikrowarstwy kopalnej sadzy i węgla drzewnego w osadach jaskiniowych – badane m.in. antrakologicznie i w ramach fuliginochronologii – dokumentują intensywność, regularność i kontekst użycia ognia oraz pomagają odtworzyć mikroklimat i organizację przestrzeni dawnych obozowisk.

**Jaskinie jako „archiwa".** Stabilny mikroklimat sprzyja zachowaniu osadów, makro- i mikrofauny, roślin, sztuki naskalnej, palenisk i nacieków (archiwa izotopowe). To czyni jaskinie kluczowymi dla długoterminowych sekwencji paleośrodowiskowych i kulturowych. **Przykłady interdyscyplinarne**. ***Jaskinia Chauvet***. Połączenie datowania radiowęglowego (Reimer et al., 2020), analiz koprolitów i sekwencjonowania DNA ujawniło skład diety drapieżników (np. *Cervus elaphus* w menu hien; *vide*: Bon 2012) oraz linie rodowe (genomy mitochondrialne psowatych; Elalouf et al., 2022). Takie dane, zestawione z ikonografią sztuki naskalnej, wspierają hipotezy o morfologii i ubarwieniu plejstoceńskich drapieżników. ***Lwy plejstoceńskie w świetle danych.*** Analizy tropów, kości i znalezisk z wiecznej zmarzliny (mumie lwiątek, Boeskorov et al., 2021) sugerują, że lwy stepowe były większe od współczesnych lwów (przynajmniej początkowo), ich samce nie miały rozbudowanych grzyw (adaptacje termiczne, gęsty podszerstek), a interakcje z hienami i niedźwiedziami jaskiniowymi były złożone i dynamiczne. Dane molekularne i tafonomiczne wzajemnie się tu uzupełniają (Diedrich 2004, 2011, 2014, Marciszak et al., 2021).

**Muzea jako laboratoria drugiej szansy.** Porównania między kolekcjami, reewaluacje dawnych wystaw i nowe techniki analityczne sprawiają, że przełomowe odkrycia coraz częściej rodzą się w magazynach naukowych i na zapleczach wystaw.

**Konkluzja.** Wiarygodna rekonstrukcja przeszłości wyrasta z interdyscyplinarnej syntezy: od tafonomii i izotopów, przez paleogenomikę, ichnologię i archeologię, po obserwacje współczesnych procesów i kultur. AI może wspierać pracę człowieka, lecz to rekonstruktor – uzbrojony w metody, krytycyzm i dialog z ekspertami – odpowiada za ostateczny kształt pracy. Doskonalenie metod musi iść w parze z postępem nauki; tylko tak powstają rekonstrukcje rzetelne, trwałe poznawczo i komunikatywne.

Studium graficzne antylopy kudu – *Tragelaphus strepsiceros* (Pallas, 1766) wykonano na potrzeby wystawy w Parku Nauki i Ewolucji Człowieka w Krasiejowie (PNiEC). Rysunki i Licencja: Andrzej Boczarowski – 2012 r.

Diorama z antylopą kudu i *Homo heidelbergensis* Schoetensack, 1908, który na nią poluje. Scena jest inspiracją dla godła PNiEC w Krasiejowie. Scenariusz, scenografia i realizacja wystawy i muzeum: Andrzej Boczarowski wraz z zespołem – 2013 r. Rzeźba: Marta Szubert. Fotografia i Licencja: JuraPark Krasiejów. Za całe muzeum (PNiEC) otrzymaliśmy „Złoty Certyfikat" Polskiej Organizacji Turystycznej w październiku 2014 r.

## Literatura


Boczarowski, A. 2025. Bilet do Raju. 60 lat Jaskini Raj na mapie turystycznej Polski. Fundacja 'Łysogóry", Kielce: 1-44.

Boeskorov, G.G., Plotnikov, V.V., Protopopov, A.V., Baryshnikov, G.F., Fosse, P., Dalén, L., Stanton, D.W.G., Pavlov, I.S., Suzuki, N., & Tikhonov, A.N. 2021. The Preliminary Analysis of Cave Lion Cubs *Panthera spelaea* (Goldfuss, 1810) from the Permafrost of Siberia. Quaternary 4(3): Article 3. https://doi.org/10.3390/quat4030024

Bon, C., Berthonaud, V., Maksud, F., Labadie, K., Poulain, J., Artiguenave, F., Wincker, P., Aury, J.-M., & Elalouf, J.-M. 2012. Coprolites as a source of information on the genome and diet of the cave hyena. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 279(1739): 2825-2830. https://doi.org/10.1098/rspb.2012.0358

Diedrich, C.G. 2004. Freilandfunde des oberpleistozänen Löwen *Panthera leo spelaea* Goldfuss 1810 in Westfalen (Norddeutschland). Philippia. Abhandlungen und Berichte aus dem Naturkundemuseum im Ottoneum zu Kassel 11: 219-226. https://www.zobodat.at/pdf/Philippia_11_0219-0226.pdf

Diedrich, C.G. 2011. Late Pleistocene steppe lion *Panthera leo spelaea* (Goldfuss, 1810) footprints and bone records from open air sites in northern Germany - Evidence of hyena-lion antagonism and scavenging in Europe. Quaternary Science Reviews 030(15-16): 1883-1906. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.03.006

Diedrich, C.G. 2014. Palaeopopulations of Late Pleistocene Top Predators in Europe. Ice Age Spotted Hyenas and Steppe Lions in Battle and Competition about Prey. Paleontology Journal 2014 (1): 106203. https://doi.org/10.1155/2014/106203

Elalouf, J.-M., Palacio, P., Bon, C., Berthonaud, V., Maksud, F., Stafford Jr, T.W., & Hitte, C. 2022. The genome and diet of a 35,000-year-old Canis lupus specimen from the Paleolithic painted cave, Chauvet-Pont d'Arc, France. Ecology and Evolution 12(8): e9238. https://doi.org/10.1002/ece3.9238

Lyell, Ch. 1830-1833. Principles of Geology. Being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface, by Reference to Causes Now in Operation. Volume 1-3. 1st edition. London: John Murray: 1-511, 1-330, 1-398. http://darwin-online.org.uk

Marciszak, A., Lipecki, G., Pawłowska, K., Jakubowski, G., Ratajczak-Skrzatek, U., Zarzecka-Szubińska, K., & Nadachowski, A. 2021. The Pleistocene lion *Panthera spelaea* (Goldfuss, 1810) from Poland – A review. Quaternary International 605-606: 213-240. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.12.018

Reimer, P.J., Austin, W.E.N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P.G., Ramsey, C.B., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., Manning, S.W., Muscheler, R., Palmer, J.G., Pearson, Ch., van der Plicht, J., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Turney, Ch.S.M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S.M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M. Sookdeo, A., & Talamo, S. 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55 cal kBP). Radiocarbon 62(4): 725-757. https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41

# Charakterystyka minerałów ciężkich w osadach piaszczystych jaskiń Twardowskiego i Pychowickiej w Krakowie

## Characteristics of the heavy minerals in sandy sediments of the Twardowski and Pychowicka caves in Cracow

Weronika Czwońda

*Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Jagielloński, Kraków, Polska,*
*e-mail: weronika.czwonda@student.uj.edu.pl*

Prace przeprowadzono w ramach pracy licencjackiej w latach 2023–2024 i obejmowały one pobranie osadów piaszczystych z dwóch jaskiń na terenie miasta Kraków: Jaskini Pychowickiej i Jaskini Twardowskiego. Zbadano i opisano zawarte w osadach minerały ciężkie za pomocą mikroskopii optycznej i skaningowej mikroskopii elektronowej. Zebrano 3 próbki z Jaskini Twardowskiego oraz 6 próbek z Jaskini Pychowickiej – 3 z profilu A i 3 z profilu B.

W obrębie Krakowa, powyżej podłoża paleozoicznego, zalegają utwory jurajskie, głównie oksfordzkie wapienie, w których obrębie powstały opróbowywane jaskinie, a najwyższa część oksfordu w tym rejonie uległa wczesnodiagenetycznej, lokalnej dolomityzacji (Rutkowski 1989). Z wcześniejszych badań wynika, że jaskinie krasowe w obrębie Krakowa i Wyżyny Krakowsko–Wieluńskiej są młodsze niż kredowe, co sugeruje zapis procesów z zimnego okresu plejstocenu (Pulina 1997), jak na przykład osady lessowe, znalezione w jaskiniach Jury (Madeyska & Cyrek, 2002). W najbliższej okolicy opróbowanych jaskiń, położonych w obrębie Zrębu Zakrzówka, można zaobserwować również węglanowe skały kredowe, a najmłodsze osady, z wyłączeniem czwartorzędu, to mioceńskie utwory lądowe i morskie. Dużą rolę we współczesnym wyglądzie okolic opróbowanych jaskiń miały też czwartorzędowe osady aluwialne Wisły (Sermet & Rolka, 2013). W czasie zlodowacenia południowopolskiego, obszar Krakowa został pokryty lądolodem, który po ustąpieniu pozostawił gliny morenowe, piaski i żwiry polodowcowe. Podczas zlodowacenia środkowopolskiego dolina Wisły została zasypana osadami lodowcowymi, zmieniając bieg rzeki na bliski obecnemu. Deglacjacja wieloletniej zmarzliny następowała u schyłku zlodowacenia północnopolskiego – rozcięte osady w dolinach rzecznych wypełnione zostały piaskami, żwirami, torfami a także madami (Rutkowski 1989).

W próbkach materiału ze zbadanych jaskiń stwierdzono występowanie minerałów ciężkich takich jak: cyrkon, turmalin, rutyl, granat, amfibol, staurolit, dysten, andaluzyt, sylimanit, epidot, zoisyt, klinozoisyt, apatyt, tytanit i spinel chromowy. Udział minerałów typowo metamorficznych (w tym amfibole zielone), w porównaniu do tych o pochodzeniu mieszanym wynosi 56–64% w osadach z profilu A i 65–73% w osadach z profilu B w Jaskini Pychowickiej oraz 45–55% w osadach Jaskini Twardowskiego. Na podstawie artykułu Garzanti & Andò (2007) i książki Bucher'a & Grapes'a (2011) oraz zważając na powyższe zależności i dokładny udział poszczególnych minerałów można stwierdzić, że skałami macierzystymi były skały metamorficzne, takie jak łupki metamorficzne, amfibolity i gnejsy oraz w mniejszym stopniu plutoniczne skały magmowe. Powyższy skład frakcji ciężkiej wykazuje największe podobieństwo do osadów plejstoceńskich (głównie piasków fluwioglacjalnych) ze zlodowacenia południowopolskiego. Dodatkowo, skład mineralny atypowy dla fliszu karpackiego oraz skał podłoża (Oszczypko & Salata, 2005; Salata & Uchman, 2012; Bonova et al., 2018; Salata & Uchman, 2020), liczne ślady na ziarnach (zadziory lodowcowe, porysowanie) oraz obtoczenie większości ziaren, sugeruje lodowcowo–rzeczny transport osadów z obszarów północnych (Rutkowski 1989; Racinowski 2000, 2010; Uxa & Mida, 2017; Bonova et al., 2018).

Wykonane analizy miały na celu określenie genezy, rodzaju transportu, skał macierzystych oraz przybliżonego wieku pobranych osadów. Przeprowadzone badania pozwoliły na poszerzenie wiedzy we wspomnianym zakresie i umożliwiły kontynuację prac laboratoryjnych w podobnej formie w innych jaskiniach okolic Krakowa.

## Literatura

Bonova, K., Bona, J., Kovacik, & M., Mikus, T., 2018. Heavy minerals and exotic pebbles from the Eocene flysch deposits of the Magura Nappe (Outer Western Carpathians, Eastern Slovakia): Their composition and implications on the provenance. Turkish Journal of Earth Sciences, 27: 64-88.

Bucher, K., & Grapes, R., 2011. Petrogenesis of metamorphic rocks. Springer, Berlin.

Garzanti, E., & Andò, S., 2007. Heavy mineral concentration in modern sands: implications for provenance interpretation. Developments in sedimentology, 58: 517-545.

Madeyska, T., & Cyrek, K., 2002. Cave fillings–a chronicle of the past. An outline of the Younger Pleistocene cave sediments study in Poland. Acta Geologica Polonica, 52: 75-95.

Oszczypko, N., & Salata, D., 2005. Provenance analyses of the Late Cretaceous: Palaeocene deposits of the Magura Basin (Polish Western Carpathians): evidence from the heavy minerals study. Acta Geologica Polonica, 55.

Pulina, M., 1997. Karst areas in Poland and their changes by human impact. Landform Analysis, 1: 55-71.

Racinowski, R., 2000. Niektóre problemy interpretacji wyników analiz minerałów ciężkich w badaniach osadów czwartorzędowych. Przegląd Geologiczny, 48: 354-359.

Racinowski, R., 2010. Główne przezroczyste minerały ciężkie w osadach czwartorzędowych Polski. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 438: 99-106.

Rutkowski, J., 1989. Budowa geologiczna regionu Krakowa. Przegląd Geologiczny, 37: 302-307.

Salata, D., & Uchman, A., 2012. Heavy minerals from Oligocene sandstones of the Menilite Formation of the Skole Nappe, SE Poland: a tool for provenance specification. Geological Quarterly, 56: 803-820.

Salata, D., & Uchman, A., 2020. Provenance of upper oligocene to lower Miocene Krosno formation sandstones in the Skole Nappe (Southeast Poland): New insights from heavy minerals. Geological Journal, 55: 4625-4641.

Sermet, E., & Rolka, G., 2013. Pogórniczy spadek na zrębie Zakrzówka. W: Zagożdżon, P., & Madziarz, M. (eds), Dzieje górnictwa– element europejskiego dziedzictwa kultury. 5, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 329–338.

Uxa, T., & Mida, P., 2017. Rock glaciers in the western and high Tatra mountains, western Carpathians. Journal of Maps, 13: 844-857.

# O czym mówią nam badania fauny żyjącej w studniach miejskich?

## What the research says us about fauna living in urban wells?

Elżbieta Dumnicka

*Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków, Polska,*
*e-mail: dumnicka@iop.krakow.pl*

W XIX wieku, kiedy studnie miejskie były źródłem wody pitnej, często ich stan sanitarny był bardzo zły, co było przyczyną szerzenia się chorób przewodu pokarmowego oraz rozprzestrzeniania się pasożytów wewnętrznych. W roku 1867, po kolejnej epidemii cholery, lekarze zebrani na konferencji w Weimarze zalecili badania chemizmu wód studni oraz żyjących w nich organizmów, przy czym uwaga badaczy, którzy podjęli tą pracę skupiała się głównie na organizmach jednokomórkowych.

Pierwsze szeroko zakrojone badania fauny bezkręgowców w studniach miejskich przeprowadzone zostały przez Vejdovsky'ego (1882) w Pradze. Już kilka lat później Moniez (1888-1889) opublikował wyniki badań fauny ze studni w Lille (Francja) a Jaworowski (1893) – studni krakowskich i lwowskich. Nieco później ukazała się publikacja Chappuis (1924) omawiająca faunę znalezioną w studniach w Bazylei (Szwajcaria). Jednak najczęściej opracowywano tylko jedną grupę fauny (zwykle skorupiaki), lub bezkręgowce ze studni były badane przy okazji badań innych typów wód, niekoniecznie podziemnych, dlatego uzyskiwane wyniki były tylko przyczynkowe i są rozproszone w literaturze - stąd trudne do znalezienia.

W Europie w XX wieku zainteresowanie fauną studni miejskich było prawie zerowe – jedynym wyjątkiem były rzetelne badania wykonane przez Řehačkov'ą (1953) w studniach praskich (Czechy). Badaczka ta, prawdopodobnie jako ostatnia, opracowała całą faunę (pierwotniaki i bezkręgowce) badanych obiektów. W tym czasie ukazywały się stosunkowo liczne prace dotyczące fauny studni wiejskich Europy Centralnej i Wschodniej oraz studni położonych na obszarach suchych (np. w płn. Afryce czy Azji Mniejszej).

W XXI wieku różnorodne badania terenów miejskich stają się bardzo popularne, o czym świadczy powstanie dwóch czasopism dedykowanych tej tematyce: *Urban Ecosystems* – od 1997 r. (70 pkt MEN) i *Urban Water Journal* – od 2004 r. (100 pkt). Także badania bezkręgowców i innych elementów bioty w studniach przeżywają renesans. W latach 2011 – 2014 przebadano 39 studni na terenie miasta Karlsruhe (Niemcy) (Koch et al., 2021), a w 2012 – 2013 zebrano próby w 181 studniach monitoringowych (tzw. bore holes) w Berlinie (Hahn et al., 2013). Następne badania (2019 – 2020) przeprowadzono w 91 studniach Krakowa, a większość ich wyników była już prezentowana w trakcie Sympozjów Speleologicznych. Niedawno rozpoczęto zakrojone na szeroką skalę badania w studniach Wiednia (Englisch et al., 2022, 2024), Monachium (Becher et al., 2024) i Halle (Saale) (Meyer et al. 2024), ale dotychczas na Międzynarodowych Konferencjach Biospeleologicznych zaprezentowane zostały jedynie ich wstępne rezultaty.

Na podstawie dostępnej literatury można stwierdzić, że wody podziemne miast są miejscem życia wielu gatunków bezkręgowców, w tym licznych stygobiontów. Całkowita liczba taksonów odnalezionych w poszczególnych miastach wahała się w szerokich granicach (16 – 56) i była zależna przede wszystkim od dokładności oznaczania zebranego materiału a w mniejszym stopniu od bogactwa fauny w danym regionie geograficznym.

Liczba znalezionych stygobiontów była wyraźnie mniejsza (0 – 5 gatunków) w studniach Europy płn.-zach. i środkowej (Lille, Berlin, Kraków, Lwów, Praga) niż w studniach Europy zachodniej (12 – 21 gatunków) (Bazylea, Wiedeń, Monachium), co wynika głównie z zasięgu plejstoceńskich zlodowaceń.

Rezultaty badań wykonanych w XIX wieku wskazują na znacznie większe zanieczyszczenie organiczne badanych obiektów, o czym świadczyło liczne występowanie skąposzczetów a także mniejsza liczebność i różnorodność skorupiaków, które są wskaźnikiem dobrego stanu ekologicznego wód studni. Np. w Krakowie w XIX w. nie odnaleziono stygobiontycznych skorupiaków a widłonogi (Copepoda) były obecne tylko w pojedynczych

studniach (Jaworowski 1893). Wszystkie ostatnie badania pokazują ogromne różnice chemizmu i zasiedlenia wód studni w obrębie poszczególnych miast, co świadczy o istnieniu lokalnych źródłach zanieczyszczeń i niejednorodnym pochodzeniu wód podziemnych.

Ponadto, w otwartych, starych studniach częściej znajdywano taksony typowe dla wód powierzchniowych np.: wioślarki, ślimaki wodne i larwy owadów, które znacznie rzadziej są spotykane w zamkniętych szczelnymi pokrywami studniach z pompą i monitoringowych.

## Literatura

Becher, J., Griebler C., Fuchs, A., Gaviria, S., Pfingstl, T., Eisendle, U., Duda, M., & Bayer, P., 2024. Groundwater fauna below the city of Munich and relationships to urbanization effects. 26th Internat. Conf. Subter. Biol., – 6th Internat. Symp. on Anchialine Ecosystems, Cagliari, 9–14 Sept., Book of Abstracts, 77.

Chappuis, P.A., 1924. Die fauna der unterirdischen Gewässer der Umgebung von Basel. Arch. Hydrobiol., 14: 1–88.

Englisch, C., Kaminsky, E., Steiner, C., Stumpp, C., Götzl, G., & Griebler, C., 2022. Heat Below the City – Is Temperature a Key Driver in Urban Groundwater Ecosystems? ARPHA Conference Abstracts, 5, e89677, Sofia, Bulgaria, Pensoft Publishers. https://doi. org/ 10.3897/ aca.5. e89677

Englisch, C., Kaminsky, E., Steiner, C., Buga-Nyeki, E., Stumpp, C., & Griebler, C., 2024. Life below the City of Vienna - Drivers of groundwater fauna distribution in an urban ecosystem. 26th Internat. Conf. Subter. – Biol., 6th Internat. Symp. on Anchialine Ecosystems, Cagliari, 9-14 Sept., Book of Abstracts, 74.

Hahn, H.J., Matzke, D., Kolberg, A., & Limberg A., 2013. Untersuchungen zur Fauna des Berliner Grundwassers –erste Ergebnisse. Brandenburg. geowiss. Beitr., 20: 85–92.

Jaworowski, A., 1893. Fauna studzienna miast Krakowa i Lwowa. Spraw. Kom. Fizyograf. AU w Krakowie, 28: 29–48.

Koch, F., Menberg, K., Schweikert, S., Spengle, C., Hahn, H. J., & Blum, P. 2021. Groundwater Fauna in an Urban Area: Natural or Affected? Hydrol. Earth Syst. Sci., 25: 3053–3070. https://doi. org/ 10. 5194/ hess-25

Meyer, L., Becher, J., Griebler, C., Herrmann, M., Küsel, M., & Bayer, P., 2024. Biodiversity patterns in the urban groundwater of Halle (Saale), Germany. 24th Internat. Conf. Subter. Biol., - 6th Internat. Symp. on Anchialine Ecosystems, Cagliari, 9–14 Sept. Book of Abstracts, 39.

Moniez, R., 1888-1889. Faune des eaux souterraines du Département du Nord et en particulier de la ville de Lille. Rev. Biol. Nord France, 3-4: 81–94; 142–153; 170–182; 241–262.

Řehačkova, V. 1953. Organismy studničnich vod pražských. Rozpr. Českoslov. Akad. Věd, 63: 135.

Vejdovský, F., 1882. Thierische Organismen der Brunnenwässer von Prag. Selbstverlag, Prag, 70, mit 8 Tafeln.

# Współczesne procesy depozycyjne i krasowe w trawertynach na wybrzeżu morskim w Edipsos (Eubea, Grecja)

## Recent depositional and karst processes in travertines of the coast of Edipsos (Euboea, Greece)

Artur Galicki[1], Wojciech Wróblewski[1], Christos Kanellopoulos[2]

[1] *Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Polska,*
*e-mail: arturgalicki@doctoral.uj.edu.pl*
[2]*Hellenic Survey of Geology and Mineral Exploration, Athens, Greece*

Na obszarze miasta Edipsos, w północnej części wyspy Eubea w Grecji, występują liczne źródła termalne, które współcześnie formują rozległy system budowli trawertynowych rozwiniętych na mezozoicznych i paleozoicznych utworach węglanowych oraz skałach metamorficznych należących do strefy Pelagońskiej. Trawertyny te tworzą monumentalne formy o lateralnym zasięgu przekraczającym 1 km wzdłuż wybrzeża Zatoki Eubejskiej Północnej, w południowej części miasta. Ich miąższość jest zmienna i waha się od kilku do kilkunastu metrów.

W Edipsos trawertyny budują przede wszystkim kaskady rozwinięte na połogim stoku, zasilane przez system ponad 20 aktywnych źródeł termalnych, o temperaturze wód dochodzącej do 80°C i mineralizacji sięgającej 5,7 g/l. Większość z nich to źródła typu zawieszonego, zlokalizowane na uskokach tektonicznych o przebiegu NNE–SSW, NW–SE i E–W. Kaskady połączone są ze sobą siecią kanałów fluwialnych, których bieg został współcześnie uregulowany. Wyróżnić można trzy główne kaskady w obrębie miasta. Najstarsza z nich znajduje się w północnej części Edipsos, na wysokości około 65 m n.p.m. Młodsza, tzw. kaskada „uzdrowiskowa", zasilana oprócz naturalnych źródeł także wodami z kilku odwiertów wykonanych na potrzeby turystyki, położona jest niżej – na wysokości około 35 m n.p.m. Najmłodsza zaś kaskada znajduje się na wysokości około 20 m n.p.m., a jej najniższe partie sięgają plaży, gdzie trawertyny cementują morskie osady – głównie frakcji żwirowej. W tychże partiach kaskady tworzą się nawisy, pod którymi powstały pustki o charakterze jaskiń konstrukcyjnych. Na plaży trawertyny formują również pojedyncze kopce o rozmiarach do kilku metrów lateralnej rozciągłości i wysokości, zalegające bezpośrednio na osadach plażowych.

Trawertyny zbudowane są głównie z kalcytu, rzadziej z aragonitu. Kalcyt w strefach źródłowych występuje w postaci romboedrycznych kryształów, natomiast w innych strefach przyjmuje różne formy – botryoidalną, kolumnową, krzaczkową lub blokową. Ułożony jest warstwowo, a rozmiary kryształów wahają się od 0,2 mm do kilku centymetrów; w skrajnych przypadkach tworzą się warstwowane megakryształy osiągające do 40 cm. Aragonit występuje w postaci heksagonalnych pryzm w strefach źródłowych.

Litologicznie trawertyny w Edipsos reprezentowane są głównie przez naskorupienia krystaliczne, a podrzędnie przez trawertyny krzaczkowe, kry kalcytowe, inkrustowane kalcytem bąble po gazie oraz trawertyny litoklastyczne.

W spągu najmłodszej i jednocześnie najniżej położonej kaskady obserwuje się intensywne wietrzenie trawertynów eksponowanych w kierunku morza. W partiach zalegających bezpośrednio na osadach plażowych występują odspojenia i mechaniczne wygładzenie powierzchni. W wyższych partiach, do wysokości około 2 m, widoczne są zagłębienia o charakterze pustek powstałych w wyniku krasowego rozpuszczania, które obecnie stanowią przedmiot badań.

# Różnorodność gatunkowa skoczogonków (Collembola) jaskiń tatrzańskich w świetle aktualnych badań i danych historycznych

## Species diversity of springtails (Collembola) in the caves of the Tatra Mts. Historical overview and new data

Joanna Kocot-Zalewska[1], Dariusz Skarżyński[2]

[1]*Muzeum Górnośląskie w Bytomiu. Dział Przyrody, Bytom, Polska*
*e-mail: joannakocotzalewska@gmail.com*
[2]*Uniwersytet Wrocławski, Zakład Biologii, Ewolucji i Ochrony Bezkręgowców, Wrocław, Polska*

Odczerwca 2022 do grudnia 2024 r. w wybranych jaskiniach Tatr polskich prowadzone były badania nad fauną bezkręgowców (Kocot-Zalewska 2024). W wyniku odłowów do pułapek Barbera uzyskano 1280 okazów skoczogonków (Collembola), muchówek (Diptera), chrząszczy (Coleoptera), pająków (Aranea), kosarzy (Opiliones), roztoczy (Acari) i wijów (Myriapoda). Skoczogonki stanowiły 82,26 % zebranego materiału.

Skoczogonki tworzą stały element fauny podziemnej. Dotychczas opisano ponad 350 gatunków troglobiontycznych należących do tej grupy stawonogów (Kovač et al., 2016). Z różnych regionów jaskiniowych Polski (zwłaszcza Sudetów, Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej i Tatr), wykazano 79 gatunków, wśród których 11 to troglobionty (Kocot-Zalewska & Domagała, 2020).

Z jaskiń Tatr polskich znanych było dotychczas 29 gatunków, w tym jeden troglobiontyczny *Protaphorura janosik* (Weiner 1990). W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano osiem gatunków, wśród których dwa są nowe dla polskiej części Tatr. Jeden z nowo stwierdzonych gatunków jest troglobiontem. Z jaskiń Tatr słowackich znanych jest 29 gatunków skoczogonków, w tym jeden troglobiontyczny *Protaphorura janosik* (Kovač et al. 2016).

### Literatura

Kocot-Zalewska, J., 2024. Fauna bezkręgowców wybranych jaskiń tatrzańskich – podsumowanie badań terenowych. W: Wróblewski W., Gradziński M., Sala P. (red.) Materiały 58 Sympozjum Speleologicznego, Piwniczna Zdrój, 52.

Kocot-Zalewska, J., & Domagała, P., 2020. Terrestrial invertebrate fauna of Polish caves – a summary of 100 years of research. Subterranean Biology, 33: 45–69. https://doi.org/10.3897/subtbiol.33.48805

Kováč, L., Parimuchová, A., & Miklisová, D., 2016. Distributional patterns of cave Collembola (Hexapoda) in association with habitat conditions, geography and subterranean refugia in the Western Carpathians. Biological Journal of the Linnean Society, 119(3): 571–592. https://doi.org/10.1111/bij.12555

Weiner, W. M., 1990. Onychiuridae of Poland. New species of *Protaphorura* Absolon, 1901 from the Tatra Mts. Acta Zoologica Cracoviensis 33(18): 453–457.

# Odkrycie Demianowskiej Jaskini Wolności – impuls dla rozwoju speleologii i turystyki jaskiniowej na Słowacji

## The Discovery of the Demänovská Cave of Liberty: An Impulse for the Development of Speleology and Cave Tourism in Slovakia

Łukasz Lewkowicz

*Instytut Nauk o Polityce i Administracji, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin, Polska, e-mail: lukasz.lewkowicz@mail.umcs.pl*

Jaskinie Doliny Demianowskiej były znane od setek lat. Pierwsze pisemna wzmianka o nich znalazła się w dokumentach Ostrzyhomskiej Kapituły z 1299 r. Nie wiadomo jednak, którego konkretnie obiektu dotyczył opis. Jaskinie liptowskie były coraz intensywniej eksplorowane od XVII w. Szczególne zasługi w działalności speleologicznej w Niżnych Tatrach można przypisać spiskoniemickiemu badaczowi i duchownemu ewangelickiemu Georgowi Bucholtzowi młodszemu, który eksplorował Jaskinie Demianowskie na początku XVIII w. W drugiej połowie XIX w. Węgierskie Towarzystwo Karpackie udostępniło dla turystów Demianowską Jaskinię Lodową. Prawdziwym przełomem w dziejach słowackiej speleologii i turystyki jaskiniowej było jednak dopiero odkrycie Demianowskiej Jaskini Wolności (*Demänovská jaskyňa Slobody*, *Chrám slobody*) w lecie 1921 r. Dokonał tego 3 sierpnia nauczyciel z Uherskiego Brodu Alois Král z pomocą syna leśnika Adama Mišury. Od dawna podejrzewano istnienie w Dolinie Demianowskiej rozległych korytarzy jaskiniowych, jednak dopiero podczas bardzo suchego lata 1921 r. wysechł ponor przy nieistniejącym już schronisku Björnsona, przez który dostali się odkrywcy.

W związku z niezwykłą wartością jaskini jeszcze tego samego roku wzięta została pod opiekę państwa oraz przystąpiono do jej udostępniania. W 1922 r. powstała Komisja do spraw udostępnienia Jaskiń Demianowskich (*Komisia pre zverejnenie Demänovských jaskýň*). Rok później zostało zainstalowane tymczasowe oświetlenie elektryczne. Część jaskini od wejściowej sztolni do Złotego Jeziorka udostępniono dla zwiedzających już w sierpniu 1924 r. Rok później powstało Stowarzyszenie Jaskiń Demianowskich (*Družstvo Demänovských jaskýň*), które przyjęło na siebie zobowiązania komisji oraz kontynuowało odkrywanie i udostępnianie kolejnych części „Świątyni Wolności". W 1928 r. zostało przekopane nowe wejście do jaskini usytuowane w dolince Točište, które następnie w 1930 r. zostało włączone do trasy turystycznej. W 1931 r. zainstalowano zmodernizowane oświetlenie elektryczne, a trasa turystyczna została przedłużona o korytarze prowadzące do Różowej Sali. W 1933 r. w Korytarzu Niedźwiedzim zostało przekopane nowe wyjście z jaskini, dzięki czemu zmodyfikowano trasę zwiedzania. W tym samym roku powstała działająca przy Stowarzyszeniu stała komisja naukowa badającą m.in. mikroklimat i szatę naciekową jaskiń Demianowskich. Partie górne od Sali Hviezdoslava udostępniono w latach 1931–1933.

Ze względu na brak odpowiedniej infrastruktury komunikacyjnej początkowo „Świątynię Wolności" odwiedzało bardzo mało turystów. W pierwszym sezonie w 1924 r. jaskinię odwiedziło zaledwie 2634 zwiedzających. Od początku lat 30. XX w. stopniowo rosła liczba turystów odwiedzających jaskinię, co wynikało z oddania do użytku drogi dojazdowej z Liptowskiego Mikulasza, rozbudowy infrastruktury turystycznej, w tym restauracji oraz przebudowy trasy zwiedzania jaskini. Stowarzyszenie prowadziło również intensywną i profesjonalną akcję marketingową w Czechosłowacji i poza jej granicami. Aktywnie w działania promocyjne włączali się ludzie kultury tacy jak Rudolf Těsnohlídek i Leoš Janáček. Na początku lat 30. XX w. liczba odwiedzających przekroczyła 20 tys. turystów rocznie (w szczytowych latach 1936-1937 było to ponad 30 tys. odwiedzających rocznie). W wyniku rozpadu Czechosłowacji w 1938 r. i II wojny światowej liczba turystów gwałtownie spadła, zwłaszcza w latach 1944 i 1945. Po dojściu do władzy komunistów w 1948 r., znacznej poprawie sytuacji ekonomicznej ludności i umasowieniu turystyki odwiedzalność jaskini wzrosła kilkukrotnie. W szczytowych latach 60. i 70. XX w., liczba turystów w Demianowskiej Jaskini Wolności regularnie przekraczała 200 tys. osób rocznie

(w piku w 1962 r. było to ponad 277 tys. turystów). Po przemianach politycznych 1989 r. zainteresowanie jaskinią ponownie spadło, średnio o jedną trzecią. Wzrost nastąpił dopiero w nowym tysiącleciu. W 2008 r. liczba odwiedzających przekroczyła 180 tys. osób, ale w wyniku kryzysu finansowego i wprowadzenia euro na Słowacji ponownie gwałtownie spadła poniżej 100 tys. turystów. Kolejny kryzys w turystyce jaskiniowej spowodowało wprowadzenie obostrzeń antyepidemicznych w latach 2020-2022. Obecnie „Świątynia Wolności" jest drugą najczęściej odwiedzaną jaskinią na Słowacji – w 2024 r. było w niej ponad 95 tys. gości.

Odkrycie Demianowskiej Jaskini Wolności wpłynęło pozytywnie na zainteresowanie eksploracją jaskiń na obszarze Słowacji. Świadczyło o tym odkrycie Jaskini Ważeckiej w 1922 r., następnie Jaskini Bystrianskiej w 1923 i 1926 r., Domicy w 1926 r., Jaskini Driny w 1929 r. i Jaskini Harmaneckiej w 1932 r. Ponadto w 1923 r. znalezione nowe partie Jaskini Jasowskiej. Wszystkie obiekty zostały w kolejnych latach udostępnione dla masowego ruchu turystycznego. Po odkrycia Jaskini Wolności kolejne generacje grotołazów prowadziły odkrycia w Dolinie Demianowskiej. W latach 1948–1955 Demianowską Jaskinię Wolności eksplorował i przeprowadził w niej kompleksowe pomiary Anton Droppa. W 1951 r. połączono Demianowską Jaskinię Wolności z Jaskinią Pustą. W 1983 r. nurkowie połączyli ją z Jaskinią Vyvieranie. Wielokrotnie próbowano znaleźć naturalne połączenie pomiędzy Jaskinią Wolności a położoną na północ od niej Demianowską Jaskinią Pokoju. Po nieudanych próbach w latach 1952, 1968, 1974 i 1983, sukces został osiągnięty na przełomie lat 1986 i 1987. Speleolodzy słowaccy w 1989 r. osiągnęli połączenie jaskini z Jaskinią Pod Urwiskiem i Jaskinią Dolinową, a w 1991 r. także z Jaskinią Ruin. Według danych z marca 2025 r. Demianowski System Jaskiniowy liczy ok. 51,5 km. Łączna długość wszystkich znanych jaskiń Demianowskiej Doliny wynosi zaś ponad 80 km.

## Literatura

Archív ochrany prírody a jaskyniarstva, Liptovský Mikuláš.

Droppa, A., 1953. Demänovské jaskyne. Sprievodca po Jaskyni slobody, Demänovskej ľadovej jaskyni, Jaskyni mieru, Jaskyni Okno a Pustej jaskyni. Cestovný ruch, Bratislava, 66.

Droppa, A., 1957. Demänovské jaskyne a zaujímavosti krasu v okolí. Šport, Bratislava, 160.

Droppa, A., 1957. Demänovské jaskyne. Krasové zjavy Demänovskej doliny. SAV, Bratislava, 289.

Kudla, M., 2021. Prehľad histórie Demänovskej jaskyne Slobody. Aragonit 26/1: 16-21.

Lalkovič ,M., 1996. Demänovská jaskyňa slobody – impulz pre rozvoj jaskyniarstva na Slovensku. In: Bella, P., (ed.) Sprístupnené jaskyne – výskum, ochrana a využívanie. Zborník referátov z odborného seminára (Medzev, 18. – 20.9.1996). SSJ, Liptovský Mikuláš, 67–74.

Parma, Ch., & Rajwa, A., 1989. Turystyczne jaskinie Tatr. Przewodnik. Sport i Turystyka, wyd. 2, Warszawa, 130.

Těsnohlídek, R., 1926. Demänová. Družstevní prace, Praha, 194.

Zwoliński, S., 1987. W podziemiach tatrzańskich. Wydawnictwa Geologiczne, wyd. 2, Warszawa, 276.

Zwoliński, T., 1937. Przewodnik po Tatrach i Zakopanem z mapką przeglądową Tatr w podziałce 1:100.000, planem Zakopanego i ilustracjami ze zdjęć T. i S. Zwolińskich. Nakład Księgarni L. Zwolińskiego, wyd. 5, Zakopane, 299.

# The flooding events heralding the opening of Neo-Tethys recorded in the exposures of the Middle Triassic carbonates in the Demänová Caves

Juraj Littva[1], Ľudovít Gaál[1], Pavel Herich[1,2]

[1] *State Nature Conservancy of Slovak Republic, Slovak Caves Administration, Liptovský Mikuláš, Slovakia, e-mail: juraj.littva@ssj.sk*
[2] *Department of Physical Geography and Geoinformatics, Faculty of Natural Sciences, Comenius University in Bratislava, Mlynská dolina, Bratislava, Slovakia,*

The Middle Triassic carbonate rocks of the Fatric Unit that host Demänová Caves contain a succession of Anisian beds with an atypical character, informally named '*Demänová beds*'. Parts of these beds were recognised in the earliest geological works on the Western Carpathians (Štúr 1868) and described as *'Muschelnkalk'* (fossiliferous carbonates). However, other distinctive rock types of 'Demänová beds', such as carbonates with chert nodules, were not recognised. Despite numerous prior mentions in the literature about Demänová Caves (e.g., Pokorný 1949), these cherty carbonates were not noticed and studied in detail until much later (e.g., Biely et al., 1997). The case of the 'Demänová beds' thus might represent a prime example of a missed opportunity caused by the lack of integration of the surface geological studies with the cave studies.

Recent works in Demänová Caves (e.g., Gaál 2016; Gaál & Michalík, 2017; Gaál et al., 2021) recognised four main rock types: Gutenstein Formation, Annaberg Limestone, 'Demänová limestones', and Ramsau Dolomites. The Gutenstein Formation, composed of bedded micritic limestones with dolomite layers, was interpreted to represent a restricted hypersaline and anoxic environment. The overlying massive Annaberg Limestone was deposited in a more dynamic open-marine environment, as demonstrated by the presence of cross-bedding and some ooidal beds. The part of 'Demänová limestones' comprises fossiliferous limestones containing abundant crinoidal fragments and brachiopods, occasional molluscs, and even a rare occurrence of a nautiloid fossil. Beds of intraclastic grainstones to rudstones, sedimentary breccias, and bedded carbonates containing chert nodules were also observed. These rocks were interpreted to be deposited in the well-oxygenated wave-dominated sea, with the breccias and intraclasts formed by the storm and fair-weather waves. The chert nodules were thought to be remnants of the small patch reefs of siliceous sponges. The uppermost Ramsau Dolomites are the most difficult to study, due to the obliteration of primary microstructure caused by the dolomitisation. Additionally, the dolomites tend to be more prone to fracturing and seepage, which leads to the development of extensive carbonate speleothems, which further impair their study.

The 'Demänová limestones' were also studied on the surface of the Demänová Valley, and the bedded cherty carbonates were found to contain conodont and holothurian remnants that point to their Illyrian to Pelsoninan age (Havrila 1992 in Biely et al., 1997). Therefore, 'Demänová limestones' could represent basinal deposits with the cherty bedded carbonates corresponding to pelagic sediments. In this interpretation, the breccias and intraclastic layers, and possibly even fossiliferous beds, could represent shallow-water debris washed into the deeper water. Such interpretation would also agree with the interpretation of rock suites similar to those in Demänová Valley, which were reported in other parts of the Western Carpathians from a different nappe system – Hronic Unit (e.g. Havrila 2011; Havrila et al., 2016; Havrila 2017; Havrila & Havrila, 2022). It is possible to draw some parallels between the 'Demänová limestones' and the rock sequences described in the cited works. The fossiliferous beds of the 'Demänová limestones' could be correlated with the Steinalm or Gader Limestones. The cherty carbonates could correspond to the Zámostie or Reifling Formations. The breccias and intraclastic limestones could be correlated to the Ráztoka Limestones. Moreover, these works describe a distinctive marker bed that occurs in the rock sequence named 'ammonite horizon' containing abundant cephalopod fauna, which could be linked to the nautiloid find from the Okno Cve. In the regional frame, simultaneous drowning in the Pelsonian/Illyrian was observed in the Eastern Alps and was interpreted as

a precursor event before the final break-up of the Neo-Tethys (Gawlick et al., 2020 and references therein).

**Literatura**

Biely, A., Bezák, V., (eds.), Bujnovský, A., Vozárová, A., Klinec, A., Miko, O., Halouzka, R., Vozár, J., Beňuška, P., Hanzel, V., Kubeš, P., Liščák, P., Lukáčik, E., Maglay, J., Molák, B., Pulec, M., Putiš ,M., & Slavkay M. 1997. Vysvetlivky ku geologickej mape Nízkych Tatier. Geologická služba Slovenskej republiky, Bratislava, 232.

Gawlick, H.-J., Lein, R., & Bucur I. I. 2020. Precursor extension to final Neo-Tethys break-up: flooding events and their significance for the correlation of shallow-water and deep-marine organisms (Anisian, Eastern Alps, Austria). International Journal of Earth Sciences 1110: 419–446. https://doi.org/10.1007/s00531-020-01959-w

Gaál, Ľ. 2016. Litológia karbonatických hornín Demänovského jaskynného systému. Slovenský kras 54(2): 109–129.

Gaál, Ľ., & Michalík, J., 2017. Litologické pomery jaskyne Okno v Nízkych Tatrách. Slovenský kras 55(2): 145–154.

Gaál, Ľ., Herich, P., Michalík, J., Soták, J., & Staník, P., 2021. Aktualizácia geologickej mapy systému Demänovských jaskýň. Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš. Geofond archive, archive nr. 100033.

Havrila, M., 2011. Hronikum: paleogeografia a stratigrafia (vrchný pelsón – tuval), štrukturalizácia a stavba. Geologické práce, Správy 117: 7–103.

Havrila, J., Boorová, D., & Havrila, M., 2016. Ráztocký vápenec štureckej faciálnej oblasti. Geologické práce, Správy 129: 35–54.

Havrila, M., & Havrila, J., 2022. Paleogeografické rozšírenie gaderského a ráztockého vápenca (vrchný pelsón – ilýr, hronikum, Západné Karpaty): rešerš. Geologické práce, Správy 138: 3–28. https://doi.org/10.56623/gps.138.1

Havrila, J., 2017. Faciálna architektúra a paleogeografické vzťahy triasových karbonátových komplexov hronika. [Doctoral Thesis], Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava, 190.

Pokorný, M., 1949 Vývoj nejmladších prostor jeskyň Demänovských. Časopis Moravského muzea v Brne – Acta Musei Moraviae 34(1): 49–65.

Štúr, D., 1868. Bericht über die geologische Aufnahme im oberen Waag- und Gran-Thale. Jahrbuch der k.k. Geologischen Reichsanstalt 18: 337–426.

.

# Model geologiczny 3D Koziego Grzbietu (Tatry Zachodnie) opracowany na podstawie zintegrowanych danych geologicznych i jaskiniowych

## 3D Geological Model of Kozi Grzbiet (the Western Tatra Mountains) based on integrated geological and speleological data

Jakub Mierzchała[1], Jacek Szczygieł[1]

[1] *Instytut Nauk o Ziemi, Wydział Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, e-mail: jakubmierzchala.kontakt@gmail.com*

Modelowanie trójwymiarowe struktur geologicznych stanowi nowoczesne narzędzie badawcze, umożliwiające pogłębione poznanie i analizę złożonej budowy geologicznej (Kotański 1994). Tatry, ze względu na skomplikowaną budowę geologiczną stwarzają szczególnie wymagające warunki do prowadzenia tego typu badań (Szczygieł 2012; 2015).

Kozi Grzbiet w masywie Czerwonych Wierchów w Tatrach Zachodnich jest obszarem o wyjątkowym znaczeniu speleologicznym, wynikającym z obecności gęstej sieci jaskiń (Gradziński et al., 2009), a także skomplikowanej budowy fałdowo-nasunięciowej (Kostiukow 1983; Piotrowska et al., 2008). Dotychczasowe badania skutkowały tworzeniem dokumentacji w ujęciu dwuwymiarowym, tj. map i przekrojów (Kostiukow 1983; Szczygieł 2015). Wciąż brakuje jednak ogólnodostępnych modeli trójwymiarowych, które integrowałyby dane powierzchniowe z informacjami uzyskanymi we wnętrzu masywu dzięki eksploracji jaskiniowej.

Celem badań było opracowanie modelu wgłębnej budowy geologicznej 3D masywu Koziego Grzbietu, na bazie istniejących przekrojów geologicznych (Szczygieł 2015), mapy geologicznej (Piotrowska et al., 2008), modelu wysokościowego, oraz pomiarów strukturalnych wykonanych w korytarzach jaskiń: Koziej, Ptasiej Studni, Nad Dachem, Lodowej Litworowej, Pod Dachem. Model został opracowany z wykorzystaniem ogólnodostępnego programu VisualKarsys (https://www.visualkarsys.com/).

Opracowany model umożliwia szczegółową analizę budowy geologicznej centralnej części masywu Czerwonych Wierchów, w tym określenie przebiegu granic jednostek litologicznych i tektonicznych, identyfikację stref uskokowych oraz ocenę korelacji pomiędzy strukturami geologicznymi, a rozwojem jaskiń. Zastosowanie programu VisualKarsys jako narzędzia modelowania geologicznego 3D na bazie różnorodnych danych przestrzennych otwiera nowe możliwości badawcze, niedostępne w przypadku klasycznych metod kartograficznych. Model 3D jest nie tylko nowoczesną formą wizualizacji danych wgłębnych, ale może również stanowić podstawę do dalszych analiz tektonicznych i hydrogeologicznych (Malard et al., 2023; Klaba et al., 2024). Rozwijanie metodologii modelowania trójwymiarowego może przynieść istotne korzyści w analizie budowy geologicznej innych regionów górskich, w których dane jaskiniowe stanowią kluczowe źródło informacji o wewnętrznej strukturze geologicznej, litologicznej i tektonicznej (Palmer 2009; Szczygieł 2012).

### Literatura

Gradziński, M., Hercman, H., Kicińska, D., Barczyk, G., Bella, P., & Holúbek, P. 2009. Kras Tatrzański - Rozwój wiedzy w ostatnich trzydziestu latach. Przeglad Geologiczny, 57: 674–684.

Klaba, V., Celle, H., Trap, P., Choulet, F., Smeraglia, L., Malard, A., & Carry, N. 2024. Multi-scale hydrostructural approach for karst environment. Application to the Arcier hydrosystem (eastern France). Journal of Structural Geology, 184 https://doi.org/10.1016/j.jsg.2024.105154

Kostiukow, J. M., 1983. Zdjęcie geologiczne Wielkiej Świstówki oraz Kotła Mułowego i Litworowego. Acta Geologica Polonica, 13: 223–235

Kotański, Z. 1994. Budowa geologiczna Tatr i Podhala. Przegląd Geologiczny 42: 745–754.

Malard, A., Dörfliger, N., Jeannin, P. Y., & Laube, S., 2023. Contribution of the dynamic visualization of a 3D hydrogeological conceptual model to the participatory management of groundwater resources. Comptes Rendus - Geoscience, 355: 231–244. https://doi.org/10.5802/crgeos.152

Palmer, A. N., 2009. Cave exploration as a guide to geologic research in the Appalachians. Journal of Cave and Karst Studies, 71: 180–192. https://doi.org/10.4311/jcks2008es0042

Piotrowska, K., Cymerman, Z., & Rączkowski ,W., 2008. Szczegółowa mapa geologiczna Tatr w skali1:10 000, ark. Czerwone Wierchy – mapa geologiczna powierzchniowa. Centr. Arch. Geol. PIG-PIB.

Szczygieł, J., 2012. Wgłębna budowa geologiczna górnej cześci Wawozu Kraków w świetle badań Jaskini Wysokiej - Za Siedmiu Progami, Tatr. Przeglad Geologiczny, 60: 232-238.

Szczygieł, J., 2015. Cave development in an uplifting fold-and-thrust belt: Case study of the Tatra Mountains, Poland. International Journal of Speleology, 44: 341–359. https://doi.org/10.5038/1827-806X.44.3.10

https://www.visualkarsys.com/

# Hiatusy w naciekach jaskiniowych – podejście numeryczne

## Hiatuses in speleothems – numerical approach

Jacek Pawlak[1], Przemysław Sala[2], Marcin Błaszczyk[1], Michał Gradziński[3]

[1] *Instytut Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk, Warszawa, Polska*
*e-mail: dzeq@twarda.pan.pl*
[2]*Instytut Nauk o Ziemi i Środowisku, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Toruń, Polska,*
[3] *Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Instytut Nauk Geologicznych, Kraków, Polska*

Krystalizacja nacieków jaskiniowych w dłuższej skali czasowej jest procesem nieciągłym czego efektem są hiatusy występujące często w profilach nacieków jaskiniowych. Mają one różnoraką genezę; mogą być związane ze zmianą chemizmu wody zasilającej, z kontaktem nacieku z agresywną wodą kondensacyjna, wodą z podziemnych potoków allogenicznych, guanem nietoperzy lub wodą przemywającą nagromadzenia guana, a także z depozycją materiału klastycznego na powierzchni nacieku. Hiatusy są więc zapisem różnorakich zjawisk i procesów ważnych z punktu widzenia analizy paleośrodowiska. Pomimo tego informacje zakodowane w hiatusach są często pomijane w analizach paleoklimatycznych bazujących na naciekach jaskiniowych.

Celem utworzenia genetycznej klasyfikacji hiatusów i stwierdzenia zależności różnorakich parametrów pomiędzy poszczególnymi kategoriami genetycznymi hiatusów przeanalizowano szereg parametrów opisujących morfologię powierzchni hiatusu oraz ich skład mineralny/chemiczny pokrywającego te powierzchnię. Przetestowane zostały hiatusy o rozpoznanej wcześniej genezie. Diagnostyczne parametry na podstawie których wykonano analizę skupień (*cluster analysis*) uwzględniały (i) stopień zniszczenia powierzchni pomiędzy mikrozagłębieniami korozyjnymi, (ii) szacunkowa powierzchnia przekroju mikrozagłębień, (iii) stosunek najwęższej do najszerszej średnicy mikrozagłębień, (iv) histogram częstości występowania mikrozagłębień o głębokościach: 0–50 μm, 50–100 μm, 100–200 μm i >200 μm, (v) procent zakrycia powierzchni hiatusu przez osady i (vi) skład mineralny osadu przykrywającego powierzchnię hiatusu. Na podstawie powyższych parametrów zbiór danych został podzielony na spójne klastry. Ponadto zostały obliczone parametry złożone opisujące zależności pomiędzy poszczególnymi pomierzonymi parametrami a także histogramy tych parametrów, których częstość występowania nie była opisana rozkładem normalnym. Testowane były różnie dobierane zestawy parametrów; wykonano siedem niezależnych testów. Głównym zadaniem przeprowadzonej analizy skupień było wybranie takiego zestawu parametrów hiatusów, który właściwie poszereguje hiatusy zgodnie z wcześniej rozpoznaną ich genezą.

Badane hiatusy zostały pogrupowane w cztery główne klastry. W pierwszym znajdują się hiatusy uformowane przez korozję chemiczną spowodowaną interakcją z guanem. Klaster ten indywidualizuje się dzięki unikalnej kombinacji cech morfologicznych (dominacja głębokich mikrozagłębień) i obecności fosforanów. Kolejny klaster zawiera hiatusy uformowane na skutek (i) korozji kondensacyjnej, (ii) korozji powodowanej przez agresywną wodę perkolacyjną i (iii) korozji fluwialnej, lecz przy braku sedymentacji materiału klastycznego. Klaster ten charakteryzuje się brakiem pokrywających hiatus osadów nie węglanowych i znacznym stopniem zniszczenia badanych powierzchni. Trzeci klaster skupia hiatusy uformowane przez wodę perkolacyjną i hiatusy fluwialne, lecz pokryte przez detrytyczny materiał nie węglanowy. Natomiast czwarty klaster zawiera tylko powierzchnie przykryte osadami klastycznymi przy minimalnym zaangażowaniu chemicznego niszczenia powierzchni niżej ległego nacieku.

*Badania były finansowane z projektu NCN nr 2019/35/B/ST10/04397.*

# Przykłady aktywności nietoperzy oraz zmian temperatury w dużych kompleksach jaskiniowych

## Examples of bat activity and temperature variations in large cave complexes

Andrea Pereswiet-Soltan[1,2], Sylwia Pospuła[1]

[1] *Instytut Systematyki i Ewolucji Zwierząt Polskiej Akademii Nauk, Kraków, Polska,*
[2] *Club Speleologico Proteo Vicenza,*
*e-mail: pereswiet@isez.pan.krakow.pl*

Badania nad nietoperzami w jaskiniach bardzo często koncentrują się w strefie wejściowej, z wykorzystaniem odłowów – zwłaszcza w okresie rojenia (*swarming*) – bądź rejestracji przy pomocy detektorów ultradźwiękowych, w celu oceny zmienności aktywności, jak również wewnątrz jaskiń podczas zimowych spisów. Zdecydowanie rzadziej prowadzone są badania dotyczące aktywności i zachowania nietoperzy w głębszych partiach jaskiń, a w szczególności w obszarach oddalonych od otworu wejściowego. Często obserwuje się, że osobniki koncentrują się w początkowych odcinkach korytarzy, a jedynie nieliczne zapuszczają się w głąb jaskini. W ostatnich latach zagadnienie to stało się przedmiotem prezentowanych badań, a prowadzone analizy pozwoliły zebrać pierwsze dane dotyczące obecności nietoperzy w głębszych partiach jaskiń.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki wstępnych obserwacji przeprowadzonych w dwóch jaskiniach zlokalizowanych w północno-wschodnich Włoszech: Buso della Rana (Monte di Malo, Vicenza) oraz Busa di Castel Sotterra (Volpago del Montello, Treviso). Buso della Rana jest rozległą, labiryntową jaskinią krasową o przebiegu subhoryzontalnym, rozwiniętą na długości blisko 40 km (uwzględniając cały kompleks Rana–Pissatèla). Charakteryzuje się licznymi aktywnymi korytarzami, jeziorkami, kominami, marmitami, syfonami oraz bogatą szatą naciekową, które odprowadzają wody pochodzące z krasowego płaskowyżu Faedo–Casaron do potoku Rana. Rana wypływa u wejścia do jaskini i zasila strumień o przepływie zmiennym w zależności od opadów. Busa di Castel Sotterra jest jaskinią powstałą w obrębie zlepieńca, co nadaje jej specyficzną morfologię. Jej długość wynosi około 8 km; system tworzą liczne korytarze, sale, kominy i szyby, obejmujące zarówno partie suche, jak i aktywne hydrologicznie. Jaskinia może być scharakteryzowana jako system rozwinięty na trzech poziomach: górnym, środkowym i dolnym.

Okres badań w Buso della Rana obejmował miesiące marzec i kwiecień, podczas których w różnych partiach jaskini rozmieszczono automatyczne detektory ultradźwiękowe i rejestratory temperatury. Analizy bioakustyczne wskazują, że obecne tam nietoperze – niezbyt liczne pomimo dużych rozmiarów jaskini – wykazują ograniczoną aktywność zimą, jednak wraz z nadejściem wiosny ich aktywność stopniowo wzrasta. Obserwowano przeloty pomiędzy korytarzami i salami jaskini. Typowe było większe natężenie aktywności od zmierzchu do świtu, przy znacznie niższych wartościach w ciągu dnia, mimo oddalonych partii od otworu. Temperatura w partii wejściowej wykazywała duże wahania dobowo-sezonowe w okresie przejściowym z zimy na wiosnę, natomiast w głębszych partiach jaskini notowano niewielki, lecz stały wzrost temperatury. Interesującym faktem jest, że podczas gdy w strefie wejściowej i w pierwszym korytarzu odnotowano aktywność wielu gatunków i rodzajów (*Myotis* sp., *Eptesicus serotinus*, *Miniopterus schreibersii*, *Plecotus* sp.), wnętrze jaskini było użytkowane niemal wyłącznie przez *Rhinolophus hipposideros* i *Rhinolophus ferrumequinum*.

Analiza danych bioakustycznych z Busa di Castel Sotterra pozwoliła sformułować równie interesujące obserwacje. Późną wiosną i wczesnym latem zaobserwowano powstanie kolonii w rejonie końcowych partii korytarzy Golem, za rumowiskiem skalnym, które – jak się wydaje – nie posiada bezpośredniego połączenia z powierzchnią. Rejestracje wykazały aktywność nocną, niewiele odbiegającą od aktywności dziennej, co prowadzi do hipotezy, że nietoperze mogą korzystać z innego wejścia do systemu, nieznanego speleologom, bądź wykorzystują krótszą trasę z otworu do górnych sal. Podczas nocy rejestrowano wyłącznie sygnały echolokacyjne, natomiast

w godzinach porannych pojawiały się także liczne sygnały typu społecznego. W innych częściach jaskini analiza bioakustyczna wykazała wyraźnie większą aktywność o zmierzchu i o świcie w partiach wejściowych, przy znacznie niższych wskaźnikach w ciągu dnia, mimo że fizyczna obecność nietoperzy występuje głównie w górnych salach. Jesienią, gdy w nocy notowano gwałtowny spadek temperatury, obserwowano, że nietoperze opuszczały jaskinię krótko przed zmierzchem w celu żerowania, po czym szybko powracały i pozostawały wewnątrz przez resztę nocy. Ich aktywność ograniczała się wówczas niemal wyłącznie do partii wejściowych, praktycznie zanikała w ciągu dnia i nocy. Prawdopodobnie wiązało się to z wykorzystaniem najcieplejszych godzin około zmierzchu, kiedy aktywność owadów – stanowiących pokarm nietoperzy – była najwyższa. Dodatkowe obserwacje wizualne potwierdziły użytkowanie przez nietoperze stałych partii jaskini do hibernacji, a także pozwoliły zidentyfikować kolonię rozrodczą o charakterze subfosylnym, co stanowi kolejne potwierdzenie istnienia w przeszłości innego otworu wejściowego niż obecnie znany. Pierwsze analizy temperatury wykazały różnice około 2°C między różnymi partiami jaskini, co może wskazywać na zróżnicowane wykorzystanie przestrzeni przez nietoperze w różnych porach roku, latem – w górnych partiach, zimą – w środkowych.

*Badania prowadzone dzięki wsparciu Federazione Speleologica Veneta (FSV) oraz licznych klubów speleologicznych z regionu Veneto we Włoszech, m. in. Gruppo Grotte Treviso, Gruppo Grotte Solve CAI Belluno, Gruppo Speleologico Padovano CAI.*

# Temperatury krystalizacji permskich kalcytowych wypełnień krasowych określone z zastosowaniem inkluzji fluidalnych

## Crystallization temperatures of Permian calcite karst fillings determined by fluid inclusions

Przemysław Sala[1,2], Yuri Dublyansky[3], Michał Gradziński[1], Anna Lewandowska[1], Mariusz Paszkowski[4]

[1]*Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Jagielloński, Kraków, Polska,*
[2]*Instytut Nauk o Ziemi i Środowisku, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Toruń, Polska,*
*e-mail: p.sala@umk.pl*
[3]*Institute of Geology, University of Innsbruck, Innsbruck, Austria,*
[4]*Instytut Nauk Geologicznych, Polska Akademia Nauk, Kraków, Polska*

Wapienie dewonu oraz karbonu dolnego występujące w rejonie Krakowa goszczą liczne formy paleokrasu. Dotychczasowe badania wykazały, że osady wypełniające pierwotne pustki krasowe charakteryzuje znaczne zróżnicowanie facjalne (Paszkowski & Wieczorek, 1982; Gradziński & Tyc, 2017). Szczegółowa analiza petrograficzna oraz geochemiczna tych osadów wykazała genetyczny związek form krasowych z post-waryscyjskim wulkanizmem i migracją wód o podwyższonej temperaturze zasobnych w $CO_2$. W celu uściślenia warunków krystalizacji kalcytów wypełniających formy paleokrasu przeprowadzono analizy temperatury homogenizacji ($T_h$) inkluzji fluidalnych.

Badania zostały przeprowadzone w oparciu o archiwalne próbki skalne pobrane w ramach projektu MNiSW „Permski kras antykliny Dębnika i jego związek z aktywnością magmową rejonu krakowskiego" w latach 2006–2008. Materiał do badań został pobrany z dwóch, aktualnie już nieistniejących, stanowisk w kamieniołomie w Czatkowicach oraz odsłonięć znajdujących się w Paczółtowicach, Dolinie Eliaszówki i Wąwozie Stradlina.

Profil osadów w pierwszym ze stanowisk z kamieniołomu w Czatkowicach tworzyły trzy odmiany facjalne kalcytów (por. Gradziński et al., 2007, Gradziński & Tyc, 2017). W spągu profilu występowały mlecznobiałe grubokrystaliczne kolumnowe kalcyty z przewarstwieniami zabarwionymi na czerwono. Minimalny zakres $T_h$ inkluzji określony dla trzech subpróbek zawierał się w przedziale 50–56°C. Powyżej w profilu obecne były grubokrystaliczne kalcyty o brązowej barwie zastępowane przez mlecznobiałe kalcyty z sporadycznymi czerwonymi laminami. Temperatury homogenizacji tych pierwszych zawierały się między 45 a 55°C, natomiast tych drugich w zakresie 56 a 62°C. W stropie profilu stwierdzono występowanie krystaloklastycznych wapieni czerwonej barwy cechujących się obecnością uziarnienia frakcjonalnego. Dwie subpróbki pochodzącego z tych wapieni wskazują na krystalizacje w zakresach temperatur 52–56°C oraz 64–70°C. Uzyskane rozbieżności są najprawdopodobniej związane z genezą tych osadów. Ich powstawanie jest najprawdopodobniej efektem niszczenia pierwotnych kryształów, które mogły powstawać w zróżnicowanych warunkach temperaturowych, a następnie ich transportem i powtórną cementacją. Podobnego typu osady zostały rozpoznane w obrębie permsko-triasowych wypełnień pustek krasowych występujących w dewońskich wapieniach Gór Świętokrzyskich (Urban, 2007). Drugą z kawern w kamieniołomie w Czatkowicach wypełniały grubokrystaliczne kalcyty barwy brązowej. Minimalny zakres $T_h$ inkluzji obecnych w tych osadach wyniósł 44–46°C.

Grubokrystaliczne kalcyty wypełniały również formy paleokrasu w Paczółtowicach. Rozkład $T_h$ inkluzji dla dwóch subpróbek był jednorodny i wskazuje, że krystalizacja kalcytu zachodziła najprawdopodobniej w przedziale temperatur między 50 a 54°C.

Dodatkowo przeprowadzono analizy kalcytów żyłowych pochodzących z Doliny Eliaszówki oraz Wąwozu Stradlina. Te pierwsze pokazały $T_h$ inkluzji w przedziale 60–70°C.

Wyższe temperatury niż w przypadku kalcytów wypełniających kawerny w Czatkowicach i Paczółtowicach mogą wynikać z głębszego położenia wypełnianych kalcytem szczelin stanowiących korzeniowe części permskiego systemu krasowego (Gradziński & Tyc, 2017). Dla kalcytu żyłowego z Wąwozu Stradlina przeprowadzone zostały analizy dla dwóch subpróbek. Pierwsza z nich pochodziła z grubokrystalicznego kalcytu mozaikowego. Analizy $T_h$ inkluzji tego kalcytu wskazują na krystalizację w przedziale 52–58°C. Druga z subpróbek pochodząca z drobnokrystalicznego kalcytu posiadała niższe $T_h$ inkluzji w przedziale 44–46°C. Zróżnicowanie $T_h$ w obrębie jednej próbki wskazuje na odrębne fazy krystalizacji kalcytu wypełniającego szczeliny.

*Badania sfinansowano z środków pozyskanych w ramach projektu NCN Miniatura (nr 2024/08/X/ST10/00530).*

## Literatura

Gradziński, M., Lewandowska, A., Paszkowski, M., Duliński, M., Żywiecki, M., Nawrocki, J., Krygier, J. & Litwinowicz R., 2007. Permski wulkanogeniczny kras antykliny Dębnika – wstępne wyniki badań. W: Stefaniak, K., Szelerewicz, M., & Urban, J. (eds), Materiały 41. Sympozjum Speleologicznego, Kletno, 18–21.10.2007. Sekcja Speleologiczna PTP, Kraków, 51.

Gradziński, M., & Tyc, A., 2017. Hypogene Speleogenesis in the Karst of Poland – regional review. W: Klimchouk et al. (eds), Hypogene Karst Regions and Caves of the World, 349–362.

Paszkowski, M., & Wieczorek, J., 1982. Fossil karst with Mesozoic bone breccia in Czatkowice (Cracow Upland, Poland). Kras i Speleologia, 4: 32–42.

Urban, J., 2007. Permian to Triassic paleokarst of the Świętokrzyskie (Holy Cross) Mts, Central Poland. Geologia, AGH im. Stanisława Staszica w Krakowie, 33: 5–50.

# Mikroteksturalny zapis na ziarnach kwarcu z jaskini Demianowskiej - dowód środkowoplejstoceńskich zlodowaceń w Niżnych Tatrach

## Microtextural record on quartz grains from the Demänová Cave – evidence of Middle Pleistocene glaciations in the Low Tatras

Dawid Siemek[1], Jacek Szczygieł[2], Piotr Kłapyta[1], Juraj Littva[3] Barbara Woronko[4]

*[1]Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, Kraków, Polska,*
*e-mail: dawid.siemek@doctoral.uj.edu.pl*
*[2] Instytut Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, Polska,*
*[3] State Nature Conservancy of Slovak Republic, Slovak Caves Administration, Liptovský Mikuláš, Slovakia,*
*[4]Katedra Geologii Klimatycznej, Uniwersytet Warszawski, Warszawa, Polska*

Środkowoplejstoceński zapis glacjalny, choć kluczowy dla rekonstrukcji klimatu czwartorzędu, jest zwykle fragmentaryczny, zwłaszcza w górach. W obszarach krasowych jednak, jaskinie są potencjalnym archiwum zdolnym zachowywać osady glacjalne długo po ich erozji na powierzchni. Celem naszych badań było zweryfikowanie przydatności analizy mikrotekstur ziaren kwarcu do identyfikacji osadów glacigenicznych w środowisku jaskiniowym jako nowego podejścia do poszukiwania śladów starszych zlodowaceń w górach.

Do analizy pobrano siedem próbek piasków i żwirów z Korytarza Prízemie w jaskini Demianowskiej, obejmujących osady zdeponowane w okresie od ok. 350 tys. lat do holocenu (Bella et al., 2021). Dodatkowo zebrano trzy próbki z powierzchni: z moreny czołowo-bocznej lodowca Široká, z osadów fluwioglacjalnych w leju krasowym oraz z regolitu na szczycie Ostredoka, poza zasięgiem lodowca LGM. Z każdej próbki wyseparowano co najmniej 100 ziaren kwarcu o frakcji 0,5-0,7 mm, z których 20 podlegało szczegółowej analizie skaningowym mikroskopem elektronowym, a pozostałe ziarna skanowano wyłącznie oględnie.

Analizy wykonane jak do tej pory dla ośmiu próbek wykazały obecność ziaren glacigenicznych we wszystkich próbkach poza próbką reperową z regolitu. Najwięcej takich ziaren, pięć, stwierdzono w osadach jaskiniowych odpowiadających maksimum ostatniego zlodowacenia oraz w ekwiwalentnych osadach powierzchniowych (morena LGM). Ziarna glacigeniczne charakteryzowały się dużą powierzchnią przeobrażoną przez nieregularną abrazję, sięgającą 350-400 µm, co stanowiło kluczowe kryterium odróżniające je od ziaren ze środowiska stokowego, gdzie abrazja była słabiej widoczna, a jej rozmiary osiągały maksymalnie 30–80 µm Szczególnie istotnym wynikiem było odkrycie ziaren glacigenicznych w osadach datowanych na ≥350 tys. lat, co potwierdza wcześniejsze hipotezy o co najmniej dwóch zlodowaceniach doliny Demianowskiej i wskazuje, że starsze zlodowacenie mogło mieć miejsce w czasie MIS 10 lub wcześniej. Ziarna glacigeniczne w młodszych osadach mogą być śladem procesów redepozycji lub kolejnych epizodów glacjalnych.

Uzyskane wyniki potwierdzają skuteczność zastosowanej metody w badaniach osadów jaskiniowych i otwierają możliwość poszukiwania zapisu starszych zlodowaceń również w innych masywach górskich, gdzie w jaskiniach zachowały się osady klastyczne.

### Literatura

Bella, P., Gradziński, M., Hercman, H., Leszczyński, S. & Nemec, W., 2021. Sedimentary anatomy and hydrological record of relic fluvial deposits in a karst cave conduit. Sedimentology, 68(1): 425-448.

# Pierwsze datowania szczątków roślinnych zdeponowanych w lodzie z jaskini Shpella Akullt w Alpach Albańskich, Albania

## First radiocarbon dating of vegetal remains deposited in ice from the Shpella Akullt cave in the Albanian Alps, Albania

Magdalena Słupińska[1], Natalia Piotrowska[2], Mariusz Polok[1]

[1]*Fundacja Speleologia Polska, Ostrów Kania, Polska,*
*e-mail: speleologiapolska@gmail.com*
[2]*Instytut Fizyki, Politechnika Śląska, Gliwice, Polska*

Jaskinia Shpella Akullt położona jest w Alpach Albańskich w masywie Maja Malgashit. Otwór jaskini znajduje się na wysokości 2182 m n.p.m. (42°25'33" N 019°55'10" E), w północnym zboczu Maja Malgashit (2319 m n.p.m.). Shpella Akullt stanowi typową jednootworową jaskinie lodową typu "*sag*" - worek, o głębokości 64,3 m. Biorąc pod uwagę propozycję klasyfikacji jaskiń lodowych według kryteriów klimatologicznych i charakterystykę glacjologiczną autorstwa Leutchera i Jeannina (Luetscher & Jeannin, 2004) jest to statyczna jaskinia z firnem i lodem powstałym z zamarzającej wody.

Lód w jaskini można obserwować od poziomu - 16,8 m do dna. Występuje on w formie bloku wieloletniego lodu utworzonego z warstw śniegu przekształconego w firn w dolnej części jaskini (od -64,3 m do -44,1 m), natomiast powyżej są to polewy lodowe i okresowe nacieki lodowe (*congeletion ice*). W wielu warstwach występuje materiał detrytyczny - fragmenty gałązek, igły, łuski z szyszek itp.

Jaskinia została odkryta w 2009 roku podczas wyprawy Speleoklubu AVEN, od 2021 jest obiektem obserwacji pod kątem badań klimatycznych i paleoklimatycznych w ramach "Projektu Valbona" realizowanego przez FSP. W latach 2022-23 zostały pobrane 23 rdzenie lodowe o średnicy 5 cm zawierające materiał organiczny. Po roztopieniu odwirowano z nich wodę i pyłki do badań palinologicznych, a fragmenty organiczne zostały przekazane do analizy radiowęglowej.

Próby zostały wydatowane w Laboratorium $^{14}C$ i Spektrometrii Mas Instytutu Fizyki - CND Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Przygotowanie próbek wykonano poddając je preparatyce ABA (*acid-base-acid*) w celu usunięcia potencjalnych zanieczyszczeń, a następnie poddano spalaniu, grafityzacji i analizie AMS, jak opisano w pracy Ustrzycka et al. (2024). Wyniki wskazujące na wiek po 1950 roku AD zgodnie z konwencją zaraportowane zostały w postaci $F^{14}C$. Daty radiowęglowe zostały poddane kalibracji za pomocą programu OxCal 4.4 (Bronk Ramsey 2009) z wykorzystaniem krzywej kalibracyjnej IntCal20 (Reimer et al., 2020) lub NHCal01 (Hua et al., 2020) w celu przeliczenia na lata kalendarzowe.

Z obserwacji wynika, że ilość lodu w Shpella Akullt zmieniała się w czasie, a datowanie szczątków organicznych pozwala określić okresy akumulacji i topienia się lodu oraz korelować je z zimnymi i ciepłymi okresami w holocenie. Jest to pierwsze datowanie szczątków roślinnych zachowanych w lodzie z Alp Albańskich, nie ma więc materiału porównawczego dla tego rejonu. Najbliżej położony opisany masyw to Velebit (Kern et al., 2018) jednak tendencje wydają się zgodne z podobnymi badaniami z Alp i Jury. W Sphella Akullt nie ma jednak prostej zależności wiek/głębokość znanej z wielu publikacji. Ze względu na zwężenie w środkowej części jaskini w różnych okresach dolna komora była odcinana, a uzyskane daty wskazują na początek poszczególnych okresów klimatycznych jak Średniowieczne Optimum Klimatyczne (MCA), Mała Epoka Lodowa (LIA) czy Rzymskie Optimum Klimatyczne.

Najstarsze fragmenty drewna (gałązki) pochodzą sprzed 3 tysięcy lat (3054 BP) - z zimnej epoki żelaza, najmłodsze to druga połowa XX wieku, które to daty można korelować ze zjawiskami tzw. "zim stulecia" np. rok 1985 czy 1962-63 (Qiriazi 2022). Rozpoczęte badania wnoszą nowe dane do rekonstrukcji paleoklimatycznych w tej części SE Europy i wymagają dodatkowych badań, szczególnie pakiet kilku warstw z okresu rzymskiego (2254 BP do 1833 BP), który jest rzadko reprezentowany w opisywanych stanowiskach z Alp.

*Autorzy pragną podziękować wszystkim uczestnikom wypraw organizowanych w ramach "Projekt Valbona", dzięki którym możliwe jest prowadzenie badań i pobieranie prób https://speleonews.pl/valbona/.*

## Literatura

Bronk Ramsey, C., 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1): 337-360.

Hua, Q., Turnbull, J. C., Santos, G. M., Rakowski, A. Z., Ancapichún, S., De Pol-Holz, R., Hammer, S., Lehman, S. J., Levin, I., Miller, J. B., Palmer, J. G., & Turney C. S. M. 2022. Atmospheric Radiocarbon For The Period 1950–2019. Radiocarbon, 64(4): 723-745 doi:10.1017/rdc.2021.95

Kern, Z., Bočić, N., & Sipos, Gy. 2018. Radiocarbon dated vegetal remains from the cave deposits of Velebit Mt., Croatia. Radiocarbon 60: 1391-1402.

Luetscher M., & Jeannin P.Y. 2004. A process-based classification of alpine ice caves. Theoretical and Applied Karstology, 17(2004): 5-10

Qiriazi, P. 2022. Climat. In: The Geography of Albania Problems and Perspectives. Springer, 81-92.

Reimer, P., Austin, W., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P., Bronk, Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R., Friedrich, M., Grootes, P., Guilderson, T., Hajdas, I., Heaton, T., Hogg, A., Hughen, K., Kromer, B., Manning, S., Muscheler, R., Palmer, J., Pearson, C., van der Plicht, J., Reimer, R., Richards, D., Scott, E., Southon, J., Turney, C., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhle, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A., & Talam, S. 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). Radiocarbon, 62.

Słupińska, M., & Polok, M. 2022. Mikroklimat jaskiń otoczenia doliny Valbony w Albanii - wstępne wyniki i perspektywy dalszych badań. Materiały 56. Sympozjum Speleologicznego, Podlesice, 13–16.10.2022. Sekcja Speleologiczna PTP im. Kopernika, Kraków, 87.

Ustrzycka, A., Piotrowska, N., Kłusek, M., Pawełczyk, F., Michczyńska, D. J., Michczyński, A., Kozioł, A., & Jędrzejowski M. 2024. Performance of the New MICADAS Spectrometer at the Radiocarbon and Mass Spectrometry Laboratory, Gliwice, Poland. Radiocarbon, 2024, 1–13. https://doi.org/10.1017/RDC.2024.126.

## *Wykład gościnny*

# Radionuklidy kosmogeniczne jako źródło informacji o ewolucji obszarów krasowych

### Cosmogenic radionuclides as indicators of karst landscape evolution

Artur Sobczyk[1,2]

*[1] Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław, Polska,*
*[2] Pracownia Radionuklidów Kosmogenicznych, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław, Polska,*
*e-mail: artur.sobczyk@uwr.edu.pl*

Rekonstrukcje ewolucji obszarów krasowych bazują w głównej mierze na korelacjach zachowanych systemów jaskiniowych z horyzontami rzeźby przetrwałymi na powierzchni terenu. Tradycyjne techniki kartowania geologicznego jaskiń dostarczają cennego materiału informacyjnego o genezie i ewolucji jaskiń, z kolei klasyczne metody datowania nacieków pozwalają na datowanie najmłodszych faz rozwoju jaskiń. Niestety na obszarach górskich duże natężenie procesów erozyjnych w plejstocenie skutkowało wielokrotną transformacją rzeźby i utratą informacji o wcześniejszych fazach ewolucji topografii. W tym zakresie radionuklidy kosmogeniczne umożliwiające datowanie skał w znacznie dłuższych skalach czasowych (zazwyczaj $10^4$ do $10^6$ lat) względem klasycznych metod datowania stosowanych w badaniach jaskiń (np. metoda U-Th), pozwalają na wypełnienie istniejącej dotychczas luki w rekonstrukcjach chronologii rozwoju jaskiń i obszarów krasowych.

Technika datowania radionuklidami kosmogenicznymi należy do grona klasycznych metod geochronologicznych, znajdując liczne zastosowania w rekonstrukcji wieku ekspozycji podłoża skalnego lub ilościowego wyznaczania tempa erozji i denudacji. Do najczęściej stosowanych izotopów w tej wersji metody należą beryl $^{10}Be$ i glin $^{26}Al$, których badania są sporadycznie uzupełniane analizami stabilnego izotopu neonu $^{21}Ne$. Rozdzielczość analityczna metody sięga do ok. 5 milionów dla pary $^{10}Be/^{26}Al$, a poprzez połączenie analizy ze stabilnymi izotopami neonu możliwe stają się datowania osadów o wieku dochodzącym nawet do kilkunastu milionów lat. Zastosowanie metody datowania radionuklidami kosmogenicznymi dla zasobnych w kwarc osadów jaskiniowych, a zwłaszcza dla ich starszej części, wymaga jednak zastosowania dodatkowej procedury redukcji uzyskanych wyników ze względu na szczątkowe ilości promieniowania kosmicznego docierającego pod ziemię pod postacią mionów. Efekt ten nabiera na znaczeniu przy analizie osadów starszych niż 2-3 mln lat, przy czym wraz ze wzrostem głębokości pod powierzchnią terenu produkcja izotopów kosmogenicznych w efekcie oddziaływania mionów spada niemal do zera (zazwyczaj ok. 50-70 m p.p.t.). Radionuklidy kosmogeniczne oznaczane dla osadów jaskiniowych pozwalają na dyskusję nad czasem i tempem pogłębiania dolin rzecznych oraz dynamiką procesów kształtujących systemy krasowe w plio-plejstocenie, co znacznie poszerza dotychczasową wiedzę o rozwoju rzeźby tych obszarów w późnym kenozoiku.

# Niesynchroniczność początku MIS 6 obserwowana w europejskich zapisach paleoklimatycznych z nacieków jaskiniowych

## Asynchrony of the onset of MIS 6 observed in European speleothem paleoclimate records

Jacek Stienss, Michał Gąsiorowski, Paula Sierpień, Daria Teodorek

*Instytut Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk, Warszawa, Polska,*
*e-mail: jacek.stienss@twarda.pan.pl*

Zapis izotopowy z nacieku jaskiniowego z jaskini Miniaturka (położonej blisko jaskini Niedźwiedziej) (Sudety) został skorelowany z zapisami globalnymi i innymi zapisami europejskimi w celu określenia rozkładów klimatycznych wzdłuż długości geograficznej podczas zlodowacenia Saale (MIS 8-6). Model wiek-głębokość wskazuje na ciągłą depozycję nacieków od około 250 tys. lat temu do maksymalnego ochłodzenia w czasie MIS 6 (stadiał Warty) około 140 tys. lat temu. Wartości kowariancji $\delta^{18}O$ i $\delta^{13}C$ sugerują, że zapis nie przeszedł testu Handyego, jednak ze względu na dobrą korelację z globalnym izotopowym profilem LR04 może być on nadal użyteczny w rekonstrukcjach klimatycznych. Zapis izotopowy wskazuje na łagodne warunki interglacjalne pomiędzy 250 a 225 tys. lat temu. Stosunkowo niskie wartości $\delta^{13}C$ sugerują intensywny rozwój roślinności leśnej w tym okresie. Około 225 tys. lat temu wzrost wartości $\delta^{13}C$ wskazuje na mniejszą aktywność roślinności, ale brak istotnej zmiany w $\delta^{18}O$ sugeruje raczej spadek opadów niż temperatury jako czynnik odpowiedzialny za tę zmianę. Zjawisko to można skorelować z MIS 7d, charakteryzującym się niższymi temperaturami w Europie. Przejście MIS 7–6, zaznaczone w Jaskini Miniaturka przez wzrost zarówno $\delta^{18}O$, jak i $\delta^{13}C$ (odpowiednio o 0,8 i 5 ‰), zostało datowane na 192–183 ± 5 tys. lat temu, co pozostaje w dobrej zgodności z czasem tego przejścia określonym dla alpejskiego zapisu z Jaskini Spannagel (197,1–191,4 ± 0,3 tys. lat temu) (Wendt et al., 2021). Z drugiej strony korelacja z zapisami z Tatr i Niżnych Tatr nie jest tak jednoznaczna i obserwuje się wyraźne przesunięcie zmian wartości izotopowych. Pokazuje to, że warunki klimatyczne w Sudetach pod koniec MIS 7 i w czasie MIS 6 były bardziej zbliżone do warunków Europy Zachodniej niż do regionów Europy Środkowej leżących w obrębie Karpat.

### Literatura

Wendt, K. A., Li, X., Edwards, R. L., Cheng, H., & Spötl, C.: Precise timing of MIS 7 substages from the Austrian Alps, Clim. Past, 17, 1443–1454. https://doi.org/10.5194/cp-17-1443-2021, 2021.

# Szczątki człowieka w jaskiniach Doliny Wodącej i Doliny Udorki

## Human remains in the caves of the Wodąca Valley and the Udorka Valley

Magdalena Sudoł-Procyk

*Instytut Archeologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Toruń, Polska,*
*e-mail: sudol@umk.pl*

Wśród jaskiń i schronisk Doliny Wodącej i Doliny Udorki (środkowa część Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej), na szczególną uwagę zasługują te stanowiska, na których zadokumentowano szczątki dawnych ludzi.

Najczęściej w jaskiniach znajdowane są inne pozostałości aktywności człowieka, a mianowicie: paleniska, narzędzia, ozdoby, naczynia czy też szczątki pokonsumpcyjne. Na podstawie kości człowieka możliwe jest określenie nie tylko jego tożsamości i historii, ale także pełniejsze zrozumienie kontekstu jego życia i środowiska, w którym mieszkał.

W dolinach Wodącej i Udorki podczas interdyscyplinarnych badań wykopaliskowych, zarejestrowano cztery stanowiska ze szczątkami człowieka, a mianowicie Schronisko w Dolinie Udorki I (Sudoł-Procyk et al., 2018), Schronisko w Smoleniu III (Krajcarz et al., 2020), Schronisko w Smoleniu IV oraz Schronisko nad Jaskinią Zegar (Krajcarz et al., 2012). Na podstawie datowań radiowęglowych oraz kontekstu znalezisk, zostały one wydatowane na okres neolitu, epoki brązu i średniowiecza.

W wystąpieniu zaprezentowane zostaną szczątki dawnych ludzi w kontekście innych źródeł archeologicznych i przyrodniczych. Przeanalizowane zostaną także uwarunkowania samych obiektów jaskiniowych. Pozwoli to na uchwycenie podobieństw i różnic w deponowaniu ciał na przestrzeni dziejów i określeniu funkcji samych stanowisk.

### Literatura

Krajcarz, M.T., Sudoł, M., Krajcarz, M., & Cyrek, K. 2012. Stanowisko późnoczwartorzędowych osadów jaskiniowych – Schronisko nad Jaskinią Zegar w Skałach Zegarowych (Wyżyna Częstochowska). Przegląd Geologiczny 60(10): 546-553.

Krajcarz, M.T., Szymanek, M., Krajcarz, M., Pereswiet-Soltan, A., Alexandrowicz, W.P., & Sudoł-Procyk, M. 2020. Shelter in Smoleń III – A unique example of stratified Holocene clastic cave sediments in Central Europe, lithostratigraphic stratotype and a record of regional paleoecology. PLoS ONE 15(2): e0228546.

Sudoł-Procyk, M., Krajcarz, M.T., Krajcarz, M., Wojenka, M., Tyc, A., & Mendecki, M., 2018. Schronisko w Dolinie Udorki I (gm. Wolbrom, woj. małopolskie). Wstępne wyniki badań oraz perspektywy na przyszłość. W: Czyżewski, Ł., Sudoł-Procyk, M., (red.) Materiały 52. Sympozjum Speleologicznego. Wydawnictwo UMK, Toruń, 78-80.

## *Wykład inauguracyjny*

# Jaskinie lodowe – relikt przeszłości? - współczesne badania jaskiń lodowych z perspektywy Tatr

### Ice Caves – Relics of the Past? Contemporary Research on Ice Caves from the Tatra Perspective

Witold Szczuciński[1], Jan Barabach[2], Michał Gradziński[3], Ditta Kicińska[1], Piotr Kicki[4], Stanisław Kuczma[4], Zuzanna Palińska[1], Grzegorz Rachlewicz[1], Anna Stasiewicz[1]

*[1] Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań, Polska,*
*e-mail: witek@amu.edu.pl*
*[2]Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Poznań, Polska,*
*[3] Uniwersytet Jagielloński, Kraków, Polska,*
*[4] Politechnika Poznańska, Poznań, Polska*

Czy jaskinie lodowe są jedynie reliktami przeszłości, czy też wciąż stanowią dynamiczne laboratoria natury i archiwa zmian środowiskowych? To pytanie towarzyszy badaczom od ponad stulecia. Jaskinie lodowe, definiowane jako jaskinie rozwinięte w skałach z trwale zalegającymi masami lodu, powstają dzięki specyficznym warunkom mikroklimatycznym i geometrii korytarzy. Występują w wielu pasmach górskich świata, także w masywach charakteryzujących się cieplejszym klimatem niż Tatry, które pozostają jedynym obszarem ich występowania w Polsce (Gradziński et al., 2018). W Tatrach, a szczególnie w Jaskini Lodowej w Ciemniaku, tradycja systematycznych badań naukowych sięga ponad stu lat – od pionierskich pomiarów braci Zwolińskich w latach 20. XX wieku po najnowsze obserwacje i analizy (Barabach et al., 2023).

Autorzy rozpoczęli prace nad jaskiniami lodowymi ponad ćwierć wieku temu, wychodząc od badań lodowców i adaptując podobne techniki do monitoringu Jaskini Lodowej w Ciemniaku, gdzie wykonano pierwsze systematyczne analizy bilansu masy lodu w powiązaniu ze zmianami klimatycznymi (Rachlewicz & Szczuciński, 2004). Proste metody geodezyjne do dziś stanowią podstawę wielu badań, jednak ostatnia dekada przyniosła gwałtowny rozkwit tej tematyki. Analiza bibliometryczna Barabacha i Stasiewicz (2025) wykazała, że liczba publikacji poświęconych jaskiniom lodowym wzrosła do kilkudziesięciu rocznie, obejmując szerokie spektrum zagadnień: od geochemii i mikrobiologii, poprzez wykorzystanie lodu jako archiwum zmian klimatycznych, aż po zastosowania w badaniach planetarnych i astrobiologii.

Współczesne badania w Tatrach koncentrują się przede wszystkim na Jaskini Lodowej w Ciemniaku, najlepiej rozpoznanym obiekcie tego typu w Polsce. Prowadzone są szczegółowe kartowania z użyciem nowoczesnych narzędzi, takich jak naziemne skanery laserowe, fotogrametria *structure-from-motion* czy autonomiczne roboty kroczące. Dynamicznie rozwija się również analiza ekosystemów jaskiń lodowych (m.in. z wykorzystaniem środowiskowego DNA) oraz badania resztek mas lodowych jako wskaźników zmian środowiskowych. Mimo postępu technologicznego, kluczowym warunkiem pozostaje fizyczny dostęp do wnętrza jaskini – powrót do tradycyjnej eksploracji nadal stanowi fundament zdobywania wiedzy o tym unikatowym środowisku.

### Literatura

Barabach, J., & Stasiewicz, A. 2025. Ice Caves as Emerging Research Objects of the Climate-Crisis Era. Permafrost and Periglac Processes, https://doi.org/10.1002/ppp.2288.

Barabach, J., Szczuciński, W., Kicińska, D., Palińska, Z., Rachlewicz, G., 2023. Jaskinia Lodowa w Ciemniaku (Ice Cave in Ciemniak), Western Tatra, Poland - over a century-long investigations of climate warming-caused degradation of subterranean ice mass. Geographia Polonica 96: 405-430. https://doi.org/10.7163/GPol.0262

Gradziński, M., Nowak, J., Rachlewicz, G., Siarzewki, W., Strug, K., & Szczuciński W., 2018. Ice Caves in Poland. In: Perşoiu, A. i Lauritzen, S.E., (eds.) Ice Caves. Elsevier, Amsterdam, 493-510.

Rachlewicz, G., & Szczuciński, W., 2004. Seasonal, Annual and Decadal Ice Mass Balance Changes in Jaskinia Lodowa w Ciemniaku, the Tatra Mountains, Poland. Theoretical and Applied Karstology 17: 11–18.

# Ile lat mają jaskinie Tatr? Wyniki datowania wieku pogrzebania osadów jaskiniowych radionuklidami kosmogenicznymi berylu ($^{10}Be$) i glinu ($^{26}Al$)

## How old are the caves in the Tatra Mountains? Results of burial age dating of cave sediments using cosmogenic nuclides $^{10}Be$ and $^{26}Al$

Jacek Szczygieł[1], Gregory D Hoke[2,3], Artur Sobczyk[3], Helena Hercman[4], Lee B. Corbett[5], Jason Drebber[5,6], Alan J. Hidy[7] & Paul R. Bierman[5]

*[1] Instytut Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, Polska,*
*e-mail: jacek.szczygiel@us.edu.pl*
*[2]Department of Earth and Environmental Sciences, Syracuse University, Syracuse NY, USA,*
*[3] Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław, Polska,*
*[4] Instytut Nauk Geologicznych, Polska Akademia Nauk, Warszawa, Polska,*
*[5] Rubenstein School of Natural Resources and the Environment, University of Vermont, Burlington, USA,*
*[6] Department of Geology and Geological Engineering, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, USA,*
*[7] Center for Accelerator Mass Spectrometry, Lawrence Livermore National Laboratory, California 94550, USA*

Chociaż lodowce pozostawiły trwały ślad w krajobrazach górskich, znaczenie erozji lodowcowej w skali globalnej pozostaje słabo rozpoznane, mimo ponad stu lat badań nad tempem i skalą erozji oraz transportem osadów. Aktualnie kluczowe wyzwanie w badaniach nad ewolucją rzeźby w plejstocenie w obszarach aktualnie, dawniej lub cyklicznie zlodowaconych stanowi ilościowe rozdzielnie udziału procesów glacjalnych i fluwialnych w transformacji rzeźby. Zadanie to znacznie utrudniają m.in. współczesne procesy stokowe, które zacierają długoterminowy zapis w formach i osadach. Zachowanie kopalnych poziomów bazy erozyjnej w obrębie zlewni krasowych w formie pięter jaskiniowych, przy jednoczesnej przebudowie dolin w warunkach glacjalnych, daje możliwość lepszego zrozumienia tych zjawisk. Wykorzystując allochtoniczne osady jaskiniowe jako markery dawnych horyzontów rzeźby na obszarach krasowych, możliwym jest wyznaczenie tempa i głębokości wcinania dolin. Uzyskane tą drogą dane dają możliwość określenia skali, tempa oraz genezy procesów erozyjnych kontrolujących rozwój dolin górskich Tatr w plio-plejstocenie.

W oparciu o parę izotopów kosmogenicznych $^{10}Be/^{26}Al$ przeanalizowaliśmy wieki pogrzebania dla 32 zasobnych w kwarc systemów paleofreatycznych w obrębie jaskiń tatrzańskich. Dla wszystkich uzyskanych oznaczeń kosmogenicznych wykonana została końcowa korekta wieku pogrzebania ze względu na głębokości stanowiska względem powierzchni terenu, w celu uwzględnienia roli mionów w produkcji radionuklidów. Uzyskane wyniki wskazują, że najwyżej położony (~1700-1800 m n.p.m.) i najstarszy poziom jaskiniowy L4 powstał jeszcze w pliocenie, przy czym uzyskane oznaczenia są na granicy rozdzielczości dla zastosowanej pary izotopowej. Poziom L3 (~1400-1500 m n.p.m.) został wydatowany na środkowy pliocen: 3,53 (+1,33/−0,42) i 3,65 (+2,74/−0,44) Ma. Jaskinie poziomu L2 (~1300 m n.p.m.) powstały pomiędzy 2,11 (+0,24/−0,18) a 1,98 (+0,39/−0,25) Ma, a system L1 (~1100 m n.p.m.) około 1,67 (+0,23/−0,18) Ma temu. Z kolei osady z aktywnych korytarzy epifreatycznych (L0) datowane są na 0,69 (+0,19/−0,18) i 0,69 (+0,19/−0,17) Ma, a piaski rzeczne na poziomie współczesnego dna doliny na 0,24 (+0,16/−0,11) Ma. Wyznaczone tempo paleoerozji mieści się w zakresie 0,04 ±0,01 do 0,47 ±0,28 mm/rok, ze średnią ~0,12 ±0,09 mm/rok. Wykonane uzupełniające datowania kosmogeniczne dla współczesnych rzek z obszaru Tatr wskazują z kolei na tempo erozji na poziomie 0,13–0,20 mm/rok.

Uzyskane wyniki umożliwiły po raz pierwszy kwantyfikację tempa i określenie chronologii pogłębiania dolin tatrzańskich w okresie od pliocenu do holocenu. Wyniki datowania osadów jaskiniowych metodą radionuklidów kosmogenicznych $^{10}Be/^{26}Al$ wskazują, że około 90% obecnej rzeźby dolin tatrzańskich była ukształtowana już w środkowym plejstocenie około 1,6 mln lat temu, a więc przed zmianą cyklu orbitalnego z 41 na 100 ka. Obliczone tempo paleoerozji wskazuje na niewielkie zmiany dynamiki procesów warunkujących depozycję osadów

w jaskiniach tatrzańskich w ciągu ostatnich kilku milionów lat. Nasze wyniki wskazują, że erozja glacjalna nie była głównym czynnikiem odpowiedzialnym za pogłębianie dolin w Tatrach oraz prawdopodobnie w innych pasmach górskich strefy umiarkowanej (40-60°N) i w zakresie wysokościowym 1000–2300 m n.p.m. Nasze badania sugerują, że za wzrost globalnej dostawy osadów lądowych do oceanu światowego na przestrzeni ostatnich 5 milionów lat odpowiadała przede wszystkim erozja fluwialna, kontrolowana przez nasilające się oscylacje klimatyczne.

*Badania były finansowane z projektów Narodowego Centrum Nauki nr 2019/35/B/ST10/00588 oraz grantu 2016/21/B/ST10/01483.*

# Hipogeniczny kras w trawertynach Mulapampa i wysokogórski kras w ewaporatach formacji Ashua, Andy Środkowe (Peru)

## Hypogenic karst in the Mulapampa travertines and high-mountain karst in the Ashua Formation evaporites, Central Andes (Peru)

Andrzej Tyc[1], Krzysztof Gaidzik[1], Melvin Benavente[2]

[1]*Wydział Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, Polska,*
*e-mail: andrzej.tyc@us.edu.pl*
[2]*National University of Saint Augustine, Arequipa, Peru*

W Peru znanych jest aktualnie nieco ponad 700 jaskiń, z których jedynie 30 przekracza 1 km długości, a 14 ma głębokość większą niż 200 m (Guyot & Apaestegui, 2022; http://cuevasdelperu.org). Większość obszarów krasowych i jaskiń zlokalizowana jest w północnej części kraju, na amazońskich stokach Andów (region Amazonia, San Martin i Cajamarca). Skały węglanowe wieku kredowego zajmują jednak ok. 13% powierzchni peruwiańskich Andów, występując w dwóch wąskich pasach tektonicznych o długości ponad 2000 km (Evans 2015). Ze względu na położenie geodynamiczne oraz rozległy późnomioceński magmatyzm, Andy są regionem potencjalnie licznych przejawów krasu hipogenicznego. Klimchouk et al. (2022, 2023) udokumentowali przykłady takiego krasu związanego z dużymi złożami rud metali w wysokich Andach peruwiańskich.

Choć skały węglanowe występują również w regionie Arequipa, w Kordylierze Zachodniej Andów Środkowych (południowe Peru), do niedawna nie kojarzono tego obszaru z krasem. Jest on natomiast znany z intensywnej aktywności sejsmicznej (Gaidzik & Więsek, 2021; Woszczycka et al., 2024), wulkanicznej i hydrotermalnej oraz z obecności głębokiego kanionu rzeki Colca (m.in. Tyc et al., 2022). Do niedawna znanych tu było jedynie kilka małych jaskiń niekrasowych (o długości do 50 m), głównie stanowisk archeologicznych ze śladami sztuki naskalnej (http://cuevasdelperu.org). Pierwsze doniesienia o jaskiniach i krasie węglanowym w regionie Arequipa pojawiły się dzięki badaniom polskich naukowców prowadzonym w okolicach miejscowości Huambo w basenie rzeki Colca (Tyc et al., 2018, 2022, 2024). Na południe od Huambo odsłaniają się kredowe skały węglanowe i ewaporaty należące do zachodniego pasa tych skał w peruwiańskich Andach (formacje Arcurquina i Ashua). Znaczna część ich kompleksu przykryta jest grubą pokrywą czwartorzędowych hydrotermalnych trawertynów Mulapampa. Spektakularnym przejawem zjawisk krasowych tego obszaru są duże leje zapadliskowe rozwinięte w trawertynach, określane lokalnie mianem *hutco*. Mają one od 10 do ponad 130 m średnicy i od kilkunastu do ponad 40 m głębokości (Tyc et al., 2018).

Podczas badań terenowych prowadzonych w obrębie tych lejów udokumentowano trzy jaskinie, z których dwie były wcześniej znane lokalnej społeczności, a trzecia została odkryta w trakcie prac. Nazwy Gruta con Lago, Gruta Campana i Gruta Lechuza nadano im po konsultacji z mieszkańcami Huambo. Ich otwory wejściowe znajdują się w lejach zapadliskowych, odpowiednio na wysokości 3447, 3463 i 3856 m n.p.m., a głębokość jaskiń wynosi odpowiednio 38, 40 i 85 m. Ich morfologia jest zdominowana przez blokowiska trawertynów związane z zawaleniem stropu i powstaniem lejów zapadliskowych. Pomimo braku typowych cech morfologicznych, takich jak formy korozyjne na ścianach, rozwój jaskiń w trawertynach Mupalampa można powiązać ze specyficznym typem krasu hipogenicznego –speleogenezą w obecności kwasu siarkowego (*sulphuric acid speleogenesis* – SAS, w ujęciu Palmer 2013, De Waele et al., 2016, 2024). W Gruta con Lago, a w mniejszym stopniu w dwóch pozostałych jaskiniach, zidentyfikowano mineralogiczne i geochemiczne przejawy tej speleogenezy (Tyc i in. 2024). Na dnach jaskiń, na poziomie współczesnego zwierciadła wody, występują znaczne nagromadzenia osadów gipsowych, a na ścianach miejscami również naskorupienia gipsowe (*replacement gypsum crust*), uważane za produkty uboczne SAS. Gipsy te charakteryzują się ujemnym składem izotopowym siarki (w zakresie od -19,4 do -8,2‰) i tlenu (w zakresie od

-9,0 do -1,3‰), co wskazuje na ich genezę związaną z utlenianiem siarczków, w tym $H_2S$ rozpuszczonego w wodzie (Tyc et al., 2024).

Dotychczasowe wyniki badań sugerują, że rozpoznane przejawy SAS w jaskiniach są jednym z późnych etapów rozwoju krasu hipogenicznego, obejmującego wcześniejsze fazy SAS zarówno w kredowych wapieniach formacji Arcurquina, jak i trawertynach Mulapampa. Istotne rolę w formowaniu się grubej pokrywy trawertynów hydrotermalnych oraz rozwoju krasu odegrała czwartorzędowa aktywność kompleksu wulkanicznego Ampato-Sabancaya (ASVC) i regionalne aktywne uskoki. Kilkusetmetrowej miąższości kompleks skał węglanowych spoczywa nad rozległą komorą magmową, w obrębie aktywnego do dziś systemu geotermalnego (Boixart et al., 2020; Tyc et al., 2022).

Choć osady gipsowe w jaskiniach w trawertynach Mulapampa mają związek z procesami speleogenetycznymi (SAS), to w okolicach Huambo odsłaniają się również ewaporaty, w tym gipsy górnokredowej formacji Ashua. Na wysoko położonym płaskowyżu Los Altos (4150–4200 m n.p.m.), na północno-zachodnim skraju odsłonięcia tej formacji, rozwinięty jest interesujący kras gipsowy. Najbardziej charakterystycznymi jego formami są płytkie zagłębienia o charakterze lejów korozyjnych. W największym z nich okresowo tworzy się jezioro, jest ono częściowo wypełnione czerwonymi zwietrzelinami nanoszonymi w porze deszczowej. Na nachylonych powierzchniach odsłoniętych gipsów formacji Ashua znajdują się liczne pola żłobków krasowych.

*Badania są finansowane z projektu Narodowego Centrum Nauki nr 2020/39/B/ST10/00042 oraz Instytutu Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach.*

## Literatura

Boixart, G., Cruz, L.F., Miranda Cruz, R., Euillades, P.A., Euillades, L.D., & Battaglia M. 2020. Source model for Sabancaya volcano constrained by DInSAR and GNSS surface deformation observation. Remote Sensing, 12(11): 1852.

De Waele, J., Audra, P., Madonia, G., Vattano, M., Plan, L., D'Angeli, I.M., Bigot, J.-Y., & Nobécourt, J.-C., 2016. Sulfuric acid speleogenesis (SAS) close to the water table: Examples from southern France, Austria and Sicily. Geomorphology, 253: 452–467.

De Waele, J., D'Angeli, I. M., Audra, P., Plan, L., & Palmer, A.N. 2024. Sulfuric acid caves of the world: A review. Earth-Science Reviews, 250, 104693.

Evans, D. 2015. Hydrogeological risks of mining in mountainous Karstic Terrain: lessons learned in the Peruvian Andes. In: Andreo, B., (ed.), Hydrogeological and Environmental Investigations in Karst Systems, Environmental Earth Sciences. 1. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg,
465-475.

Gaidzik, K., & Więsek, M. 2021. Seismo-lineaments and potentially seismogenic faults in the overriding plate of the Nazca-South American subduction zone (S Peru). Journal of South American Earth Sciences, 109, 103303.

Guyot, J.L., & Apaestegui, J. 2022. Histoire et bilan des explorations spéléologiques au Pérou. Proceeding of the 18th International Congress of Speleology, Savoie Mont-Blanc, Vol. II, Karstologia Mémories 22, Caving and explorations, 93-96.

Klimchouk, A., Milanovic, S., & Bittencourt C. 2022. Hypogene karst associated with igneous intrusions and its influence on the subsequent karst evolution in high mountains (Central Andes, Peru). Proceeding of the 18th International Congress of Speleology, Savoie Mont-Blanc, Vol. IV, Karstologia Mémories 24, Geomorphology, 193-196.

Klimchouk, A., Evans, D., Milanovic, S., Bittencourt, C., Sanchez, M., & Aguirre, F. C. 2023. Hypogene speleogenesis related to porphyry magmatic intrusions and its influence on subsequent karst evolution in the Peruvian high Andes. Geomorphology, 420, 108488.

Palmer, A.N., 2013. Sulfuric acid caves. In: Frumkin, A., Schroeder J., (eds.), Treatise on Geomorphology. Elsevier, 241–257.

Tyc, A., Gaidzik, K., Żaba, J., Paulo, A., & Ciesielczuk, J. 2018. Jaskinie i leje zapadliskowe w trawertynach Huambo (Zachodnia Kordyliera, Andy, Peru) - uwagi genetyczne.

W: Czyżewski, Ł., Sudoł-Procyk, M., (red.), Materiały 52. Sympozjum Speleologicznego, 11-14.10.2018, Toruń, pp. 85-86.

Tyc, A., Gaidzik, K., Ciesielczuk, J., Masías, P., Paul,o A., Postawa, A., & Żaba, J., 2022. Thermal springs and active fault network of the central Colca River basin, Western Cordillera, Peru. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 424, 107513.

Tyc, A., Gaidzik, K., Ciesielczuk, J., & Wątor, K. 2024. Manifestations of sulfuric acid speleogenesis in the Mulapampa travertine, Central Andes of Peru: evidence from the Gruta con Lago. International Journal of Speleology, 53(2): 235-251.

Woszczycka, M., Gaidzik, K., Anccasi Figueroa, R. M., Mendecki, M., & Benavente, C. 2024. Unraveling the complex interplay: exploring the relationships between seismic and volcanic activities in the Colca River area using the Coulomb Stress Transfer. Seismological Research Letters, 95(4): 2464-2484.

http://cuevasdelperu.org

# Pseudokrasowe formy rzeźby chronione prawnie w regionie Ponta Grossa (Parana, południowa Brazylia)

## Pseudokarst landforms legally protected in the Ponta Grossa region (Parana, southern Brazil)

Jan Urban[1], Karin Linette Hornes[2]

[1] *Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków, Polska,*
*e-mail: jurban@iop.krakow.pl*
[2] *State University of Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brazil*

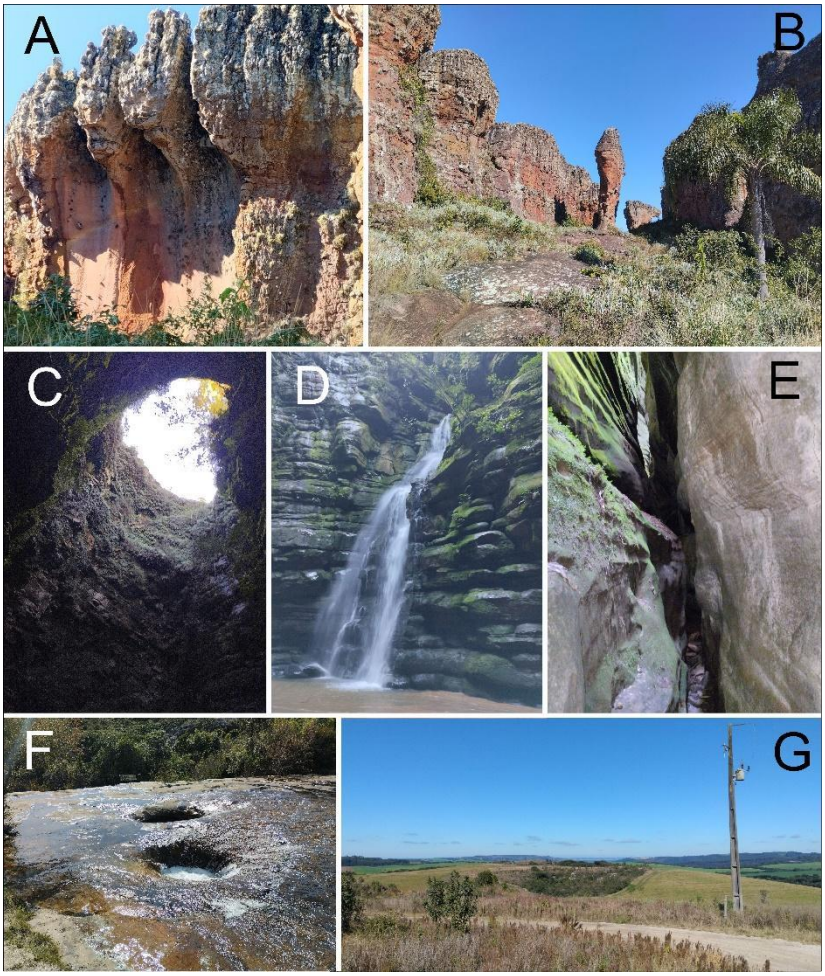
Okolice miejscowości Ponta Grossa, położonej około 100 km na północny zachód (WNW) od Kurytyby, stolicy brazylijskiego stanu Parana, stanowią w sensie geologicznym wschodnią część rozległego basenu parańskiego. We wschodnim skrzydle tego basenu mają rozległą wychodnię skały osadowe młodszego paleozoiku, których wykształcenie decyduje o interesującej rzeźbie tego obszaru. Leżą one na skałach krystalicznych (metamorficznych lub magmowych) z pogranicza proterozoiku i paleozoiku, reprezentujących grupę Castro lub grupę Itaiacoca. W starszym, dewońskim kompleksie utworów młodopaleozoicznych, definiowanym jako grupa Parana, wyróżnia się dwie formacje: starszą formację Furnas, zbudowaną z piaskowców z podrzędnym udziałem mułowców, iłowców i zlepieńców, oraz młodszą, głównie mułowcową formacją Ponta Grossa. Piaskowce formacji Furnas cechują się dużym zróżnicowaniem uziarnienia oraz zmiennym składem mineralnym spoiwa (niekiedy ilastego), co decyduje o ich różnej odporności na erozję i wietrzenie. Utwory tej formacji tworzyły się w środowiskach wysokoenergetycznych, głównie płytkomorskich. Wyżej w profilu geologicznym i po przerwie sedymentacyjnej występują utwory górnokarbońsko-dolnopermskie grupy Itararé, związane genetycznie z obecnością lądolodów, które od wschodu, północy i zachodu wkraczały na ten obszar. Są to osady bezpośrednio lodowcowe, często jednak przemyte w warunkach rzek, jeziorzysk i prawdopodobnie płytkich mórz. Taka ich geneza powoduje, iż są one bardzo zróżnicowane facjalnie, wykształcone jako piaskowce, z licznymi jednak seriami (przerostami) diamiktytów, rzadszymi zaś – mułowców oraz iłowców (Eyles et al., 1993; Santos et al., 1996; Milani et al., 2007; Holz et al., 2010; Rosa et al., 2016).

Piaskowce młodopaleozoiczne tworzą bardzo spektakularne formy rzeźby: zespoły skałek, szczeliny, studnie i zagłębienia (zapadliska) skalne oraz wodospady. Stąd też wiele obszarów o takiej rzeźbie objęte jest ochroną prawną i zwykle udostępnione do zwiedzania. Obszary te były przedmiotem wycieczki poprzedzającej 19. Międzynarodowy Kongres Speleologiczny w lipcu 2025 r., w której uczestniczyli autorzy. Poniżej przedstawiono krótkie charakterystyki zwiedzanych, chronionych i udostępnionych turystycznie obszarów.

Najciekawszym krajobrazowo elementem Parque Estadual Vila Velha (parku stanowego odpowiadającego naszemu parkowi krajobrazowemu) jest twardzielcowy płaskowyż (*inselberg, monadnock*) zbudowany z poziomo zalegających piaskowców formacji Campo Mourão środkowej części grupy Itararé (Eyles et al., 1993; de Melo et al., 2004; Piekarz et al.). Piaskowce, zwane piaskowcami Vila Velha, mają miąższość około 100 m i bardzo zróżnicowane wykształcenie strukturalne, w tym frakcjonalne uziarnienie normalne (turbidyty) i odwrotne, warstwowanie przekątne i równoległe, warstwowanie ripplemarkowe w różnej skali itd. (Vesely et al., 2007). Piaskowcowy płaskowyż obcięty jest nieregularnym klifem o wysokości 20-30 m, który przechodzi w „ruinowy" zespół skałek (ryc. 1 A, B). Ściany skalne mają bardzo charakterystyczny kształt: górna ich część tworzy twardsze, wietrzeniowo zmineralizowane nawisy osłaniające niższe ściany, które z kolei pocięte są szerokimi i głębokimi rynnami. Płaskowyż rozcięty jest kilkoma wyraźnymi spękaniami, nie ma jednak śladów grawitacyjno-odprężeniowego rozsuwania się pokrywy skalnej. W parku tym turystów wozi się także do dwu zapadliskowych zagłębień wypełnionych wodą. Głębsze z nich ma głębokość (do zwierciadła wody) około 100 m i strome, miejscami skalne ściany, zaś w jego wodach żyje endemiczny gatunek ryb. Zagłębienia

te, jak również 12 innych podobnych form występujących w okolicy, wykształcone są w piaskowcach dewońskiej formacji Furnas.

W południowej części parku narodowego Parque Nacional dos Campos Gerais, położonego bezpośrednio na północ od terenu opisanego powyżej, największą atrakcją turystyczną jest stanowisko o nazwie Buraco do Padre (Studnia Ojców, bowiem według tradycji ojcowie jezuici modlili się w tym miejscu wraz z Indianami) – naturalna studnia o średnicy 45 m i głębokości 40 m, wyrzeźbiona w piaskowcach formacji Furnas, w którą wpada spory potok (ryc. 1 C, D) (https://buracodopadre.com.br/). W obrębie tego samego stoku z progami i stołami skalnymi pokazywana jest turystom także wietrzeniowo-erozyjna (bez śladu procesów grawitacyjnych) szczelina skalna o długości około 300 m i głębokości kilkudziesięciu metrówy (ryc. 1 E).




Ryc. 1. Formy rzeźby piaskowców regionu Ponta Grossa omawiane w tekście: A, B – klif piaskowców Vila Velha; C, D – studnia z wodospadem w Buraco do Padre; E – szczelina wietrzeniowo-erozyjna w Buraco do Padre; F – studnie w skalnym korycie potoku w Estadual do Guartelá; G – duże zapadlisko na wysoczyźnie Refúgio das Curucacas (fot. J. Urban).

W tym samym parku narodowym, nieco na północ od Buraco do Padre, jeszcze większe zdumienie wzbudza zespół czterech zapadlisk o kilkusetmetrowych średnicach i kilkudziesięciometrowych głębokościach (ryc. 1 G; największy lej ma średnicę 410 m i głębokość 72 m), występujący na wysoczyźnie Refúgio das Curucacas (obok miejscowości Passo do Pupo), która jest działem wód pomiędzy dwoma schodzącymi się kilka kilometrów poniżej tego miejsca rzekami (i jednocześnie dolinami) (https://refugiodascurucacas.com.br). Dna tych zapadlisk, pokryte piaskiem ze zwietrzeliny piaskowców, są suche i nawet po dużych opadach nie są wypełniane wodą, która szybko zanika.

Studnie stanowiące podziemne przepływy wody, jednak o znacznie mniejszej średnicy niż w Buraco do Padre, rzędu 1-2 m i głębokości kilku metrów (ryc. 1 F), zobaczyliśmy w korycie dopływu rzeki Iapó w Parque Estadual do Guartelá, w północno-zachodniej części regionu Ponta Grossa (http://www.unb.br/ig/sigep/sitio094/sitio094.htm). Tu też powierzchnie piaskowcowego klifu skalnego cechowały się obecnością nawisów i rynien. Główną atrakcją tego

parku, do której prowadziły ścieżki turystyczne, jest jednak głęboka dolina rzeki Iapó zwana kanionem Guartelá. Kanion ten rozcina kilka formacji skalnych, w tym wkładkę (dajkę) diabazów, docierając na dnie do magmowych i piroklastycznych skał grupy Castro.

Geneza opisanych wyżej form rzeźby – skałek i zapadlisk – warunkowana jest zarówno cechami litologicznymi skał, jak i czynnikami denudacyjnymi działającymi tu w czwartorzędzie. Podstawową cechą warunkującą „bogatą" rzeźbę karbońskich piaskowców Vila Velha wydaje się ich zróżnicowanie strukturalne: różne i zmienne uziarnienie oraz spoiwo, stosunkowo wysoka, zróżnicowana porowatość i generalnie brak wyraźnego katetalnego ciosu, czyli rzadkie spękanie. Podobne cechy litologiczne obserwuje się w dewońskich, płytkomorskich piaskowcach formacji Furnas: zróżnicowane uziarnienie i spoiwo, przekątne i faliste warstwowanie oraz rzadkie spękania. W warunkach stosunkowo wilgotnego, bogatego w opady, ale ciepłego (pozbawionego procesów mrozowych) klimatu czwartorzędu nie dochodziło w tych skałach do rozwoju systemu szczelin ciosowych, erozji wzdłuż tego systemu oraz konsekwentnych procesów grawitacyjnych (takich jakie rozwijają się w warunkach umiarkowanego i peryglacjalnego klimatu środkowej Europy, np. w Górach Stołowych). Choć lokalnie dochodziło do wietrzenia i erozji szczelinowej (przykładem jest turystyczna szczelina w Buraco do Padre), to przepływ wód miał i ma nadal charakter przede wszystkim porowy i – nawet koncentrując się wzdłuż rzadkich szczelin – powoduje powstawanie owalnych form denudacyjnych: studni wietrzeniowo-erozyjnych, jak również lejów zapadliskowych w miejscach zapadania się stropów poziomych kanałów podziemnych. W procesach denudacyjnych ma udział rozpuszczanie krzemionki, ale także rozkład chemiczny i mechaniczny ilastego lub ilasto-żelazistego spoiwa, a następnie erozyjne wymywanie ziarn kwarcowych. Tak więc w terminologii proponowanej przez Panoša (2001) zespół procesów prowadzących do powstawania zapadlisk, szczelin i skałek należałoby nazwać klastokrasem.

## Literatura

Eyles, C.H., Eyles, N., & França A.B. 1993. Glaciation and tectonics in an active intracratonic basin: the Late Palaeozoic Itararé Group, Paraná Basin, Brazil. Sedimentology 40: 1-25.

Holz, M., França, A.B., Souza, P.A., Iannuzzi, R., & Rohn, R. 2010. A stratigraphic chart of the Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil, South America. Journal of South American Earth Sciences, 29(2): 381-399.

de Melo, M.S., Godoy, C., Meneguzzo, P.M., & Pereira, da Silva D.J. 2004. A geologia no plano de manejo do Parque Estadual de Vila Velha, PR. Revista Brasileira de Geosciências 34, 4: 561-570.

Milani, E.J., Melo, J.H.G., Souza, P.A., & França, A.B. 2007. Bacia do Parana. Boletim de Geociencias da Petrobrás, 15: 265-287.

Piekarz, G.F., Guimarães, G.B., & Fernandes, L.A. (bez daty). Geology of Parana-Vila Velha. Dokument internetowy PDF: parqueestadualdevilavelha_ingles-1.pdf.

Panoš, V. 2001. Karstologická a speleologická terminlogie. Knižné Centrum, Žilina.

Rosa, E.L.M., Vesely, F.F., & França A.B. 2016. A review on late Paleozoic ice-related erosional landforms in the Paraná Basin: origin and paleogeographical implications. Brazilian Journal of Geology, 46(2): 147-166.

Santos, P.R., Rocha Campos, A.C., & Canuto, J.R. 1996. Patterns of late Palaeozoic deglaciation in the Paraná Basin, Brazil', Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 125(1-4): 165-84.

Vesely, F.F., Rostirolla, S.P., Appi, C.J., & Kraft, R.P. 2007. Late Paleozoic glacially related sandstone reservoirs in the Paraná Basin, Brazil', AAPG Bulletin, 91(2): 151-160.

https://buracodopadre.com.br/

https://refugiodascurucacas.com.br

http://www.unb.br/ig/sigep/sitio094/sitio094.htm

# 19. Międzynarodowy Kongres Speleologiczny, Belo Horizonte, Brazylia 2025 – wrażenia subiektywne

## 19th International Speleological Congress, Belo Horizonte, Brazil 2025 – subjective impressions

Jan Urban[1], Andrzej Tyc[2]

[1] *Sekcja Speleologiczna Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika, Kraków, Polska, e-mail: urban@iop.krakow.pl*
[2] *Wydział Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Śląski w Katowicach, Sosnowiec, Polska*

19. Międzynarodowy Kongres Speleologiczny (MKS) odbył się w dniach 20-27 lipca 2025 r. Wszystkie wydarzenia miały miejsce w centrum kongresowym BeFly Minascentro w Belo Horizonte, stolicy stanu Minas Gerais w Brazylii. Kongresy speleologiczne organizowane są co cztery lata w różnych miejscach naszego globu przez narodowe organizacje speleologiczne pod egidą Międzynarodowej Unii Speleologicznej (International Union of Speleology – UIS). Tym razem organizatorem było Brazylijskie Towarzystwo Speleologiczne (SBE) oraz brazylijskie Narodowe Centrum Badań i Ochrony Jaskiń (ICMBio/CECAV), a 19. MKS był połączony z 38. Brazylijskim Kongresem Speleologicznym. Kongresy speleologiczne są najważniejszymi międzynarodowymi spotkaniami zainteresowanych eksploracją oraz badaniami jaskiń i krasu, które gromadzą setki uczestników z całego świata. W tegorocznym kongresie uczestniczyło ponad 1200 osób z niemal 60 krajów, w tym ponad połowa z Brazylii i USA.

Kongres w Brazylii, podobnie jak wcześniejsze kongresy, był wydarzeniem wielowymiarowym. W ciągu tygodniowej imprezy odbyły się zarówno sesje plenarne z wykładami zaproszonych gości, sesje referatowe i posterowe, ale również wystawy artystyczne i naukowe, konkurs fotograficzny i kartograficzny, salon sztuki, pokazy filmowe i 3D, zawody sportowe w technikach jaskiniowych (*Speleolympics*), ale też speleologiczny jarmark, wycieczki rodzinne. Czynne było też *Speleokids*, czyli przedszkole dla dzieci uczestników Kongresu (szczegóły na https://speleo2025.org).

Istotnym elementem programu były wykłady plenarne, wygłaszane codziennie, zwykle o 11:00, w audytorium mieszczącym większość uczestników, przez uznane autorytety. Dwaj pierwsi wykładowcy, profesorowie Kyung Sik Woo (Korea Południowa) i Paul Williams (Nowa Zelandia) przedstawili globalne aspekty ochrony form i zjawisk krasowych. Pierwszy z nich nakreślił możliwości takiej ochrony w ramach trzech światowych programów: Listy Światowego Dziedzictwa UNESCO, Światowych Geoparków UNESCO oraz Kluczowych Stanowisk Geodziedzictwa (*Key Geoheritage Areas*) realizowanego przez Międzynarodową Unię Ochrony Przyrody (IUCN). Drugi z wykładów dotyczył zagadnień reprezentatywności typów zjawisk i obszarów krasowych w ochronie przyrody w ujęciu geograficznym. Ochrony bioróżnorodności jaskiń dedykowany był wykład Stefano Mammola (Włochy). Z kolei Hazel Barton (USA), pokazała jak badania mikrobiologiczne prowadzone w jaskiniach mogą przyczynić się do rozwiązania problemów współczesnego świata: ograniczaniu emisji dwutlenku węgla do atmosfery, biodegradacji plastiku oraz ... poszukiwań życia w kosmosie. Wykłady: Andy Evisa (Wlk. Brytania) dotyczący eksploracji i dokumentacji największych jaskiń na świecie oraz Robbie Schmittnera (Niemcy) prezentujący wyniki wieloletniej eksploracji systemów jaskiniowych na Jukatanie w Meksyku, dopełniły naukowo-eksploracyjny charakter sesji plenarnych Kongresu w Brazylii.

Dominującym elementem Kongresu były (tradycyjnie) sesje referatowe i posterowe w ramach działających w UIS komisji problemowych. Odbywały się one według ściśle zaplanowanego programu, równolegle w kilku salach konferencyjnych, które na czas Kongresu przyjęły nazwy od nazwisk znanych, nieżyjących badaczy jaskiń i krasu (m.in. B. Géze, A. Eraso, A. Cigna, H. Trimmel). Zaprezentowano i pokazano około 570 (!) referatów i posterów w ramach następujących sesji tematycznych: 1) historii speleologii i różnych dziedzin sztuki związanej z jaskiniami, 2) archeologii, 3) paleontologii, 4) mineralogii i badań osadów jaskiniowych, 5) geochronologii, paleoklimatologii i zmian klimatu, 6) geomorfologii krasu, 7) hydrologii

i speleogenezy, 8) ochrony i zagospodarowania jaskiń oraz obszarów krasowych, 9) eksploracji jaskiń, 10) ratownictwa jaskiniowego, 11) jaskiń antropogenicznych, 12) pseudokrasu i nietradycyjnego krasu, 13) jaskiń wulkanicznych, 14) klimatologii, 15) specjalnych tematów powiązanych z jaskiniami, 16) podziemnej biologii. W uzupełnieniu tych sesji przygotowano 10 tematycznych sympozjów, dedykowanych wybranym zagadnieniom badań i eksploracji jaskiń. Kilkustronicowe artykuły będące abstraktami prezentowanych referatów oraz posterów zostały tradycyjnie opublikowane w materiałach kongresowych. „Proceedings of the 19th International Congress of Speleology" obejmują siedem tomów tych materiałów opublikowanych w wersji papierowej i cyfrowej (https://uis-speleo.org/index.php/proceedings-of-the-international-congress-of-speleology-ics).

Kongresowi towarzyszyły przed- i pokongresowe wycieczki przeprowadzane w różnych regionach Brazylii – od równikowej Amazonii po daleko na południe wysuniętą Paranę. W czasie trwania kongresu tradycyjnie odbyła się jednodniowa wycieczka, która pozwoliła uczestnikom poznać przyrodę, kulturę i historię, a często też jaskinie stanu Minas Gerais.

Warto zaznaczyć, że tegoroczny Kongres Speleologiczny odbywał się w 60 rocznicę powstania Międzynarodowej Unii Speleologicznej. Z okazji jubileuszu, oprócz wielkiego bankietu i tortu na tysiąc osób, wydana została monografia "Sixty years of the UIS". Okoliczności powstawania monografii oraz jej sygnalne egzemplarze przedstawił jej główny autor, były prezydent UIS i senior speleologii brazylijskiej, Jose A. Labegalini. Codzienne, wieczorne spotkania towarzyskie i przyjęcia, dedykowane różnym okazjom towarzyszącym Kongresowi sprzyjały kontaktom międzynarodowym i doskonałej atmosferze w trakcie całego wydarzenia. Pomimo drobnych niedociągnięć organizacyjnych, rozmachem i właśnie serdeczną, radosną atmosferą, organizatorzy 19. Międzynarodowego Kongresu Speleologicznego postawili wysoko poprzeczkę przed kolejnymi spotkaniami tego typu.

Kongresy speleologiczne mają już ustaloną tradycją strukturę i przebieg: trwają tydzień, a ich ramy stanowią dwa posiedzenia Zgromadzenia Ogólnego UIS – pierwsze, jeszcze przed oficjalnym otwarciem i drugie, już po oficjalnym zamknięciu Kongresu. W sesjach Zgromadzenia Ogólnego uczestniczą funkcyjni członkowie UIS, w tym przewodniczący komisji działających w tej organizacji oraz przedstawiciele narodowych organizacji speleologicznych należących do tej organizacji (obecnie 59 organizacji) i tylko oni uczestniczą w głosowaniach. Pierwszy z autorów tego sprawozdania uczestniczył w obu posiedzeniach jako przewodniczący Komisji Pseudokrasowej UIS i jednocześnie delegat polskiej organizacji speleologicznej, którą jest Polski Związek Alpinizmu.

Podczas posiedzeń Zgromadzenia Ogólnego UIS rozpatruje się i zatwierdza sprawozdania oraz plany, wybiera się władze UIS, przyjmuje "nowe" kraje członkowskie (w tym roku Irlandię i Czarnogórę), dyskutuje się zgłoszone problemy i ewentualnie przegłosowuje wynikające z nich wnioski. Podczas poprzedniego Kongresu przedmiotem gorącej debaty było zawieszenie członkostwa w UIS organizacji rosyjskiej. Tym razem spokojniejsza dyskusja ogniskowała się wokół ustanowienia Dnia Jaskiń i Krasu, który obchodzony byłby corocznie 13 września. Ustanowiono go w ramach UIS w głosowaniu, mając jednak nadzieję, że rangę tego dnia wyznaczy UNESCO podczas sesji, które odbędą się tej jesieni. Zmieniono także w głosowaniu zasady honorowania wybitnych badaczy jaskiń i krasu, ustanawiając Medale UIS dla aktywnych badaczy oraz seniorów, które przyznawane będą podczas kongresów speleologicznych. Ważnym przegłosowanym dokumentem są zasady gwarantujące równość, różnorodność oraz wspólnotę działań UIS (*Guidelines for Equality, Diversity and Inclusion*). Okazały się one od razu ważne w kontekście wniosków zgłoszonych przez reprezentantkę Meksyku i reprezentanta Wenezueli: oboje apelowali, by przyjeżdżające do nich ekipy prowadzące eksplorację lub badania naukowe jaskiń, robiły to w porozumieniu z miejscowymi organizacjami speleologicznymi, zgodnie z etyką pracy naukowej oraz poszanowaniem praw i tradycji społeczności lokalnych.

Bardzo ważnym elementem obu posiedzeń był wybór miejsca następnego kongresu w 2029 r. Z dwu propozycji: Birmingham w Wielkiej Brytanii i Cluj-Napoca w Rumunii, w tajnym głosowaniu wybrano tę drugą opcję. Dziękując za ten wybór, przyszły główny organizator, Bogdan Onac zapewnił, że kongres w Rumunii „nie będzie gorszy niż ten w Brazylii". Wybory zarządu i biura UIS nie wzbudziły tym razem dużych emocji, bowiem na większość stanowisk byli

pojedynczy kandydaci. Prezydentem UIS został wybrany Zdenek Motyčka z Czech, który w poprzednich dwu kadencjach sprawował funkcję zastępcy przewodniczącego do spraw administracyjnych. Pełny skład zarządu i biura UIS na kadencję 2025-2029 można znaleźć na: https://uis-speleo.org/index.php/the-uis-bureau-for-2022-2025.

Niestety, podobnie jak w poprzednich kongresach, Polacy stanowili jedynie maleńki ułamek uczestników Kongresu. Nie licząc polonusów z Ameryki i Australii, na Kongresie była zaledwie czwórka polskich uczestników. Prezentowali oni materiały naukowe w postaci referatów i posteru, jednak generalnie nasz wkład w działania Międzynarodowej Unii Speleologicznej jest prawie niewidoczny. Jest on znacznie mniejszy niż rzeczywista aktywność eksploracyjna polskich grotołazów oraz dorobek polskich badaczy jaskiń i krasu. Generalnie, brak jest polskich speleologów w aktywnych organach międzynarodowych organizacji, takich jak UIS, czy Europejska Federacja Speleologiczna (FSE). Dobrze byłoby zmienić tę sytuację.

## *Wykład inauguracyjny*

# Ludzie paleolitu w jaskiniach Tatr i okolic

### Paleolithic people in the caves of the Tatra Mountains and surrounding areas

Paweł Valde-Nowak[1], Katarzyna Kerneder-Gubała[2], Magda Kowal[1], Julia Kościuk-Załupka[1], Anna Kraszewska[1], Kamil Makuła[1], Adam Nadachowski[3], Jakub Skłucki[1], Marian Sojak[4]

*[1] Instytut Archeologii, Uniwersytet Jagielloński, Kraków, Polska,*
*e-mail: p.valde-nowak@uj.edu.pl*
*[2] Ośrodek Archeologii Gór i Wyżyn, Instytut Archeologii i Etnologii PAN, Kraków, Polska*
*[3] Instytut Systematyki i Ewolucji Zwierząt PAN, Kraków, Polska,*
*[4] Archeologicky ústav SAV v Nitre, Spišská Nová Ves*

Obszar Kotliny Orawsko-Nowotarskiej w procesie rozpoznawania najstarszego osadnictwa Karpat Zachodnich odgrywa od lat specyficzną rolę. Ta rozległa śródgórska kotlina, położona daleko od znanych pradziejowych centrów kulturotwórczych, wydawała się bardzo późno zajętym wariantem strefy osadniczej, zarówno w epoce kamienia, jak też w kolejnych epokach pradziejów. Postęp badań archeologicznych pozwala dziś na wskazanie licznych dowodów obecności człowieka prehistorycznego na Podhalu i w wielu innych regionach karpackich, ostatecznie zaprzeczając dawnym poglądom o pustkach osadniczych.

Jeden z poglądów, który wpływał na wykluczenie ekumeny karpackiej jako możliwej do zasiedlenia przez grupy ludzkie z epoki kamienia, było zaprzeczanie możliwości wykorzystywania miejscowych skał krzemionkowych do wyrobu ostrzy broni i narzędzi. Przede wszystkim chodzi tu o złoża radiolarytu, łatwo dostępne na obszarze polskiego odcinka Pienińskiego Pasa Skalicowego od Maruszyny, Starego Bystrego po okolice Szczawnicy (Valde-Nowak & Kerneder-Gubała 2019). Wiele lat temu uznano, że warstwy radiolarytu pienińskiego są potrzaskane tektonicznie, co miało spowodować, iż konkrecje tej skały nie mogły być przydatne do obróbki przez człowieka prehistorycznego (Kowalski & Kozłowski 1959). Spotykane wówczas na obszarach na północ od Karpat w różnych kontekstach paleolitycznych pojedyncze artefakty z radiolarytu łączono z odległymi częściami Pienińskiego Pasa Skałkowego w dorzeczu Wagu na terenie dzisiejszej Słowacji, eliminując teren pienińsko-podhalański jako rezerwuar surowcowy, z którego radiolaryt mógł jednak pochodzić. Pogląd ten wpisywał się w przekonanie o nieatrakcyjnych dla ludzi epoki kamienia obszarach Kotliny Orawsko-Nowotarskiej.

W ramach przygotowań do weryfikacji tego rodzaju poglądów doszło jesienią 1976 roku do akcji zbierania w Pieninach prób radiolarytu dla planowanych badań mineralogiczno-geochemicznych. Właśnie wtedy u wylotu Wąwozu Sobczańskiego nastąpiło zebranie pierwszych artefaktów paleolitycznych w Sromowcach Niżnych. Badania laboratoryjne próbek radiolarytu faktycznie odbyły się niedługo później w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (Kozłowski et al., 1981). Zarówno ich wyniki, jak też rozszerzenie studiów petroarcheologicznych na obszarach zachodniokarpackich pozwoliły po latach wykreować karpacką prowincję surowcową ludności posługującej się ostrzami z miejscowych, a nie importowanych z dużych odległości skał krzemionkowych, takich jak właśnie radiolaryt pieniński, ale też inne skały, jak czarny rogowiec menilitowy, rogowiec mikuszowicki, margiel krzemionkowy dynowski i krzemień z Birczy (Valde-Nowak 2013).

Okazało się więc, że zamiast braku surowców do wytwarzania ostrzy mamy do czynienia w całych Polskich Karpatach Zachodnich z surowcowym bogactwem łatwo dostępnych złóż. Na podstawie wielu przesłanek możemy już do wspomnianej karpackiej prowincji surowcowej włączyć też złoża radiolarytów tatrzańskich (Kerneder-Gubała 2024).

W następnych latach podjęte zostały w Sromowcach Niżnych pierwsze prace wykopaliskowe. Zapoczątkowało to serię dalszych podobnych odkryć, dokonanych w kilku miejscowościach Podhala: Podczerwone, Koniówka, Orawy: Lipnica Wielka, Jabłonka, Dział i Pienin: Sromowce Wyżne-Kąty. Kolejnym wydarzeniem, zmieniającym poglądy na archeologiczny potencjał Kotliny Orawsko-Nowotarskiej, było odkrycie w Nowej Białej w lecie 1985 roku Jaskini w Obłazowej, jako miejsca pobytu różnych grup neandertalskich i wczesnego Homo sapiens (Valde-Nowak et al., 2003).

Kolejne kampanie wykopaliskowe, które objęły zarówno obozowisko otwarte u podnóża Obłazowej Skały, nazwane Nowa Biała, stan. 1, jak też Jaskinię w Obłazowej, określoną w ewidencji konserwatorskiej jako Nowa Biała, stan. 2 z roku na rok powiększały zasób informacji o najwcześniejszym osadnictwie Podhala i kontekście paleośrodowiskowym (Łanczont et al. 2019).

Trwające do dziś badania tej stosunkowo niedużej jaskini pokazały z jak ogromnym potencjałem do badań osadnictwa ze starszej epoki kamienia w Kotlinie Orawsko- Nowotarskiej i całych Polskich Karpatach mamy do czynienia. Wymienione wyżej odkrycie Jaskini w Obłazowej jako wielowarstwowego stanowiska archeologicznego pokazało, że obszar Podhala należał do ekumeny człowieka neandertalskiego i wczesnego Homo sapiens. Znali oni miejscowe wychodnie radiolarytów i eksploatowali złoża tej skały krzemionkowej na dużą skalę, wykonując z nich narzędzia i broń. Co ciekawe w blisko siedmiometrowym profilu osadów Jaskini w Obłazowej zachowane są ślady różnych grup neandertalskich z czasu ostatniego zlodowacenia.

Osadnictwo człowieka anatomicznie współczesnego, Homo sapiens, zachowane jest w Obłazowej w postaci przedmiotów typowych dla kultury oryniackiej i młodszej od niej kultury magdaleńskiej. Zajmująca pośrednie chronologicznie miejsce pomiędzy nimi kultura grawecka być może też była tu obecna, jak uważano na krótko po pierwszych sezonach badawczych, jednak dziś jej aktywność wydaje się słabo udokumentowana. Możliwe, że jej ślady są nałożone na zasadzie palimpsestu na pozostałości starszej od niej kultury oryniackiej.

Zarówno w środkowo- jak też górnopaleolitycznych warstwach Obłazowej zachowały się liczne szczątki zwierząt, w tym nosorożca włochatego, mamuta, lwa jaskiniowego i hieny jaskiniowej (Nadachowski et al., 2015). Innym ważnym i równie zaskakującym odkryciem ostatnich lat, uzupełniającym obraz osadnictwa późnoplejstoceńskiego w strefie pienińsko-podhalańskiej, było rozpoznanie obozowiska myśliwych wspomnianej już kultury magdaleńskiej w Jaskini Hučiva diera w Słowacji w Tatrach Bielskich, a więc bardzo blisko polskiej granicy. W zbadanych pozostałościach po dużym ognisku zostały znalezione radiolarytowe i krzemienne groty, kościane igły, fragmenty kamiennej lampki-kaganka, ozdoby z muszli, a także kości upolowanych zwierząt, w tym koziorożca alpejskiego, dziś nieobecnego w Tatrach. Chronologię odkrytych reliktów określono przy pomocy metody radiowęglowej na 12 200 lat p.n.e. Jest to dotychczas jedyna tatrzańska jaskinia, w której uchwycono ślady osadnictwa ludzi z epoki lodowcowej.

Pomimo podjętych ostatnio prób nie udało się rozpoznać podobnych śladów w dwóch jaskiniach po polskiej stronie masywu tatrzańskiego: Jaskini Obłazkowej i Dziurze (Valde- Nowak 2024; Valde-Nowak et al., 2024a). Sedymenty tych obiektów uległy przed laty dewastacji. Wraz z Jaskinią Magury (Jura 1955) mamy więc w Polskich Tatrach trzy obiekty jaskiniowe poddane eksploracji archeologicznej. Na podstawie jej wyników trudno definitywnie zająć stanowisko na temat perspektyw dalszych badań archeologicznych jaskiń w tej części masywu Tatr. Zarówno Obłazkowa, jak też Dziura są łatwo dostępne i dlatego właśnie tu można było się spodziewać dawnych śladów osadniczych. Obie groty mają przestronne komory, mogły więc stanowić stosunkowo dogodne miejsce dla osadnictwa.

Na dzień dzisiejszy należy przyjąć, że program powojennego udostępniania Tatr dla ruchu turystycznego, a także rozpoczęte jeszcze w okresie międzywojennym przedłużanie korytarzy przez grotołazów, doprowadziły do bezpowrotnego zniszczenia namulisk w wielu jaskiniach, jak wiadomo, stanowiących wyjątkowy depozyt paleośrodowiskowy (Wilczyński & Wojenka 2024). Powstałym podczas takiej działalności gruzowo-gliniastym materiałem z hałd stabilizowano ścieżki dojścia do jaskiń i tworzono wygodne tarasy przed wejściem do grot. Tej działalności,

realizowanej przez braci Stefana i Tadeusza Zwolińskich, wiele miejsca w ostatnim tomie rocznika Wierchy poświęcił Z. J. Wójcik (2024).

*Tekst powstał w ramach realizacji projektu grantowego finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki „Człowiek epoki kamienia w jaskiniach Tatr", nr 2021/41/B/HS3/03217. Autorzy składają podziękowanie wszystkim wykonawcom projektu.*

**Literatura**

Jura, A. 1955. Grota Magury w Tatrach (1460 m), najwyżej położona siedziba człowieka epoki lodowej, Światowit, 21: 81-124.

Kerneder-Gubała, K. 2024. Siliceous rocks of the Polish part of the Tatra Mountains. Potential source of raw materials for the Stone Age communities. Preliminary report, Acta Archaeologica Carpathica, 59: 41-65.

Kowalski, S., Kozłowski, J. K.1959. O użytkowaniu jaspisu w epipaleolicie Polski południowej, Materiały Archeologiczne, 1: 7–12.

Kozłowski, J., K., Manecki, A., Rydlewski, J., Valde-Nowak, P., & Wrzak, J., 1981. Mineralogico-geochemical Characteristic of Radiolarites used in the Stone Age in Poland and Slovakia, Acta Archaeologica Carpathica 21: 171-210.

Łanczont, M., Madeyska, T., Hołuba, B., Komar, M., Mroczek, P., Standzikowski, K., Valde- Nowak, P., Kraszewska, A., Cieśla, M., & Skłucki, J. 2019. Late Glacial environment and human settlement of the Central Western Carpathians: A case study of the Nowa Biała 1 open-air site (Podhale Region, southern Poland), Quaternary International, 512: 113-132.

Nadachowski, A., Krajcarz, M., Krajcarz, M.T., Madeyska, T., Ridush, B., Valde-Nowak, P., Wojtal, P., & Zarzecka-Szubińska, K., 2015. Fauna kręgowców z wybranych stanowisk strefy pery- i metakarpackiej w młodszym plejstocenie. W: Łanczont, M., Madeyska T., (red.). Paleolityczna ekumena strefy pery- i metakarpackiej. UMCS, Lublin, 597-642.

Valde-Nowak, P., 2013. The North-Carpathians province of silica rocks during Stone Age. In: Z. Mester (ed.) The lithic raw material sources and interregional human contacts in the Northern Carpathian regions, Kraków-Budapest. Polish Academy of Arts and Sciences Institute of Archaeological Sciences of the Eötvös Loránd University, 87-97.

Valde-Nowak, P., 2024. Archeologiczne badania sondażowe w Jaskini Obłazkowej w Tatrach, Wierchy, 88 (za 2022): 235-239.

Valde-Nowak, P., & Kerneder-Gubała, K. 2019. Mapping the Radiolarite Outcrops as Potential Source of Raw Material in the Stone Age: Characterisation of Polish Part of the Pieniny Klippen Belt. In: H. Collete, A. Hauzener (eds.) Anthropologica and Preahistorica 128/2017, Special Theme: Mining and Quarrying. Geological Characterisation, Knapping Processes and Distribution Networks during Pre- and Protohistoric Times, 157-174.

Valde-Nowak, P., Kerneder-Gubała, K., Kowal, M., Kościuk-Załupka, J., Kraszewska, A., Makuła, K., & Skłucki J. 2024a. Archaeological research of three caves in the Tatra Mountainsin 2019-2023, Acta Archaeologica Carpathica 59: 11-40.

Valde-Nowak, P., Kerneder-Gubała, K., Kowal, M., Kraszewska, A., & Skłucki J. 2024. The problem of cave settlement in the Tatra Mountains massif. Case study of the Obłazkowa Cave. In: Nemergut, A., Novák, M., (eds.) Solving Stone Age puzzles: From artefacts and sites towards archaeological interpretations, Czech Academy of Sciences, Institute of Archaeology, Brno, The Dolní Věstonice Studies 26, Brno, 89-94.

Valde-Nowak, P., Nadachowski A., & Madeyska T. (eds.) 2003. Obłazowa Cave. Human activity, stratigraphy and palaeoenvironment, Kraków.

Wilczyński, J., & Wojenka, M. 2024. Potencjał, zagrożenia i ochrona najstarszych śladów archeologicznych i paleontologicznych. W: A. Marciniak, A., Zalewska, A. I., Cyngot, D.,

Iwaniszewski S., Kowalewska-Marszałek, H., & Stepniowski, F. M., (eds.) Leksykon terminów archeologicznych, Poznań, Warszawa, Łódź, Kraków, 456-460.

Wójcik W. 2024. Stefan Zwoliński – legenda speleologii tatrzańskiej dwudziestego stulecia, Wierchy 88 (za 2022), 157-170.

# Jaskinia Pod Wielką Kopą (Słowacja)

## The Cave under Vel'ka Kopa, Slovakia

Weronika Zagórska[1], Michał Gradziński[1], Peter Holúbek[2], Katarzyna Maj-Szeliga[1], Michał Skiba[1], Wojciech Wróblewski[1]

*[1]Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Jagielloński, Kraków, Polska,*
*e-mail: weronika.zagorska@student.uj.edu.pl*
*[2] Slovenské muzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Liptovský Mikkuláš, Slovakia*

Jaskinia Pod Wielką Kopą (Słowacja, Jaskyňa pod Vel'kou Kopou (JpVK)) znajduje się w górnej części doliny Haňová w słowackiej części Tatr Zachodnich. Wypełnienie jaskini stanowi (nietypowy dla jaskiń tatrzańskich) luźny, bezwęglanowy materiał barwy białej, miejscami kremowej lub zielonkawej składający się w głównej mierze z frakcji ilastej i piaszczystej. Zgodnie z najlepszą wiedzą autorki niniejszego opracowania, materiał ten jak do tej pory nie był przedmiotem szczegółowych badań mineralogicznych, choć w przeszłości był eksploatowany przez miejscową ludność i wykorzystywany do bielenia chat (Holúbek inf. ustna).

Celem niniejszych badań była charakterystyka mineralogiczna, a także określenie genezy osadów wypełniających JpVK.

W trakcie badań terenowych w JpVK w badanym osadzie stwierdzono oprócz frakcji iłu i piasku występowanie większych fragmentów potrzaskanych i zargilizowanych skał krystalicznych, a także do kilkucentymetrowych ostrokrawędzistych ziaren kwarcu. W skałach węglanowych stropu i spągu jaskini zaobserwowano liczne lustra tektoniczne. Do dalszych badań laboratoryjnych pobrano próbki osadów odsłoniętych w 129 cm wkopie w spągu jaskini, a także ww. okruchy skał krystalicznych i kwarcu oraz skały węglanowe zarówno ze stropu jak i spągu jaskini. Dla wszystkich pobranych próbek przeprowadzono szczegółową analizę mineralogiczną z wykorzystaniem dyfraktometrii rentgenowskiej (XRD). W celu precyzyjnej identyfikacji minerałów ilastych, z próbek osadów wydzielono dwie subfrakcje granulometryczne: <0,2 μm oraz 0,2 – 2 μm. Z wybranych próbek sporządzono płytki cienkie do obserwacji w mikroskopie optycznym. Uzyskane wyniki wykazały, że dominującymi składnikami mineralnymi osadów są smektyt, mika, chloryt i kwarc. Taki zestaw minerałów jest charakterystyczny dla kieszeni ilastych, rozwiniętych w obrębie stref ścinania trzonu krystalicznego Tatr (Kuligiewicz et al., 2022). Także obserwacje płytek cienkich wykazały obecność w badanym materiale silnie zdeformowanego kwarcu, a w skałach stropu i spągu licznych żyłek kalcytowych. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, iż JpVK powstała na skutek procesów tektonicznych (w strefie nasunięcia pomiędzy dwoma jednostkami skał osadowych) natomiast materiał wypełniający jaskinię to skataklazowane i zargilizowane skały najprawdopodobniej należące do trzonu krystalicznego Tatr.

### Literatura

Kuligiewicz, A., Skiba, M., Szczerba, M., Hall C.M. & Bakowska, D., 2022. Extraction of $^{40}$Ar-$^{39}$Ar ages from a multicomponent mixture: a case study from the Tatra Mountains, Poland. Clays and Clay Minerals, 70: 1-19.