

Znikający świat jaskiń lodowych

Jan Barabach¹, Ditta Kicińska²



J. Barabach



D. Kicińska

The vanishing world of ice caves. *Prz. Geol.*, 74: 132–142; doi: 10.7306/2026.12

Redaktor prowadzący: Mirosław Błaszkiwicz

Abstract. Ice caves are extremely valuable environments that can also be charming and fascinating for visitors. For this reason, they have been the target of exploration, entertainment, and even religious worship for centuries. The growing perennial ice in the caves serves as an archive in which biotic and abiotic elements are deposited, providing evidence of the changes occurring in both the cave's environment and its surroundings. However, the unique world of ice caves is one of the most sensitive ecosystems in the era of climate change. Independent research conducted in dozens of ice caves in the Northern Hemisphere indicates that, despite their high degree of isolation from external conditions, underground ice is rapidly disappearing due to

advancing climate warming. This process has intensified over the past few decades. As a result, there has been growing interest in ice caves among scientists from a wide range of disciplines – from geologists and biologists to astrophysicists, who view ice caves as analogs of potential underground ice formations on Mars. Despite increasingly intensive research, ice caves remain one of the least understood elements of the cryosphere.

Keywords: iced cave, cryosphere, speleology, climate change, palaeoecological archive

Jaskinie lodowe są jednym z ciekawszych zjawisk przyrody nieożywionej. Tysiące jaskiń na półkuli północnej jest wypełnionych lodowymi stalaktytami, stalagmitami, kolumnami, polewami czy innymi formami lodowymi, jak również śniegiem i/lub firnem, które utrzymują się przez cały rok. Jest to uwarunkowane: 1) położeniem tych jaskiń w strefie klimatycznej, gdzie średnia roczna temperatura oscyluje w okolicach 0°C, 2) układem korytarzy i kształtem ich wnętrza, co wpływa na przechłodzenie jaskiń w okresie zimowym i możliwość utrzymania niskich temperatur w okresie letnim oraz 3) ilością opadów atmosferycznych. Jaskinie mogą powstawać również bezpośrednio w lodowcu czy lądolodzie i są nazywane są jaskiniami lodowcowymi – *glacier caves*, choć czasami błędnie są też określane jaskiniami lodowymi (niniejszy artykuł nie dotyczy tego typu jaskiń).

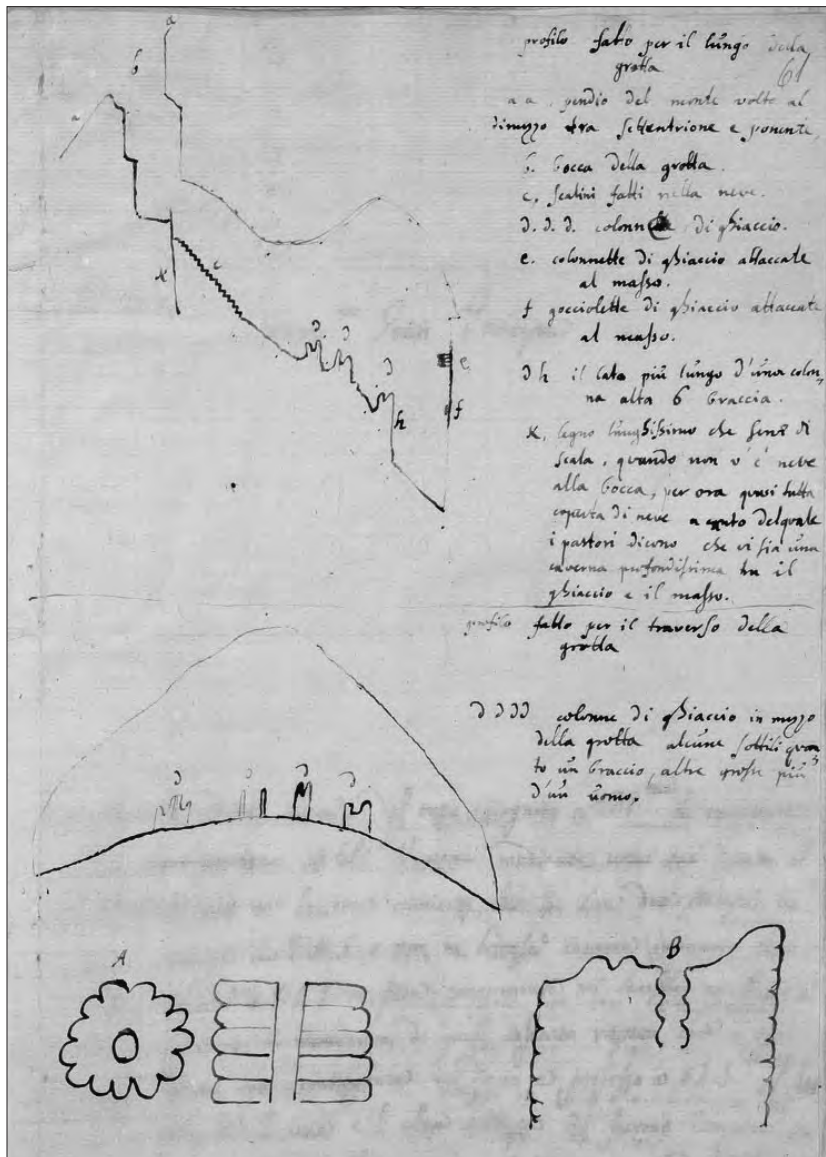
Jaskinie lodowe są najmniej poznanym elementem kriosfery (Mavlyudov, 2017; Perşoiu, Lauritzen, 2017). Rzeczywista liczba jaskiń lodowych na świecie nie jest znana. Poszczególne państwa prowadzą katastry/spisy/inwentarze o różnym stopniu szczegółowości, tym bardziej dotyczy to jaskiń lodowych. Państwa, które podają konkretne lub przybliżone liczby jaskiń lodowych, to m.in. Włochy – 1600 (Maggi i in., 2017), Austria – 1200 (Spötl i in., 2017), Słowenia – 551 (Mihevc, 2017) czy Polska – 45 (<https://jaskiniepolski.pgi.gov.pl/>). W państwach alpejskich, Kanadzie, USA, Rosji krajach Azji Środkowej, Indiach, Iranie, Turcji, Mongolii, Chinach i Japonii badane są poszczególne jaskinie lodowe, jednak ich liczba jest nieznana, co wskazuje na fakt, że skala rozpoznania lodu jaskiniowego jest niewielka (Higham, Palmer, 2017; Kadetskaya, Mavlyudov, 2017; Yonge i in., 2017). Do 2020 r. udokumentowano zaledwie 23 odwierty wykonane w lodzie

jaskiniowym o łącznej długości ok. 141 m, średnio ok. 6 m na rdzeń (Kern, Perşoiu, 2022), co świadczy o niewielkiej liczbie takich badań.

Jaskinie lodowe były obiektem zainteresowania naukowego już od XVII w. Z tego okresu pochodzą opisy i ryciny z alpejskich jaskiń lodowych autorstwa Nicolausa Steno (ryc. 1) – pioniera światowej stratygrafii (Kardel, Maquet, 2018). Ówczesne prace miały jednak charakter bardziej opisowy i teoretyczny niż ma to miejsce współcześnie. To samo dotyczyło ilustracji, które często w odniesieniu do jaskiń bazowały nie tylko na doświadczeniach empirycznych kartografa, ale również na jego wyobrażeniu o rzeczywistości podziemnego świata (Mattes, 2022). Rozwój nowoczesnego, naukowego podejścia do badań jaskiń datuje się na XIX w. (Balch, 1897; Meyer, 2017), przy czym liczba prac dotyczących tego typu obiektów do końca XX w. była stosunkowo niewielka. Zainteresowanie badaniem jaskiń lodowych wyraźnie wzrosło natomiast w przeciągu ostatnich dwóch dekad. Uwidacznia się to w badaniach bibliometrycznych w postaci samej liczby publikacji (w bazie Scopus figurują zaledwie 294 prace opublikowane między 1875 a 2023 r.; 86% prac została napisana w XXI w.), jak również w jej tematycznym zróżnicowaniu (Barabach, Stasiewicz, 2025). Analiza scientometryczna wskazuje na coraz szersze zainteresowanie tymi obiektami nie tylko wśród speleologów i geologów (Belmonte-Ribas i in., 2014; Spötl, Koltai, 2025), ale także coraz więcej prowadzonych jest w nich badań biologicznych (Purcarea, 2017; Latella, Brighenti, 2024; Kocot-Zalewska i in., 2025), klimatologicznych (Colucci, Guglielmin, 2019; Obleitner i in., 2024), a jaskinie lodowe stają się obiektem zainteresowania nawet naukowców zajmujących się badaniem kosmosu, którzy traktują je jako odpowiedniki potencjalnych, podobnych

¹ Katedra Melioracji, Kształtowania Środowiska i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94E, 60-649 Poznań; jan.barabach@up.poznan.pl; ORCID ID: 0000-0003-1615-1113

² Zakład Geologii Dynamicznej i Petrografii Stosowanej, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Bogumiła Krygowskiego 10, 61-680 Poznań; ditta.kicinska@amu.edu.pl; ORCID ID: 0000-0001-9032-6191



Ryc. 1. Przekrój przez jaskinię lodową Moncedeno oraz występujące w niej formy lodowe, wykonany w 1671 r. przez Nicolausa Steno (Mattes, 2022)

Fig. 1. A cross-section of the Moncedeno ice cave and its ice formations, made in 1671 by Nicolaus Steno (Mattes, 2022)

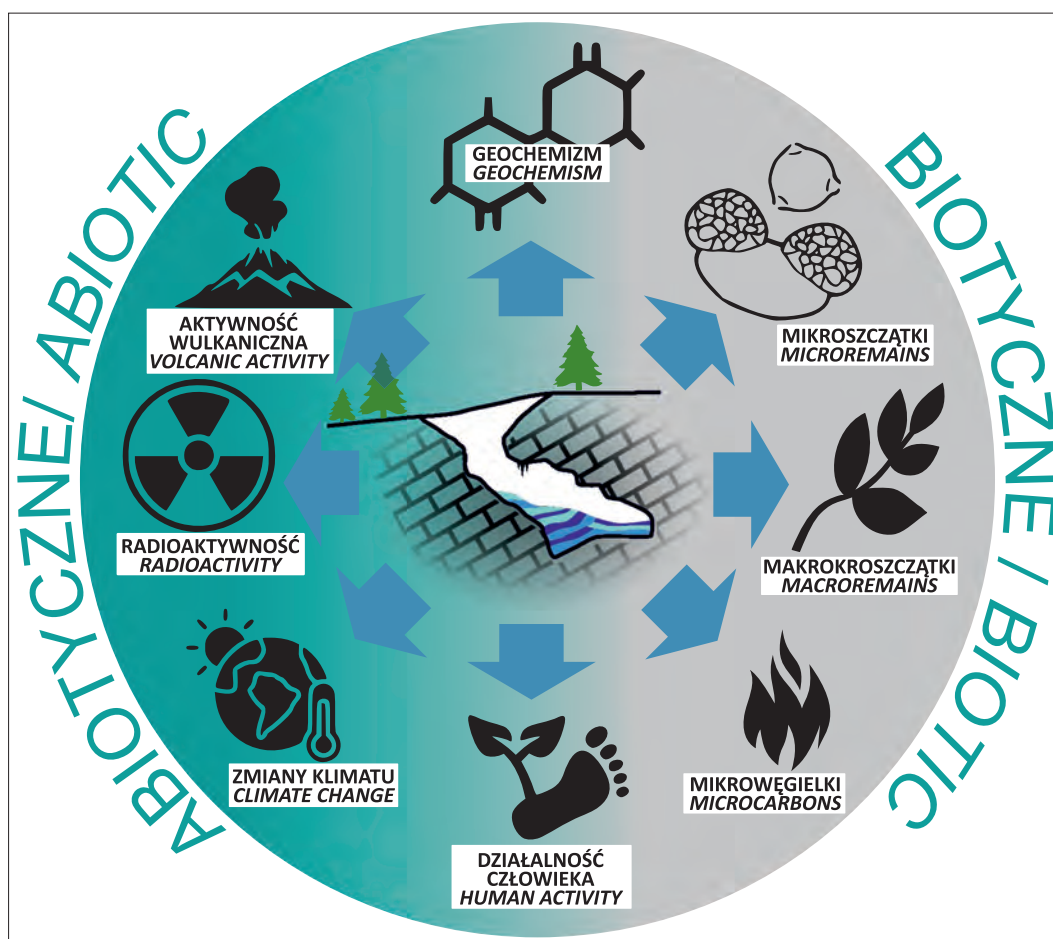
obiektów poza naszą planetą (Williams i in., 2010; Dorizon i in., 2016; Schörghofer, 2021). Coraz więcej naukowców postrzega również jaskinie lodowe jako szczególnie zagrożony obiekt dziedzictwa przyrodniczego i wzywa do podjęcia działań i opracowania polityki ochrony tych ekosystemów (Kern, Perşoiu, 2013; Ravel, 2025). Niniejszy artykuł ma na celu przedstawienie rozmieszczenia jaskiń lodowych, sposobów ich wykorzystania oraz przegląd dotychczasowych badań prowadzonych w ich obrębie, wraz z wybranymi wynikami. W obliczu postępującego zaniku jaskiń lodowych opracowanie to podkreśla znaczenie ich lepszego poznania i dokumentowania, zanim te unikatowe archiwa środowiskowe bezpowrotnie znikną.

JASKINIE LODOWE JAKO ARCHIWUM ZMIAN ŚRODOWISKA I KLIMATU

Badania wykonywane na podstawie danych zarchiwizowanych w lodzie jaskiniowym pozwalają zrekonstruować dawne warunki środowiska. W lodzie jaskiniowym są

deponowane zarówno elementy biotyczne, jak i abiotyczne, które dostarczają informacji o warunkach panujących wewnątrz jaskini oraz w jej otoczeniu (ryc. 2). Wśród elementów biotycznych uwieczonych w lodzie jaskiniowym, będących dotychczas przedmiotem badań, można wymienić m.in. mikro- (np. pyłek roślin) i makroszczątki roślinne oraz mikrowęgielki (Feurdean i in., 2011). Elementy przyrody nieożywionej, takie jak pierwiastki, jony i związki chemiczne zapisane w lodzie, mogą dostarczać informacji o dawnych właściwościach hydrosfery i atmosfery (np. Smith i in., 2023). Przykładem są siarczany niepo pochodzenia morskiego (*non-sea-salt sulfate*, $nssSO_4^{2-}$), które umożliwiają rekonstrukcję aktywności wulkanicznej (Vitelli-Hawkins, 2022), a także izotopy radioaktywne obecne w lodzie, stanowiące zapis dawnych prób jądrowych (Kern i in., 2009). Umożliwia to rekonstrukcję dawnych warunków środowiskowych, w tym klimatu (np. Bādāluṭā i in., 2020), a także poznanie przejawów działalności człowieka zarówno w samej jaskini, jak i w jej otoczeniu. W sytuacji gdy poszczególnym stanom można przypisać określony horyzont czasowy, np. poprzez datowanie osadów, możliwa jest rekonstrukcja dawnych trendów zachodzących w przyrodzie. Lód jaskiniowy przy sprzyjających warunkach mikroklimatycznych powiększa się co sezon, uzyskując przez to charakterystyczną rocznie laminowaną stratygrafię. Ze względu na podatność na zmiany temperatury utwory lodowe mogą ulegać jednak topnieniu oraz ponownemu zamarzaniu, co prowadzi do problemów interpretacyjnych związanych z brakiem ciągłości depozycji (hiatusami), a także z redepozycją i mieszaniami się wody tworzącej lód w poszczególnych okresach. Ponadto w przypadku powtarzającego się procesu zamarzania i rozmrażania uwieczony w lodzie osad może ulegać degradacji i segregacji. Niemniej jednak, lód jaskiniowy był wielokrotnie wykorzystywany w badaniach nad zmianami klimatu (Luetscher i in., 2005), naturalnymi i antropogenicznymi zmianami w szacie roślinnej (Feurdean i in., 2011), aktywnością wulkaniczną (Vitelli-Hawkins, 2022) czy działalnością człowieka w jaskini i jej otoczeniu (Onac i in., 2020) (ryc. 2).

Archiwum w postaci wieloletniego lodu jaskiniowego może obejmować krótkie kilkuletnie okresy, ale może również dokumentować odległe w czasie warunki środowiska sprzed tysięcy lat (Perşoiu, Onac, 2019; Spötl i in., 2024). O istnieniu lodu w przeszłości mogą świadczyć również osady znajdujące w jaskiniach, w których aktualnie on nie występuje, np. minerały kriogeniczne (*cryogenic cave carbonate* – CCC; *cryogenic cave gypsum* – CCG) (Žák i in., 2004). Na podstawie modeli zmienności danych warunków



Ryc. 2. Jaskinie lodowe jako archiwum biotycznych i abiotycznych elementów środowiska
 Fig. 2. Ice caves as an archive of biotic and abiotic environmental elements

ków można również prognozować także przyszłe zmiany. W kontekście jaskiń lodowych takie próby były podejmowane głównie w zakresie predykcji zaniku lodu (Rachlewicz, Szczuciński, 2004; Belmonte-Ribas i in., 2014; Wind i in., 2022), analizy bioróżnorodności (Latella, Brighenti, 2024; Petrovová i in., 2024) czy dynamiki zmiany szaty roślinnej, w tym górnej granicy lasu (Leunda i in., 2019).

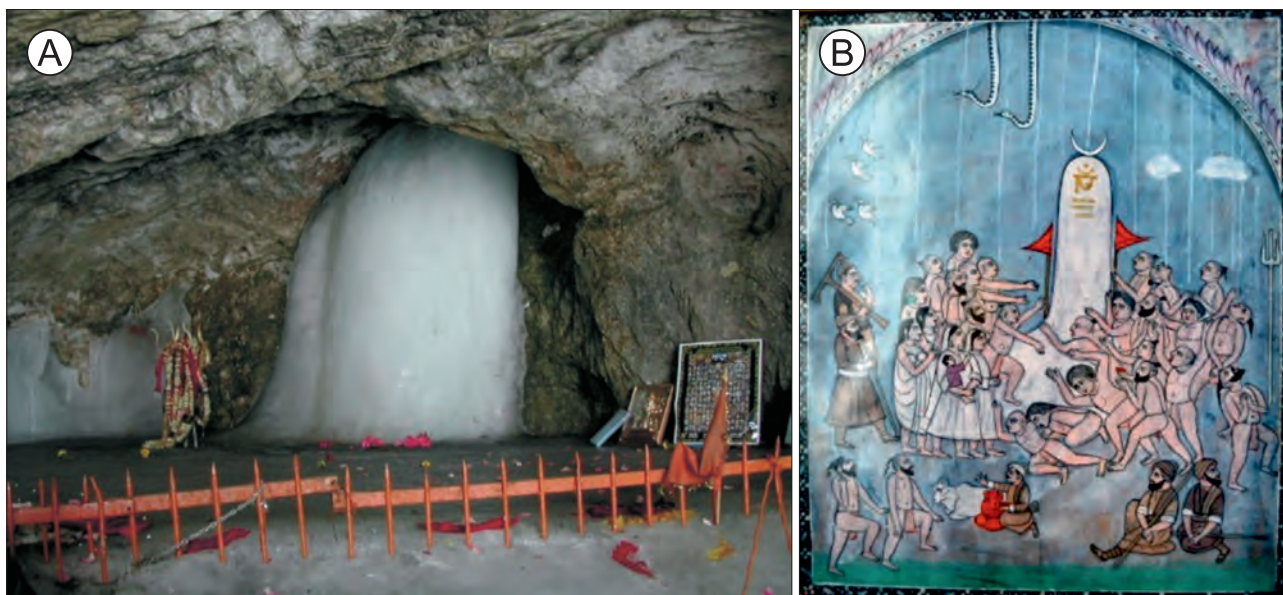
FUNKCJE SPOŁECZNE I KULTUROWE JASKIŃ LODOWYCH

Jaskinie lodowe intrygowały ludzkość od setek lat. Najstarsze wzmianki o formach lodowych w jaskiniach pojawiały się już w XII w. w kronice królów Kaszmiru Rājatarāṅgiṅī autorstwa bramina i poety Kalhana (Stein, 1961; Meyer, 2017). Opisuje on pielgrzymki do jednego z najważniejszych świętych miejsc w hinduizmie – jaskini Amarnath, w której znajduje się lodowy stalagmit czczony jako lingam – cylindryczny słup będący obiektem kultu boga Śiwy (ryc. 3). Pielgrzymki do tego miejsca odbywają się od setek lat aż po dziś dzień, jednak ze względu na postępujące ocieplenie klimatu z roku na rok zanik pokrywy lodowej przyspiesza. Według szacunków w rekordowym 2012 r. jaskinię Amarnath odwiedziło ok. 650 tys. wiernych (Shah, 2013). Tym samym pojawiły się pomysły sztucznego schładzania wnętrza jaskini (Manseau, 2008; Lal, 2015), jak również ograniczenia ruchu turystycznego (Shah, 2013). Wśród obiektów kultu religijnego można

znaleźć także jaskinie lodowe z obszaru dzisiejszej Turcji, Iranu czy Peru (Ravanel, 2025).

Lód jaskiniowy znajdował również dużo bardziej przyziemne zastosowania. Badania wskazują, że miejscowa ludność z Nowego Meksyku wykorzystywała do picia rozpuszczony lód z Jaskini 29 już 2000 lat temu (Onac i in., 2020). Z tego samego rejonu z Jaskini Lodowej Candelaria w latach 30. XX w. wydobywano lód komercyjnie do chłodzenia piwa (Dickfoss i in., 1997).

Z ponad 1600 jaskiń na świecie udostępnionych dla turystyki (<https://www.showcaves.com>) ponad 20 obiektów wyróżnia się jako jaskinie lodowe (Oedl, 2017). Najbardziej znanymi i najczęściej odwiedzanymi jaskiniami lodowymi na świecie są Eisriesenwelt (Austria), Dobszyńska Jaskinia Lodowa (Słowacja) i Jaskinia Lodowa Scărisoara (Rumunia). Jaskinia Eisriesenwelt znajduje się w masywie Tennengebirge w Austrii, ma 42 km długości, z czego pierwszy kilometr jaskini jest wypełniony lodem, który osiąga w niektórych miejscach do kilku metrów miąższości. Powierzchnia lodu jest oszacowana na 28 000 m² (Spötl i in., 2017). Pierwsze udokumentowane wejście do jaskini pochodzi z 1879 r., natomiast jej zwiedzanie z przewodnikiem zaczęło się ponad 40 lat później. Do 2016 r. jaskinię odwiedziło 7 mln turystów (Oedl, 2017). Jaskinia Dobszyńska Lodowa znajduje się Słowackim Raju na terenie Parku Narodowego Słowacki Raj, ma 1483 m długości i 112 m deniwelacji, zaś objętość lodu wynosi 110 100 m³. Jaskinia Dobszyńska Lodowa została odkryta w 1870 r., a już rok



Ryc. 3. A – historyczne zdjęcie stalaktytu lodowego w jaskini Amarnath w Kaszmirze, będącego od setek lat obiektem kultu hinduistów jako lingam Śiwy. Obecnie, w związku z ocieplającym się klimatem, zarówno lodowce powierzchniowe, jak i lód podziemny w tej części Himalajów ulegają gwałtownemu topnieniu (fot. Gangadhar Tambe, 2006); **B** – XIX-wieczna rycina przedstawiająca pielgrzymów w jaskini Amarnath (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/10/Painting_of_devotees_in_the_Amarnath_cave_temple_Jammu%2C_Pahari%2C_circa_mid-19th_century.webp)

Fig. 3. A – historical photo of an ice stalactite in the Amarnath Cave in Kashmir, which has been an object of Hindu worship as a Shiva lingam for hundreds of years. Currently, due to the warming climate, both surface glaciers and underground ice are rapidly melting in this part of the Himalayas (photo by Gangadhar Tambe, 2006); **B** – 19th-century engraving depicting pilgrims in the Amarnath Cave



Ryc. 4. Poczтівка wydana w 1918 r. na podstawie zdjęcia z Festiwalu Lodowego organizowanego w Dobszyńskiej Jaskini Lodowej w 1897 r.

Fig. 4. A postcard published in 1918 based on a photo from the Ice Festival organized in the Dobšynská Ice Cave in 1897

później została udostępniona dla turystyki. W 1893 r. urządzono w jaskini pierwsze letnie lodowisko (Bella, Zelinka, 2017; ryc. 4). Jaskinia Lodowa Scărisoara jest usytuowana w masywie Bihor w Górach Zachodniorumuńskich (Apuseni), ma 720 m długości i 105 m głębokości. Jaskinia jest znana co najmniej od połowy XIX w. Pierwsza wzmianka o niej pochodzi z 1847 r., wiadomo jednak, że jaskinia była

znana lokalnej ludności, która wykorzystywała lód do konserwacji żywności oraz do picia w porach suchych (Brad i in., 2017). Z jaskiń lodowych położonych blisko naszej granicy wymienić Demianowską Jaskinię Lodową w Tatrach Niżnych na Słowacji (wchodzącą w skład Systemu Jaskiń Demianowskich o łącznej długości ponad 49,5 km oraz deniwelacji 194 m; (Herich, 2023). Jaskinia Demia-

nowska Lodowa ma 2445 m długości i 57 m deniwelacji (<https://www.ssj.sk>). W 2005 r. objętość lodu obliczono na 1042 m³, a średnią miąższość na 0,74 m, przy maksymalnej miąższości sięgającej ponad 3 m (Strug i in., 2006). Jaskinia jest znana od bardzo dawna, za pierwszą wzmiankę o niej uznaje się opis autorstwa J.P. Haina pochodzący z 1672 r. (Bella, Zelinka, 2017). W jaskini obserwuje się drastyczny ubytek lodu; nie pomogło sztuczne dostarczanie wody w celu ratowania pokrywy lodowej (Strug, 2011).

Jaskinie lodowe znalazły się również wśród obiektów dziedzictwa kulturowego i dziedzictwa przyrodniczego o wyjątkowej wartości dla ludzkości w ramach Listy Światowego Dziedzictwa UNESCO (*World Heritage List*; tab. 1). Obecnie na liście znajdują się 1284 obiekty zlokalizowane w 170 krajach (<https://whc.unesco.org/en/list>), jednak jaskinie lodowe jako cenne obiekty przyrodnicze zostały wspomniane w kryteriach powstania zaledwie dwóch wymienionych obiektów UNESCO: Caves of Aggtelek

Tab. 1. Obszary wpisane na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO, w których są zlokalizowane jaskinie lodowe

Table 1. Areas inscribed on the UNESCO World Heritage List where ice caves are located

Nazwa obiektu UNESCO <i>Name of the UNESCO site</i>	Kraj / Kraje <i>Country / Countries</i>	Rok wpisu na listę UNESCO <i>Year of inscription on the UNESCO list</i>	Przykładowa jaskinia lodowa <i>An example of an ice cave</i>	Charakterystyka <i>Key characteristics</i>
Caves of Aggtelek Karst and Slovak Karst*	Węgry, Słowacja <i>Hungary, Slovakia</i>	1995 (rozszerzenie 2000 <i>2000 expansion</i>)	Dobšinská ľadová jaskyňa, Silická ľadnica*	Dobšinská Jaskinia Lodowa zawiera lód o miąższości dochodzącej do 26,5 m. Silická Jaskinia Lodowa (470 m n.p.m.) jest najniższą położoną jaskinią lodową strefy umiarkowanej <i>Dobšinská Ice Cave contains ice with a thickness of up to 26.5 m. Silická Ice Cave (470 m a.s.l.) is the lowest-elevation ice cave in the temperate zone</i>
Hallstatt-Dachstein/Salzkammergut Cultural Landscape	Austria <i>Austria</i>	1997	Dachstein-Rieseneishöhle, Dachstein-Mammuthöhle	Dachstein-Rieseneishöhle – dzięki wyjątkowej szacie lodowej jest jedną z najsłynniejszych jaskiń lodowych na świecie; Dachstein-Mammuthöhle jest jedną z najdłuższych (67,5 km) i najgłębszych (1,2 km) jaskiń w Austrii <i>Dachstein-Rieseneishöhle – distinguished by its exceptional ice mantle – is regarded as one of the world's best-known ice caves; Dachstein-Mammuthöhle ranks among Austria's longest (67.5 km) and deepest (1.2 km) cave systems</i>
Vatnajökull National Park – Dynamic Nature of Fire and Ice**	Islandia <i>Iceland</i>	2019	Breiðamerkurjökull Crystal Ice Cave, Kverkfjöll Ice Caves**	jaskinie formowane sezonowo w lodowcach – jaskinie lodowcowe (<i>glacier caves</i>) błędnie określane jako lodowe (<i>ice caves</i>); intensywnie zmieniają się co roku w wyniku topnienia i ruchu lodu <i>seasonally formed caves within glaciers – glacier caves – are often incorrectly referred to as ice caves; they undergo pronounced year-to-year changes driven by melt and ice dynamics</i>
Mount Etna	Włochy <i>Italy</i>	2013	Grotta del Gelo	jaskinia lawowa z trwałym lodem od XVIII w.; unikatowe połączenie aktywnego wulkanu i formacji lodowych <i>a lava cave hosting perennial ice since the eighteenth century; a unique juxtaposition of an active volcano and ice formations</i>
Durmitor National Park	Czarnogóra <i>Montenegro</i>	1980	Ledina Pećina	wysokogórska jaskinia z całorocznym lodem, położona w masywie Durmitoru <i>an alpine cave containing perennial ice, located within the Durmitor Massif</i>
Canadian Rocky Mountain Parks	Kanada <i>Canada</i>	1984	Castleguard Cave	najdłuższa znana jaskinia w Kanadzie (21 km); zawiera odcinki z wiecznym lodem w głębokich partiach zlokalizowanych pod polem lodowym Columbia <i>the longest known cave in Canada (21 km); it contains sections of perennial ice within deep passages situated beneath the Columbia Icefield</i>

*W 2000 r. do obszaru Caves of Aggtelek Karst and Slovak Karst włączono Dobszyńską Jaskinię Lodową, pomimo że znajduje się ona w obrębie Słowackiego Raju, a nie Krasu Słowackiego / *In 2000, the Dobšinská Ice Cave was included in the Caves of Aggtelek Karst and Slovak Karst area, even though it is located within the Slovak Paradise, not the Slovak Karst.*

**Obszar Vatnajökull National Park – Dynamic Nature of Fire and Ice chroni m.in. jaskinie lodowcowe (*glacier caves*), błędnie określane jako jaskinie lodowe (*ice caves*) / *The Vatnajökull National Park – Dynamic Nature of Fire and Ice area protects, among other things, glacier caves, incorrectly referred to as ice caves.*

Karst and Slovak Karst znajdującym się w Słowacji i na Węgrzech oraz Durmitor National Park w Czarnogórze. Nie znaczy to jednak, że jaskinie lodowe nie występują w innych obszarach wymienionych na liście. Znajdują się one także m.in. w Hallstatt-Dachstein/Salzkammergut Cultural Landscape w Austrii, Mount Etna we Włoszech oraz Canadian Rocky Mountain Parks w Kanadzie. Ponadto wiele źródeł wspomina liczne jaskinie lodowe znajdujące się na obszarze Vatnajökull National Park – Dynamic Nature of Fire and Ice, przy czym są to jaskinie lodowcowe, a nie lodowe (tab. 1).

Popularność speleoturystyki w jaskiniach lodowych wpisuje się w trend rosnącego zainteresowania tzw. turystyką ostatniej szansy (*last chance tourism*) – zjawiskiem motywowanym chęcią zobaczenia miejsc zagrożonych zanikiem bądź bezpowrotnym przekształceniem wskutek dynamicznie zmieniającego się środowiska (Lemelin i in., 2010), w tym postępującego ocieplania klimatu.

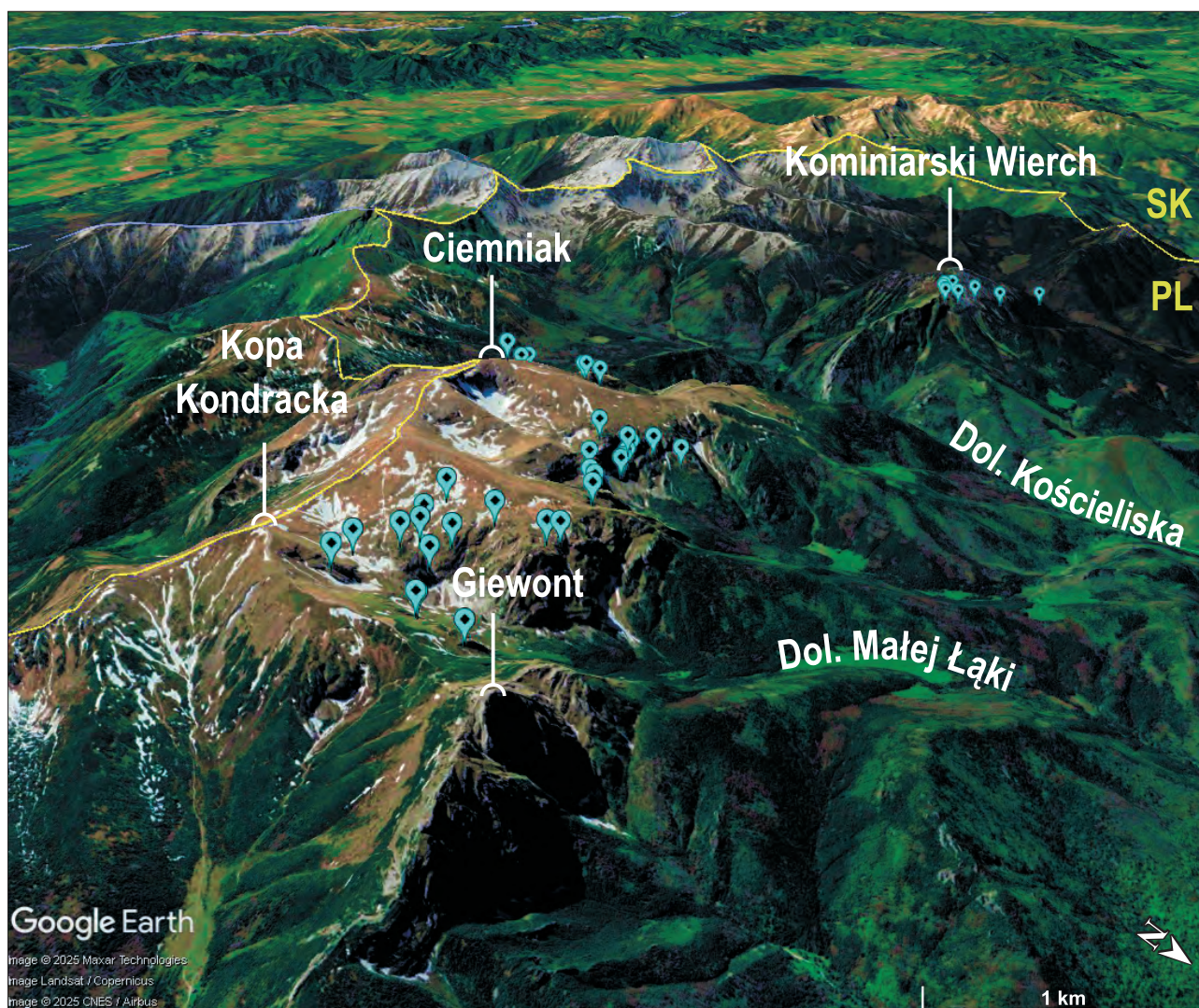
JASKINIE LODOWE W POLSCE

Po polskiej stronie Tatr zidentyfikowano 44 jaskinie lodowe (Gradziński i in., 2018, uzupełnione), przy czym tylko jedna znajduje się w Tatrach Wysokich – Jaskinia

Żabia Lodowa. Pozostałe obiekty znajdują się w Tatrach Zachodnich w obrębie masywu Czerwonych Wierchów oraz Kominiarskiego Wierchu (ryc. 5, 6). Jaskinia Żabia Lodowa jest zlokalizowana w obrębie pasa granicznego przebiegającego przez grań Siedmiu Granatów. Jest to niewielka (17 m długości i 3,4 m głębokości) jaskinia, w której odnotowano obecność małego (ok. 6 m²) płata lodu w spągu (<https://jaskiniepolski.pgi.gov.pl/>).

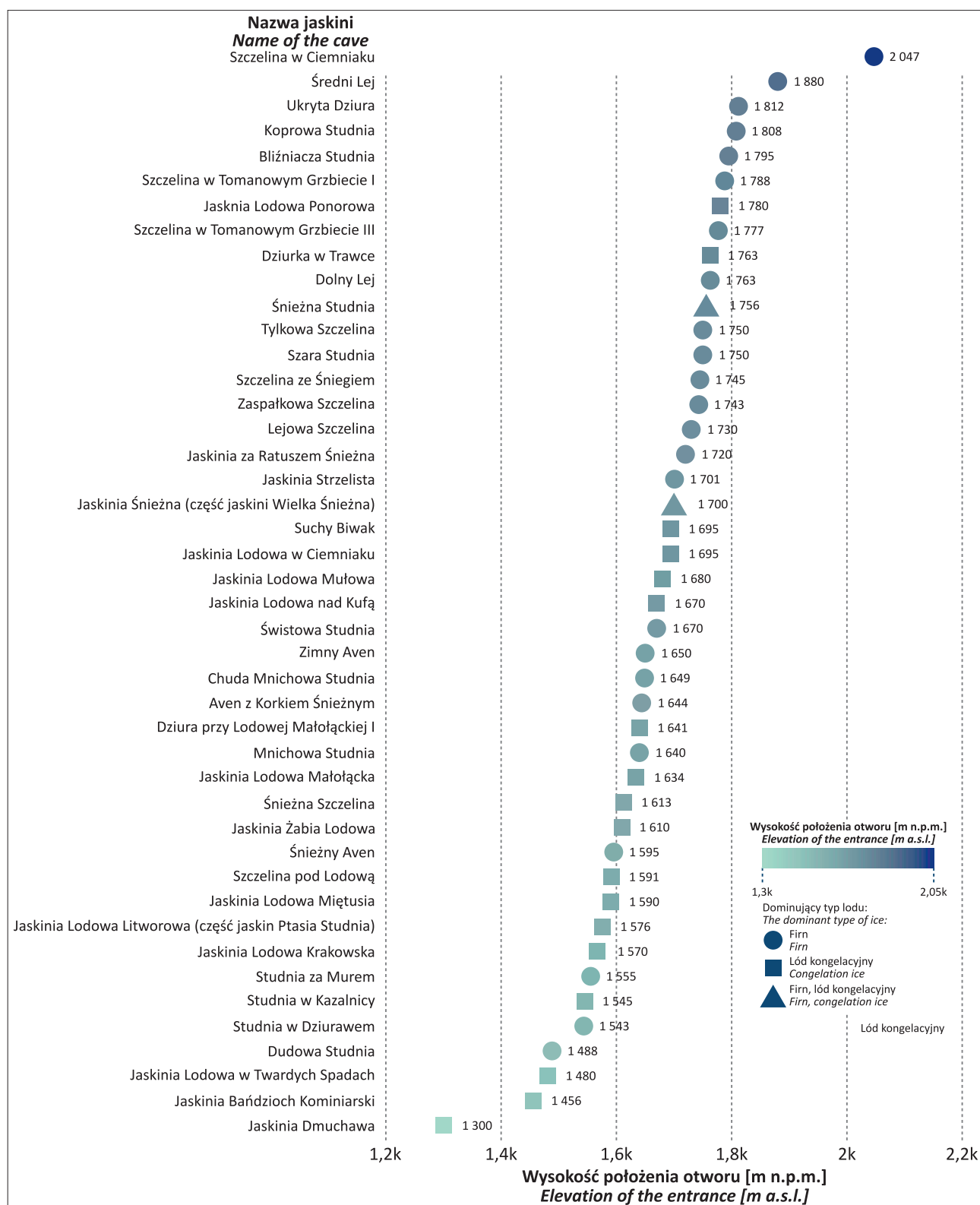
Większość informacji o obecności wieloletniego lodu w jaskiniach pochodzi z lat ich odkrycia i eksploracji. Od tego okresu wiele jaskiń figurujących w inwentarzu jako lodowe straciło lodowy charakter, jednak oficjalne potwierdzenie tego faktu wymaga przeprowadzenia ponownej inwentaryzacji nastawionej stricte na rozpoznanie pokrywy lodowej.

Jedyną jaskinią lodową po polskiej stronie Tatr, która doczekała się szerszego opracowania, jest Jaskinia Lodowa w Ciemniaku. Jaskinia ta była znana lokalnym kłusownikom (polowacom) i pasterzom. Ci pierwsi chodzili do niej polować na kozice, które w przyotworowych partiach chroniły się przed warunkami atmosferycznymi (stąd pochodzi nazwa tej części jaskini – Kozia Koleba; Zwoliński, 1923), drudzy chodzili tam schłodzić się w upalne dni. Pierwsze oznaki zaniku lodu (średnio o ok. 1–1,5 m w sto-



Ryc. 5. Rozmieszczenie jaskiń lodowych po polskiej stronie Tatr

Fig. 5. Distribution of ice caves in the Polish part of the Tatra Mountains



Ryc. 6. Rozkład wysokości otworów oraz dominujący typ lodu w jaskiniach lodowych po polskiej stronie Tatr (Gradziński i in., 2018, uzupełnione)

Fig. 6. Distribution of cave entrance elevations and dominant ice types in ice caves in the Polish part of the Tatra Mountains (Gradziński et al., 2018, supplemented)

sunku do 1922 r.) były obserwowane już w 1933 r., przy czym wówczas przyczynę tego stanu upatrywano w niezbyt mroźnej i skąpej w opady śniegu zimie 1932/1933 (Zwoliński, 1933, 1953). Natomiast postępujący proces topnienia w 1951 r. bracia Zwolińscy łączyli już z globalnymi zmianami klimatu – ogólnym ociepleniem naszej pla-

nety (Zwoliński, 1951). Późniejsze prace potwierdziły postępujący zanik pokrywy lodowej (Rygielski i in., 1995; Rachlewicz, Szczuciński, 2004; Szukała, 2010; Barabach i in., 2023). Szczególnie wymowne jest porównanie archiwalnych zdjęć tych samych fragmentów jaskiń lodowych ze współczesnymi (ryc. 7). Badania Jaskini Lodowej w Ciem-



Ryc. 7. Rekonstrukcja poziomu lodu w Jaskini Lodowej w Ciemniaku na podstawie analizy porównawczej fotografii z 1922 r. oraz współczesnego zdjęcia. Obszar pokryty lodem w 2021 r. zaznaczono przerywaną linią (Barabach, 2025)

Fig. 7. Ice level reconstruction in Ice Cave in Ciemniak based on a comparative analysis of a 1922 photograph and a contemporary photograph. The area covered by ice in 2021 is marked with a dashed line (Barabach, 2025)

niaku wykazały, że latach 2002–2009 ubytek lodu wynosił ponad 70 m^3 na rok, a wcześniej od lat 20. do 80. XX w. było to $20\text{--}30 \text{ m}^3$ na rok (Rachlewicz, Szczuciński, 2004; Szukała, 2010). Zmiany klimatu objawiają się nie tylko wzrostem temperatury, ale także skracaniem okresu cyrkulacji zimowej w jaskini, podczas której zimne powietrze z zewnątrz dostaje się do środka i wypycha zalegające tam cieplejsze masy. Badania modelowe wskazują, że w ostatnich latach okres cyrkulacji zimowej skracają się w Jaskini Lodowej w Ciemniaku o ok. 4–5 dni na dekadę (Stasiwicz, 2024). Geneza i wiek lodu nie są dokładnie poznane, co więcej prawdopodobnie nie uda się już określić początku akumulacji lodu w jaskini, gdyż jego zanik następuje nie tylko w stropowych, najmłodszych partiach profilu, ale także topnieje od spągu, na kontakcie lodu ze skałą (Rygielski i in., 1995). Tym samym zanikają prawdopodobnie najstarsze warstwy lodu. Do tej pory tylko raz podjęto skuteczne próby określenia wieku lodu w Jaskini Lodowej w Ciemniaku. Badania Hercman i in. (2010) wykazały istnienie dwóch generacji lodu cechujących się odmiennymi właściwościami strukturalnymi. Wiek starszej generacji nie został określony, natomiast powstanie młodszej generacji, w świetle datowania radiowęglowego, jest związane jest z ochłodzeniem małej epoki lodowej. Dane paleolimnologiczne z Tatr sugerują, że chłodniejsze i wilgotniejsze warunki klimatyczne występowały w tym rejonie przed VI w. (Gąsiorowski, Sienkiewicz, 2010).

Drugą jaskinią po polskiej stronie Tatr, w której podziemny lód stał się obiektem analiz, jest najgłębsza i naj-

dłuższa jaskinia Polski – Jaskinia Wielka Śnieżna (Szczygieł, 2024). W świetle prowadzonych badań tempo zaniku lodu w ostatniej dekadzie wynosiło średnio 20 cm na rok (Batur, Kasprzak, 2024). Pozostałe jaskinie lodowe po polskiej stronie Tatr nie były do tej pory przedmiotem badań naukowych w kontekście zmian klimatu i bilansu lodu jaskiniowego.

Poza Tatrami odnotowano współcześnie tylko jedną jaskinię – Jaskinię Lodową w Zamczysku, w której lód może utrzymać się przez wiekolecia; jest to jednocześnie najniżej położona jaskinia lodowa w Polsce – 718 m n.p.m. (<https://jaskiniepolski.pgi.gov.pl/>). Jaskinia ta znajduje się w Paśmie Łysiny w Beskidzie Małym. Ponadto w Beskidach istnieje kilka jaskiń, w których lód odnotowywano w okresie jesień–wiosna (Franczak i in., 2014). Część jaskiń z wyrazem *lodowa* w nazwie z obszaru Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej (np. Jaskinia Lodowa w Jaroszowcu, Jaskinia Lodowa w Pustelnicy) czy Beskidów (np. Lodowa Szczelina, Jaskinia Lodowa w Szczyrku) została tak nazwana ze względu na występowanie sezonowych form lodowych. Jaskinia Zimna Dziura w Strzeblu (zwana inaczej Grotą Lodową) w 1931 r. była uważana za jaskinię *stricte* lodową, gdyż prowadzone w niej obserwacje w okresie letnim w latach 1929–1931 potwierdziły obecność lodu (Leszczycki, 1931). Tym samym, gdyby nie straciła swojego lodowego charakteru, byłaby dziś najniżej położoną jaskinią lodową w Polsce – na wysokości 655 m n.p.m. Zalodzenie jaskiń w przeszłości w Polsce było zapewne dużo bardziej powszechne i nie ograniczało się do

najwyższych pasm górskich. Świadczyć może o tym obecność minerałów kriogenicznych (*cryogenic cave carbonates*) w systemie jaskiniowym Chelosiowa Jama–Jaskinia Jaworznicka w Górach Świętokrzyskich, położonym na wysokości niespełna 300 m n.p.m. (Žák i in., 2004).

ZANIK JASKIŃ LODOWYCH NA ŚWIECIE

Zanik lodu jaskiniowego jest obserwowany w większości jaskiń półkuli północnej od lat 20. XX w. (Dickfoss, 1996; Luetscher i in., 2005; Trofimova, 2006; Perşoiu, Pazdur, 2011; Barabach i in., 2023), przy czym tempo tego procesu wyraźnie zwiększyło się w ostatnich dekadach (Kern, Perşoiu, 2013). Od Skandynawii, przez Alpy, Karpaty, Góry Dynarskie, po góry Jura, Picos de Europa, Pireneje, a także Ural, Amerykę Północną czy Hawaje obserwacje terenowe połączone z rekonstrukcjami historycznymi oraz nowoczesne badania pokazują, że większość znanych jaskiń z wieloletnim lodem traci masę szybciej niż kiedykolwiek wcześniej w udokumentowanej historii. Obejmuje to nie tylko cofanie się powierzchni lodu o dziesiątki centymetrów rocznie czy ubytki liczone w metrach sześciennych, ale również całkowity zanik lodu z wielu jaskiń.

Do lepiej zbadanych i monitorowanych obiektów należą znane jaskinie turystyczne, jak: Eisriesenwelt w Austrii, Scărișoara w Rumunii czy Dobšinská Jaskinia Lodowa na Słowacji oraz jaskinie Alp czy gór Jura. Ubytek lodu w jaskini Eisriesenwelt wynosi kilka cm rocznie (Obleitner, Spötl, 2010; Spötl i in., 2024), choć utrzymaniu lodu we wstępnej partiach dolnego otworu sprzyja jego zamykanie, co w konsekwencji powoduje zmianę cyrkulacji powietrza w jaskini, wynikającą z działalności antropogenicznej. W Jaskini Lodowej Hundsalm (Północne Alpy Wapienne, Austria) przez 13 lat przeprowadzono badania, które wykazały, że średnia temperatura powietrza w jaskini wzrosła o ok. 0,4–0,5°C, skrócił się czas z wartościami schodzącymi poniżej 0°C oraz zmienił się reżim cyrkulacji powietrza (Wind i in., 2022). Według tych autorów wystarczy niewielki wzrost temperatury jaskini o kilkadziesiąt setnych stopnia, by nastąpiła zmiana bilansu lodu ze zrównoważonego na ujemny. Długoletni monitoring w alpejskich jaskiniach lodowych pozwolił stwierdzić, że w latach 2000–2020 tempo ogrzewania się powietrza w jaskiniach wynosiło 0,2°C na dekadę i było zaledwie o około połowę niższe niż tempo ogrzewania się powietrza na zewnątrz jaskini (Obleitner i in., 2024).

W górach Jura negatywny bilans lodu został zanotowany już w latach 80. XX w. (Luetscher i in., 2005). Autorzy w analogii do lodowców górskich wyznaczyli linię równowagi bilansowej (*Equilibrium line altitude* – ELA) dla jaskiń lodowych (poniżej której warunki nie sprzyjają już utrzymaniu lodu wieloletniego), która wg ich obserwacji wzrosła o kilkaset metrów między rokiem 1978 a 2004.

W Jaskini Lodowej A294 w Pirenejach odnotowano ciągły wzrost temperatury powietrza w jaskini w ciągu 12 lat, wynoszący od ok. 1,07 do 1,56°C, przy obliczonym tempie topnienia wskazującym na wartości od 15 do 192 cm rocznie (Sancho i in., 2025). Ubytek lodu jest obserwowany w wielu jaskiniach pirenejskich w związku z ociepleniem klimatu (Gómez Lende, Serrano, 2025).

Ubytek lodu został stwierdzony m.in. również w takich jaskiniach jak Scărișoara (Holmlund i in., 2005; Perşoiu

i in., 2011; Perşoiu, Pazdur, 2011), jaskiniach Alp Julijskich (Colucci, Guglielmin, 2019), jaskiniach Słowenii na obszarze Krasu Dynarskiego i Południowych Alp Wapiennych (Zorn i in., 2020).

Na zanik lodu w jaskiniach wpływają nie tylko długofalowe zmiany klimatu, ale również pojedyncze epizody związane z ekstremalnymi zdarzeniami pogodowymi. Badania Perşoiu i in. (2021) wykazały, że rekordowe letnie deszcze występujące między majem a lipcem w 2019 r. doprowadziły do masowej utraty lodu powierzchniowego i jaskiniowego w południowo-wschodniej Europie, podkreślając wrażliwość tych systemów na ekstremalne zdarzenia pogodowe. W Jaskini Lodowej Scărișoara (Rumunia) szacowany ubytek masy lodu wyniósł ok. 1050 ± 90 m³, w jaskini na górze Falakro (Grecja) ponad 600 ± 60 m³, a w Crna Ledenica (Chorwacja) rzędu 150–200 m³ – wszystko w ciągu zaledwie kilku miesięcy.

Intensywne obserwacje ubytku lodu jaskiniowego są prowadzone od lat w rejonie jeziora Bajkał (Trofimova, 2006; Trofimova, Trofimov, 2019). Jest to obszar szczególnie wrażliwy na zmiany klimatu, gdzie można analizować interakcje pomiędzy dużym zbiornikiem wodnym w surowych warunkach klimatu kontynentalnego a środowiskiem jaskiniowym, uwzględniając również wieloletnią zmarzlinę oraz większe amplitudy temperatur sezonowych i dobowych. Autorka udokumentowała ubytek lodu jaskiniowego w ciągu 30 lat na skutek ocieplenia klimatu i jest to najdłuższy monitoring jaskiń lodowych na Syberii. Jedną z najlepiej monitorowanych jaskiń w rejonie Uralsu jest udostępniona dla ruchu turystycznego Kungurska Jaskinia Lodowa. Po okresie intensywnego wytapiania lodu w drugiej połowie XX w. przeprowadzono zmiany w wentylacji jaskini, które pozwoliły na odbudowę pokrywy lodowej (Mavlyudov, Kadebskaya, 2017).

Na ocieplenie klimatu reagują również jaskinie lodowe w innych rejonach świata, szczególnie występujące na niższych szerokościach geograficznych, jak np. Jaskinia Lodowa Mauna Loa na Hawajach (Pflitsch i in., 2016).

PODSUMOWANIE

W większości badanych i obserwowanych jaskiń na świecie zaznacza się ujemny bilans masy lodu. W wielu przypadkach jest wskazywane wyraźne przyspieszenie tempa zaniku lodu w ostatnich dekadach. Badania te dowodzą, że jaskinie lodowe, pomimo silnego odizolowania od warunków zewnętrznych, są bardzo wrażliwe na współczesne zmiany klimatu. Głównym czynnikiem wytapiania lodu w jaskiniach jest ocieplenie klimatu i związane z nimi zmiany cyrkulacji powietrza w jaskini, niższe opady śniegu, zmiana długości pór roku czy ekstremalne zjawiska pogodowe. Znaczenie badań jaskiń lodowych wykracza jednak daleko poza samą dokumentację zaniku lodu. Lód jaskiniowy stanowi archiwum biotycznych i abiotycznych *proxy*, które mogą być wykorzystane w rekonstrukcjach warunków środowiskowych i klimatycznych z czasów formowania się lodu. Jaskinie lodowe stanowią także nieopowtarzalny ekosystem będący siedliskiem dla wielu wciąż słabrodo zpoznanych organizmów. Potencjał naukowy tego typu obiektów zarówno w Polsce, jak i poza nią jest ogromny, przy czym, aby go poznać, konieczne jest niezwłoczne podjęcie badań.

Autorzy składają serdeczne podziękowania recenzentowi prof. Piotrowi Migoniewi za cenne uwagi, które przyczyniły się do poprawy jakości niniejszej publikacji, oraz Pavlovi Herichowi z Zarządu Jaskiń Słowackich za pomoc w uzyskaniu informacji dotyczących słowackich obiektów jaskiniowych wpisanych na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO.

LITERATURA

- BĂDĂLUȚĂ C. A., PERȘOIU A., IONITA M., PIOTROWSKA N. 2020 – Stable isotopes in cave ice suggest summer temperatures in east-central Europe are linked to Atlantic Multidecadal Oscillation variability. *Climate of the Past*, 16 (6): 2445–2458.
- BALCH E.S. 1897 – Ice caves and the causes of subterranean ice. *Journal of Franklin Institute*, 143: 161–178; [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0016-0032\(97\)90146-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0016-0032(97)90146-0)
- BARABACH J. 2025 – 100 years of research and exploration of Ice Cave in Ciemniak Peak. [W:] Kicińska D., Koprowska K.L., Haczewski G., Nowak J. (red.), *Polish Caving 2017–2025*. Caving Committee of Polish Mountaineering Association, 86.
- BARABACH J., STASIEWICZ A. 2025 – Ice caves as emerging research objects of the climate-crisis era. *Permafrost and Periglacial Processes*, 36: 613–624; <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>
- BATURO B., KASPRZAK M. 2024 – Environmental and Human Impact on Ice Caves: The Example of the Wielka Śnieżna Cave in the Tatra Mountains (Poland). *Geoheritage*, 16, 103; <https://doi.org/10.1007/s12371-024-01003-2>
- BELLA P., ZELINKA J. 2017 – Ice Caves in Slovakia. [W:] Perșoiu A., Lauritzen S-E. (red.), *Ice Caves*. Elsevier, 657–689; <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811739-2.00029-2>
- BELMONTE-RIBAS Á., SANCHO C., MORENO A., LOPEZ-MARTINEZ J., BARTOLOME M. 2014 – Present-day environmental dynamics in ice cave A294, Central Pyrenees, Spain. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 37: 131–140; <https://doi.org/10.4461/GFDQ.2014.37.12>
- BRAD T., BĂDĂLUȚĂ C.A., PERȘOIU A. 2017 – Ice Caves in Romania. [W:] Perșoiu A., Lauritzen S-E. (red.), *Ice Caves*. Elsevier, 511–528; <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811739-2.00025-5>
- COLUCCI R.R., GUGLIELMIN M. 2019 – Climate change and rapid ice melt: Suggestions from abrupt permafrost degradation and ice melting in an alpine ice cave. *Progress in Physical Geography*, 43: 561–573; <https://doi.org/10.1177/0309133319846056>
- DICKFOSS P.V. 1996 – Stratified ice accumulations as a source of climate proxy data. MSc Thesis. The Ohio State University, Columbus, USA.
- DICKFOSS P.V., BETANCOURT J.L., THOMPSON L.G., TURNER R.M., THARNSTROM S. 1997 – History of ice at Candelaria Ice Cave, New Mexico. *New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources, Bulletin*, 156: 91–112.
- DORIZON S., CIARLETTI V., PLETTEMEIER D., BENEDIX W.S. 2016 – Performance validation of the ExoMars 2018 WISDOM GPR in ice caves, Austria. *Planetary and Space Science*, 120: 1–14; <https://doi.org/10.1016/j.jps.2015.10.008>
- FEURDEAN A., PERȘOIU A., PAZDUR A., ONAC B.P. 2011 – Evaluating the palaeoecological potential of pollen recovered from ice in caves: A case study from Scarioara Ice Cave, Romania. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 165: 1–10; <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2011.01.007>
- FRANCZAK P., ZATORSKI M., SZURA C. 2014 – Water in the caves of Polish outer (flysh) Carpatians (Beskidy Mountains). *International Union of Speleology Pseudokarst Commission Newsletter. International Union of Speleology Kraków-Wien*, 17: 17–24.
- GAȘIOROWSKI M., SIENKIEWICZ E. 2010 – The Little Ice Age recorded in sediments of a small dystrophic mountain lake in southern Poland. *Journal of Paleolimnology* 43: 475–487; <https://doi.org/10.1007/s10933-009-9344-5>
- GÓMEZ LENDE M., SERRANO E. 2025 – Ice caves in the face of climate change. Patterns of change in Picos de Europa. *Metode Science Studies Journal*, 15 (6), e30220; <https://doi.org/10.7203/metode.15.30220>
- GRADZIŃSKI M., NOWAK J., RACHLEWICZ G., SIARZEWSKI W., STRUG K., SZCZUCIŃSKI W. 2018 – Ice Caves in Poland. [W:] Perșoiu A., Lauritzen S-E. (red.), *Ice Caves*. Elsevier, 493–510.
- HERCMAN H., GAȘIOROWSKI M., GRADZIŃSKI M., KICIŃSKA D. 2010 – The first dating of cave ice from the Tatra Mountains, Poland and its implication to palaeoclimate reconstructions. *Geochronometria*, 36: 31–38; <https://doi.org/10.2478/v10003-010-0016-2>
- HERICH P. 2023 – Demänovské jaskyne. Atlas krasových javov Demänovskej doliny. Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky, Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 400.
- HIGHAM S.R., PALMER A.N. 2017 – Ice Caves in the USA. [W:] Perșoiu A., Lauritzen S-E. (red.), *Ice Caves*. Elsevier, 705–716; <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811739-2.00031-0>
- HOLMLUND P., ONAC B.P., HANSSON M., HOLMGREN K., MÖRTH M., NYMAN M., PERȘOIU A. 2005 – Assessing the Palaeoclimate Potential of Cave Glaciers: The Example of the Scărișoara Ice. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 87: 193–201. <https://jaskiniepolski.pgi.gov.pl/> <https://www.showcaves.com> <https://www.ss.j.sk> <https://whc.unesco.org/en/list>
- KADEBSKAYA O.I., MAVLYUDOV B.R. 2017 – Ice Caves in Asia. [W:] Perșoiu A., Lauritzen S-E. (red.), *Ice Caves*. Elsevier, 437–454; <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811739-2.00021-8>
- KARDEL T., MAQUET P. 2018 – Nicolaus Steno, II. ed, Nicolaus Steno. Springer Berlin Heidelberg; <https://doi.org/10.1007/978-3-662-55047-2>
- KERN Z., MOLNÁR M., SVINGOR É., PERȘOIU A., NAGY B. 2009 – High-resolution, well-preserved tritium record in the ice of Bortig Ice Cave, Bihor Mountains, Romania. *The Holocene*, 19 (5): 729–736.
- KERN Z., PERȘOIU A. 2022 – A Review of Ice Core Drilling in Cave Environment – Challenges, Achievements and Future Directions. *Frontiers in Earth Science (Lausanne)*, 9, 720038; <https://doi.org/10.3389/feart.2021.720038>
- KERN Z., PERȘOIU A. 2013 – Cave ice – the imminent loss of untapped mid-latitude cryospheric palaeoenvironmental archives. *Quaternary Science Reviews*, 67: 1–7; <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.01.008>
- KOCOT-ZALEWSKA J., SŁOWIŃSKA I., DOMAGAŁA P.J., BIEŃIAS J., SZYMAŃSKI D.M., SZYMAŃSKI D., SZYMAŃSKI H.M., SIENKIEWICZ P., WOŹNICA A.J. 2025 – Contribution to the knowledge of cave-dwelling fauna from the Prokletije Mountains. *International Journal of Speleology*, 54, ijs2551; <https://doi.org/10.5038/1827-806X.ijs2551>
- LAL V. 2015 – Climate change: Insights from Hinduism. *Journal of the American Academy of Religion*, 1–19; <https://doi.org/10.1093/jaarel/lfv020>
- LATELLA L., BRIGHENTI S. 2024 – Exploring ice cave biodiversity in northeastern Italy. *Diversity*, 16 (7), 364; <https://doi.org/10.3390/d16070364>
- LEMELIN R.H., DAWSON J., STEWART E.J., MAHER P., LÜCK M. 2010 – Last chance tourism: the boom, doom, and gloom of visiting vanishing destinations. *Current Issues in Tourism*, 13 (5): 477–493; <https://doi.org/10.1080/13683500903406367>
- LESZCZYCKI S. 1931 – Grota lodowa w Strzeblu, w Beskidzie Wyspowym. *Wierchy*, 9: 183–185.
- LEUNDA M., GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ P., GIL-ROMERA G., BARTOLOMÉ M., BELMONTE-RIBAS Á., GÓMEZ-GARCÍA D., KALTENRIEDER P., RUBIALES J.M., SCHWÖRER C., TINNER W., MORALES-MOLINO C., SANCHO C. 2019 – Ice cave reveals environmental forcing of long-term Pyrenean tree line dynamics. *Journal of Ecology*, 107: 814–828; <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13077>
- LUETSCHER M., JEANNIN P.Y., HAEBERLI W. 2005 – Ice caves as an indicator of winter climate evolution: A case study from the Jura Mountains. *Holocene*, 15: 982–993; <https://doi.org/10.1191/0959683605hl872ra>
- MAGGI V., COLUCCI R.R., SCOTO F., GIUDICE G., RANDAZZO L. 2017 – Ice Caves in Italy. [W:] Perșoiu A., Lauritzen S-E. (red.), *Ice Caves*. Elsevier, 399–423; <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811739-2.00019-X>
- MANSEAU P. 2008 – Praying for Ice: July and August are Pilgrimage Months in Kashmir. *Will Global Warming – and Terrorism – make Things too Hot at Journey's End? Science & Spirit*, 19: 22–33.
- MATTES J. 2022 – Mapping the invisible: Knowledge, credibility and visions of earth in early modern cave maps. *Bulletin of the British Society for the History of Science*, 55: 53–80; <https://doi.org/10.1017/S0007087421000789>
- MAVLYUDOV B.R. 2017 – Geography of Cave Glaciation. [W:] Perșoiu A., Lauritzen S-E. (red.), *Ice Caves*. Elsevier, 209–220; <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811739-2.00012-7>
- MAVLYUDOV B.R., KADEBSKAYA O.I. 2017 – Ice Caves in Russia. [W:] Perșoiu A., Lauritzen S-E. (red.), *Ice Caves*. Elsevier, 529–610; <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811739-2.00026-7>
- MEYER C. 2017 – History of Ice Caves Research. [W:] Perșoiu A., Lauritzen S-E. (red.), *Ice Caves*. Elsevier, 5–20; <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811739-2.00002-4>
- MIHEVC A. 2017 – Ice Caves in Slovenia. [W:] Perșoiu A., Lauritzen S-E. (red.), *Ice Caves*. Elsevier, 691–703; <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811739-2.00030-9>

- OBLEITNER F., SPÖTL C. 2010 – The mass and energy balance of ice within the Eisriesenwelt cave, Austria. *The Cryosphere*, 5: 245–257; <https://doi.org/10.5194/tcd-4-1741-2010>
- OBLEITNER F., TRÜSSEL M., SPÖTL C. 2024 – Climate warming detected in caves of the European Alps. *Scientific Reports*, 14, 27435; <https://doi.org/10.1038/s41598-024-78658-y>
- OEDL F. 2017 – The management of ice show caves. [W:] Perşoiu A., Lauritzen S-E. (red.), *Ice Caves*. Elsevier, 199–206; <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811739-2.00011-5>
- ONAC B.P., BAUMANN S.M., PARMENTER D.S., WEAVER E., SAVA T.B. 2020 – Late Holocene droughts and cave ice harvesting by Ancestral Puebloans. *Scientific Reports*, 10, 20131; <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76988-1>
- PERŞOIU A., BUZJAK N., ONACA A., PENNOS C., SOTIRIADIS Y., IONITA M., ZACHARIADIS S., STYLLAS M., KOSUTNIK J., HEGYI A., BUTORAC V. 2021 – Record summer rains in 2019 led to massive loss of surface and cave ice in SE Europe. *Cryosphere* 15: 2383–2399; <https://doi.org/10.5194/tc-15-2383-2021>
- PERŞOIU A., LAURITZEN S-E. (red.) 2017 – *Ice Caves*. Elsevier; <https://doi.org/10.1016/C2016-0-01961-7>
- PERŞOIU A., ONAC B.P. 2019 – Ice in caves. [W:] White W.B., Culver D.C., Pipan T. (red.), *Encyclopedia of Caves*, Third Edition. Elsevier, 553–558; <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814124-3.00066-2>
- PERŞOIU A., ONAC B.P., PERŞOIU I. 2011 – The interplay between air temperature and ice mass balance changes in Scărișoara Ice Cave. *Acta Carsologica*, 40 (3): 445–456.
- PERŞOIU A., PAZDUR A. 2011 – Ice genesis and its long-term mass balance and dynamics in Scărișoara Ice Cave, Romania. *The Cryosphere*, 5: 45–53; <https://doi.org/10.5194/tc-5-45-2011>
- PETROVOVÁ V., LUPTÁČIK P., KOLARČIK V., KOVÁČ Ľ. 2024 – Biodiversity of a temperate karst landscape-ice cave collapse doline supports high α -diversity of the soil mesofauna. *Scientific Reports*, 14, 22205; <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72738-9>
- PFLITSCH A., SCHÖRGHOFER N., SMITH S.M., HOLMGREN D. 2016 – Massive ice loss from the Mauna Loa Ice cave, Hawaii. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 48: 33–43; <https://doi.org/10.1657/AAAR0014-095>
- PURCAREAC C. 2017 – Microbial life in ice caves. [W:] Perşoiu A., Lauritzen S-E. (red.), *Ice Caves*. Elsevier, 173–187; <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811739-2.00008-5>
- 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.
- RAVANEL L. 2025 – Les glaciers, mémoire souterraine en péril. *Géomorphologie: relief, processus, environnement* 31, 1; <https://doi.org/10.4000/14gyu>
- RYGIELSKI W., SIARZEWSKI W., WIELICZKO P. 1995 – Variability of the ice deposit in Ice Cave on Mount Ciemniak in the West Tatra Mountains. *Quaestiones Geographicae*, 17/18: 55–64.
- SANCHO C., BELMONTE Á., LEUNDA M., LUETSCHER M., SPÖTL C., LÓPEZ-MORENO J.I., OLIVA-URCIA B., LÓPEZ-MARTÍNEZ J., MORENO A., BARTOLOMÉ M. 2025 – Unprecedented cave ice melt in the last 6100 years in the Central Pyrenees (A294 ice cave). *The Cryosphere*, 19: 6283–6300; <https://doi.org/10.5194/tc-19-6283-2025>
- SCHÖRGHOFER N. 2021 – Ice caves on Mars: Hoarfrost and microclimates. *Icarus*, 357, 114271; <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2020.114271>
- SHAH A.R. 2013 – The Sociology lens of pilgrimage tourism in Kashmir Valley: A case of holy Amarnath pilgrimage. *The Tibet Journal*, 38: 57–85.
- SMITH D.F., LYONS W.B., WELCH S.A., ZORN M., TIČAR J., LIPAR M., CAREY A.E. 2023 – The Chemistry of Cave Ice: Two Examples from Slovenia. *Environmental & Engineering Geoscience*, 29 (4): 291–307.
- SPÖTL C., FOHLMEISTER J., REIMER P., ZHANG H. 2024 – First insights into the age of the giant ice deposits in the Eisriesenwelt cave (Austria). *Scientific Reports*, 14, 11001; <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61668-1>
- SPÖTL C., KOLTAI G. 2025 – Cryogenic cave carbonates: New insights from alpine ice caves. *Chemical Geology*, 685, 122808; <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2025.122808>
- SPÖTL C., WIMMER M., PAVUZA R., PLAN L. 2017 – Ice Caves in Austria. [W:] Perşoiu A., Lauritzen S-E. (red.), *Ice Caves*. Elsevier, 237–262; <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811739-2.00013-9>
- STASIEWICZ A. 2024 – Sezonowość warunków termicznych Jaskini Lodowej w Ciemniaku, na podstawie danych obserwacyjnych i modelowych. *Praca licencjacka, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Poznań*.
- STEIN M.A. 1961 – *Kalhaṇa's Rājatarāṅgiṇī: a chronicle of the kings of Kaśmir*. Translated with an introduction, commentary and appendices. London.
- STRUG K., PIASECKI J., SZYMANOWSKI M., SAWIŃSKI T., ZELINKA J. 2006 – Quantitative character of the bottom ice in the Demänovská Ice Cave. [W:] Bella P. (red.), *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň, Proceedings of the 5th Scientific Conference, Demänovská Dolina*, 26–29.09.2005. SSI, Liptovský Mikuláš, 167–174.
- STRUG K. 2011 – Klimatyczne uwarunkowania rozwoju zjawisk lodowych w jaskiniach o odmiennych cechach środowiska. 18. *Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław*.
- SZCZYGIEL J. 2024 – The Tatra Mountains – host of the deepest caves in the Carpathians. [W:] Migoń P., Jancewicz K. (red.), *Landscapes and Landforms of Poland*. Springer, 289–299.
- SZUKAŁA P. 2010 – Zmiany bilansu masy lodu w Jaskini Lodowej w Ciemniaku (Tatry Zachodnie, Polska) z zastosowaniem technik trójwymiarowego modelowania jaskiń. [W:] Kotarba A. (red.), *Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem*, tom I. *Tatrzański Park Narodowy, Zakopane*, 145–149.
- TROFIMOVA E., TROFIMOV A. 2019 – World Subterranean Heritage. *Geoheritage*, 11: 1113–1131; <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00351-8>
- TROFIMOVA E.V. 2006 – Cave ice of Lake Baikal as an indicator of climatic changes. *Doklady Earth Sciences*, 410: 1087–1090; <https://doi.org/10.1134/S1028334X06070191>
- VITELLI-HAWKINS Q.Z. 2022 – Ice Deposits in Lava Tubes from West-Central to Central New Mexico as Archived in the Archives of Past Volcanic Eruptions and Climate Change. *USF Tampa Graduate Theses and Dissertations*.
- WILLIAMS K.E., MCKAY C.P., TOON O.B., HEAD J.W. 2010 – Do ice caves exist on Mars? *Icarus*, 209: 358–368; <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2010.03.039>
- WIND M., OBLEITNER F., RACINE T., SPÖTL C. 2022 – Multi-annual temperature evolution and implications for cave ice development in a sag-type ice cave in the Austrian Alps. *The Cryosphere*, 16: 3163–3179; <https://doi.org/10.5194/tc-16-3163-2022>
- YONGE C.J., FORD D., HORNE G., LAURIOL B., SCHROEDER J. 2017 – Ice caves in Canada. [W:] Perşoiu A., Lauritzen S-E. (red.), *Ice Caves*. Elsevier, 285–334; <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811739-2.00015-2>
- ŽÁK K., URBAN J., CÍLEK V., HERCMAN H. 2004 – Cryogenic cave calcite from several Central European caves: Age, carbon and oxygen isotopes and a genetic model. *Chemical Geology*, 206: 119–136; <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.01.012>
- ZORN M., KOMAC B., CAREY A., HRVATIN M., CIGLIČ R., LYONS B. 2020 – The disappearing cryosphere in the southeastern Alps: Introduction to special issue. *Acta Geographica Slovenica*, 60: 109–124; <https://doi.org/10.3986/AGS.9396>
- ZWOLIŃSKI S. 1953 – Jaskinie lodowe. *Wszechświat*, 54: 55–61.
- ZWOLIŃSKI S. 1951 – Grota lodowa w Tatrach. *Zabytki Przyrody Nieożywionej*, 4: 19–23.
- ZWOLIŃSKI S. 1933 – Z podziemnego świata Tatr. *Wierchy*, 11: 205–208.
- ZWOLIŃSKI T. 1923 – Nieznane groty doliny Kościeliskiej. *Wierchy*, 1: 26–43.

Praca wpłynęła do redakcji 16.12.2025 r.
Akceptowano do druku 9.01.2026 r.

PRZEGLĄD GEOLOGICZNY

TOM 74 Nr 2 (LUTY) 2026

Indeks 370908 ISSN-0033-2151



**Brucyt z kopalni serpentynitu
w Nasławicach k. Sobótki**

**Zlepieniec podstawowy cechsztynu
(wucziaping) w okolicach Mieroszyna
na Pomorzu Gdańskim**

**Przydatność surowców ilastych
zawierających smektyty
do zastosowań hydroizolacyjnych**

Zdjęcie na okładce: Profil lodowy w Jaskini Kryształowej w górach Prokletije, Czarnogóra (zobacz art. J. Barabacha i D. Kicińskiej na str. 132). Fot. J. Barabach

Cover photo: Ice profile in the Crystal Cave, Prokletije Mountains, Montenegro (see article by J. Barabach and D. Kicińska on p. 132). Photo by J. Barabach

Znikający świat jaskiń lodowych (patrz str. 132)

The vanishing world of ice caves (see p. 132)



Ryc. 1. Nacieki lodowe w Skalnym Mieście w systemie Jaskini Złotej w górach Prokletije, Czarnogóra. Fot. A. Łada

Fig. 1. Ice speleothems in the Rock City Hall of the Golden Cave system, Prokletije Mountains, Montenegro. Photo by A. Łada



Ryc. 2. Trasa turystyczna w Dobšynskiej Jaskini Lodowej, Słowacja. Fot. D. Kicińska

Fig. 2. Tourist trail in the Dobšinská Ice Cave, Slovakia. Photo by D. Kicińska



Ryc. 3. Sala Lodowa I w Jaskini Lodowej w Ciemniaku w Tatrach Zachodnich, Polska. Fot. A. Łada

Fig. 3. Ice Chamber I in the Ice Cave in Ciemniak, Western Tatras, Poland. Photo by A. Łada