

Zjawiska krasowe w skałach metamorficznych w Masywie Śnieżnika (Sudety Wschodnie): aktualny stan badań oraz znaczenie dla poznania ewolucji Sudetów w późnym kenozoiku

Artur Sobczyk¹, Marek Kasprzak², Adrian Marciszak³, Krzysztof Stefaniak³



A. Sobczyk



M. Kasprzak



A. Marciszak



K. Stefaniak

Karst phenomena in metamorphic rocks of the Śnieżnik Massif (East Sudetes): state-of-the-art and significance for tracing a Late-Cenozoic evolution of the Sudetes. *Prz. Geol.*, 64: 710–718.

Abstract. The paper reviews the recent state of studies for karst phenomena on northern slopes of the Śnieżnik Massif, Krowiarki range and Złote Mts in East Sudetes with particular reference to Biała Łądecka basin. Confined spatial character of the drainage basin and cave sites within allow a better understanding of landscape response to climate and tectonic proxies controlling

landscape evolution at least since the end of Miocene (Messinian). New karst passages discoveries from Niedźwiedzia Cave resulted in the recognition of several sites of allochthonous sediments deposited at different cave morphological levels up to 50 metres above Kleśnica river floor. Furthermore, a new model of polygenetic origin for some karst chambers in Niedźwiedzia Cave originating from karstification processes and mass-movements superimposed has been suggested. Presumably, it may be linked with neotectonic processes and/or climatic changes affecting East Sudetes during the Late Cenozoic.

Keywords: karst, speleogenesis, cave palaeontology, landscape evolution, neotectonics, Sudetes

Do niedawna można było odnieść wrażenie, że problematyka badań krasu w Sudetach została już wyczerpana, a jego eksploracyjny potencjał nie jest wysoki. Jak dalece niesłuszne były te przypuszczenia, pokazały lata 2011–2014. Okres ten przyniósł spektakularne odkrycia będące następstwem eksploracji Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie – systemu krasowego w Sudetach Wschodnich znanego od 1966 r. Grupa grotolazów w latach 2011–2012 udokumentowała 1680 m nieznanych wcześniej korytarzy jaskiniowych (Kostka, 2012), docierając m.in. do rozległej, jak na warunki sudeckie, i niezwykle bogatej w szatę naciekową Sali Mastodonta. W kolejnym okresie działań (2013–2014) odkryto ok. 500 m następnych korytarzy oraz wyznaczono całkowitą głębokość systemu Jaskini Niedźwiedziej, która wynosi obecnie 118,3 m, pretendując do najgłębszej jaskini w Sudetach, wyprzedzając tym samym Szczelinę Wojciechowską w Górach Kaczawskich (głębokości 113 m). Aktualna długość poznanego systemu Jaskini Niedźwiedziej przekracza 4500 m, przy czym wciąż są odnotowywane dalsze postępy w eksploracji nowych odcinków jaskini oraz jest uszczegółowiana dokumentacja licznych ciągów o drugorzędym znaczeniu. Niedawne odkrycia speleologów potwierdzają możliwości i konieczność dalszego rozpoznania systemu krasowego w dolinie Kleśnicy, a w szerszym kontekście również w skali całego Masywu Śnieżnika i Krowiarek. Intensywne przed laty badania geologiczno-geomorfologiczne tego obszaru (m.in. Jahn i in., 1989, 1996), przynajmniej jego kenozoicznego

etapu rozwoju, straciły ostatnio na impecie i nie mają odniesienia do tempa prac eksploracyjnych w tej jaskini. Celem artykułu jest krótkie podsumowanie stanu badań krasu w Sudetach Wschodnich, ze szczególnym uwzględnieniem nowych danych geologicznych z Jaskini Niedźwiedziej oraz charakterystyka pozostałych stref objętych procesami krasowania na obszarze zlewni rzeki Białej Łądeckiej.

BUDOWA GEOLOGICZNA

Zjawiska krasowe na obszarze zlewni Białej Łądeckiej rozwinęły się w obrębie skał suprakrystalnej serii strońskiej, przypuszczalnie górnoproterozoiczno-kambryjskiej (Gunia, 1997) lub według nowszych prac dolnokambryjskiej (~532 Ma; Mazur i in., 2015). Na serię tę składają się silnie sfałdowane łupki łuszczycowe, paragnejsy, amfibolity, kwarcyty, marmury oraz erlany. Marmury obszaru badań tworzą wydłużone soczewy oraz wąskie przewarstwienia z łupkami łuszczycowymi, czym nawiązują do pierwotnej ilasto-wapiennej sekwencji osadowej (Kozłowski, 1989). Pod względem petrograficznym marmury charakteryzują się dużą zmiennością stopnia dolomityczności wyrażonego stosunkiem MgO/CaO, co pozwala na wyróżnienie trzech odmian litologicznych reprezentowanych przez marmury dolomityczne, kalcytowe oraz kalcytowo-dolomityczne. Skały metaosadowe i metawulkaniczne serii strońskiej przeszły skomplikowaną i wielofazową przebudowę w facjach zieleńcowej do amfibolitowej, przy ciśnieniach rzędu

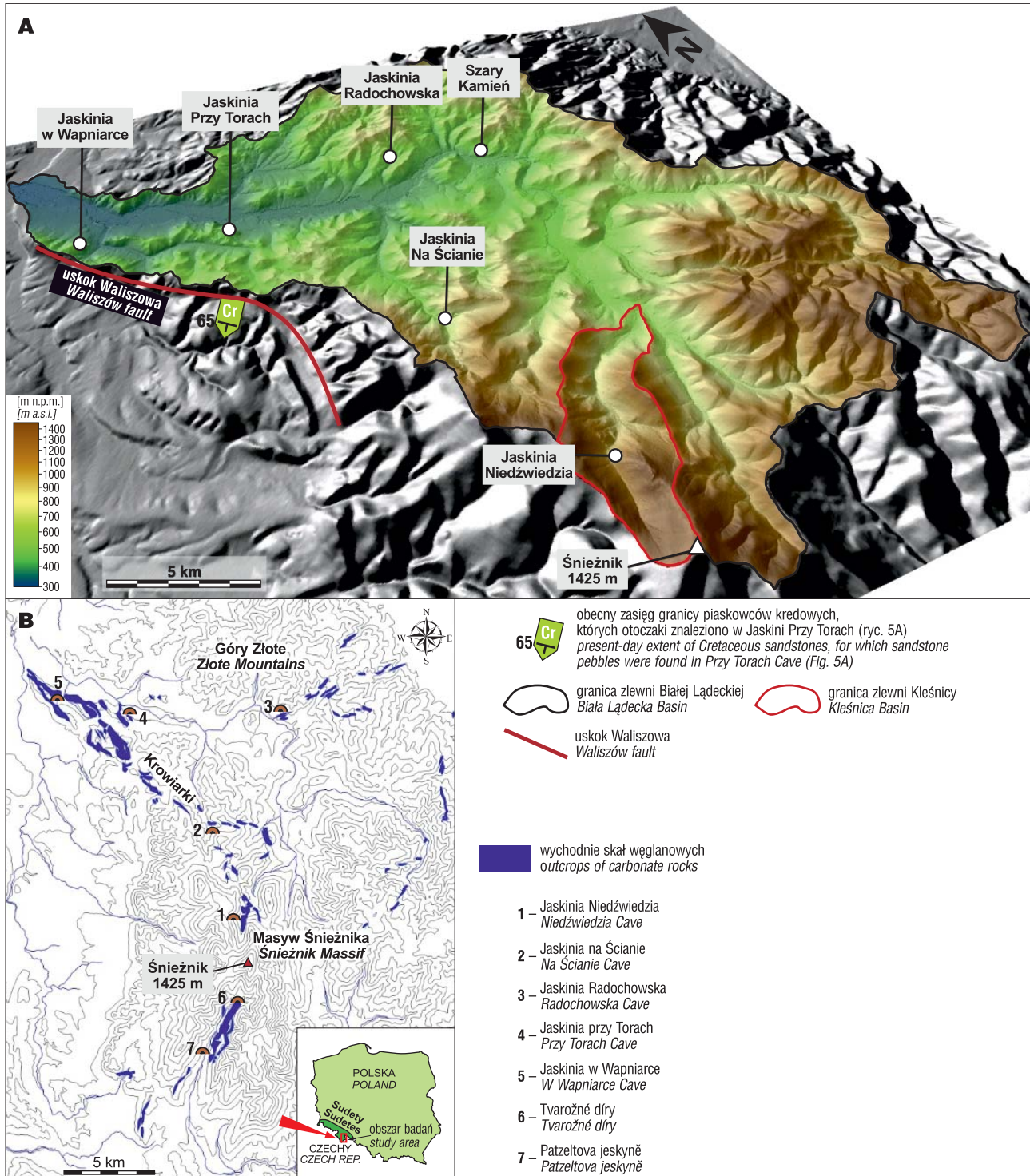
¹ Zakład Geologii Strukturalnej i Kartografii Geologicznej, Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław; artur.sobczyk@uwr.edu.pl.

² Zakład Geomorfologii, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, Uniwersytet Wrocławski, pl. Uniwersytecki 1, 50-137 Wrocław; marek.kasprzak@uwr.edu.pl.

³ Zakład Paleozoologii, Instytut Biologii Środowiskowej, Uniwersytet Wrocławski, ul. Sienkiewicza 21, 50-335 Wrocław; adrian.marciszak@uwr.edu.pl, krzysztof.stefaniak@uwr.edu.pl.

5,5–7,0 kbar i temperaturach na poziomie 500–650°C (Wojciechowska, 1986; Koszela, 1997). Szczegółowa analiza mezo- i mikrostrukturalna uwidoczniała pięć etapów deformacji tektonicznych skał formacji strońskiej (Jastrzębski, 2008), decydując o znacznej zmienności rozkładu marmu-

rów. Wychodnie skał krasowięjących w polskiej części Sudetów zajmują ok. 15 km² (Pulina, 1977), z czego na obszarze Masywu Śnieżnika, Krowiarek i Gór Złotych całkowita ich powierzchnia w obrębie formacji strońskiej wynosi ok. 6 km² (ryc. 1).



Ryc. 1. A – cyfrowy model terenu zlewni Białej Łądeckiej i Masywu Śnieżnika w Sudetach Wschodnich; B – wychodnie skał węglanowych (kolor niebieski) na obszarze Masywu Śnieżnika, Krowiarek i Gór Złotych wraz z lokalizacją wybranych jaskiń
Fig. 1. A – Digital Elevation Model of the Biała Łądecka Basin and Śnieżnik Massif in the East Sudetes; B – outcrops of carbonate rocks (blue colour) in the Śnieżnik Massif, Krowiarki range and Złote Mountains with locations of selected caves

GENEZA JASKIŃ SUDECKICH – ZARYS PROBLEMATYKI

Geneza oraz wiek jaskiń sudeckich dotychczas nie zostały dostatecznie dobrze wyjaśnione, choć problem ten był podejmowany przez wielu autorów (patrz Paulina, 1977 i literatura tam cytowana). Pulina (1977) w opracowaniu dotyczącym zjawisk krasowych w Sudetach sugerował, że sudecki system krasowy można korelować z horyzontami powierzchni zrównań morfologicznych. Pogląd ten stanowi nawiązanie do teorii Walczaka (1968), który na obszarze Masywu Śnieżnika doszukiwał się paleogeńskich założeń dolin rzecznych, skierowanych ku wschodowi lub południowemu wschodowi. Za słuszością modelu przemawiałyby także poziomy morfologiczne jaskiń w okolicach Wojcieszowa (Góry Kaczawskie, Sudety Zachodnie). Trzy główne poziomy jaskiniowe wyróżnione przez tego badacza miały wykształcić się w okresach spokoju tektonicznego: (i) paleogenie, (ii) oligocenie późnym–miocenie wczesnym oraz (iii) pliocenie wczesnym. Również Don (1989) wyróżnił powierzchnie zrównań dla rejonu Masywu Śnieżnika, wskazując na ciągłość procesów wypiętrzających, których początki mają sięgać koniak (ok. 82 Ma). W konsekwencji zróżnicowania tempa ruchów wypiętrzających zmianie miałyby podlegać nateżenie erozji dolin rzecznych, a w okresach spokoju tektonicznego miały się tworzyć powierzchnie zrównań, z rozwojem których autor ten wiązał genezę zjawisk krasowych w Masywie Śnieżnika. Z kolei Migoń (1997), zestawiając kontrastujące ze sobą niekiedy poglądy na temat przetrwałych elementów rzeźby oraz inne przesłanki natury geologicznej znane z literatury, stwierdził, że z powodu braku jednoznacznych dowodów rozwój współczesnej rzeźby trudno rozpatrywać w perspektywie dalszej niż paleogen (oryginalnie „trzeciorzęd”). Również ten autor wydzielił poziomy wysokościowe 1100–1300 m n.p.m. oraz 820–994 m n.p.m., na których znajdują się resztki dawnych powierzchni, będących „echem” minionych zrównań, obniżonych później przez denudację i przekształconych przez procesy peryglacjalne. Migoń (1997) uznał te horyzonty morfologiczne za jednowiekowe, zdyslokowane tektonicznie i nie młodsze niż mioceńskie. Młodszą, górnoplioceniową miałyby być natomiast powierzchnia zrównania podstokowego towarzysząca dolinom rzecznych, która nawiązuje do dna Kotliny Kłodzkiej, co dokumentują zawierające florę osady ilaste zdeponowane na skaolinizowanych zwietrzelinach (Jahn i in., 1984). Teorię Puliny (1977) na temat związku poziomów jaskiniowych z horyzontami powierzchni zrównań podważył Rogala (2003), który na podstawie badań w rejonie góry Połom (Góry Kaczawskie w Sudetach Zachodnich) dowodził, że system pustek krasowych wykazuje dominujący udział składowej pionowej, a jego geneza może być związana z różnicowaniem się rzeźby w następstwie procesów tektoniczno-denudacyjnych. Sytuację morfologiczną Masywu Śnieżnika dodatkowo komplikuje fakt, że podobnie jak inne obszary Sudetów jest on pocięty gęstą siecią uskoku o różnym biegu i zasięgu, z którymi często zgdzają się zarysy większych form terenu. Zagadnieniem tym zajął się m.in. Ransozek (1999), który potwierdził morfometrycznie istnienie strefy deformacji tektonicznej równoległej do uskoku Wilkanowa, postulowanej przez Srokę (1997) i Migonia (1997). Ożywienie jej aktywności

mogło mieć miejsce na przełomie pliocenu i plejstocenu (Sroka, 1997). Problematykę tę podjęli również Sobczyk i Kasprzak (2014), prezentując model blokowego wychYLENIA lokalnych jednostek strukturalnych Masywu Śnieżnika, w następstwie czego miało dojść do rozwoju dominującego północno-zachodniego kierunku odwodnienia lokalnych zlewni. Zachodnia część Masywu Śnieżnika na pograniczu z Rowem Górnej Nysy Kłodzkiej doczekała się również rozpoznania geologiczno-geofizycznego, które stało się przedmiotem ożywionej dyskusji naukowej (Badura i in., 2005; Don & Wojewoda, 2005).

JASKINIA NIEDŹWIEDZIA – NOWY ROZDZIAŁ W BADANIACH KRASU SUDECKIEGO

Zakładano, że rozwój zjawisk krasowych w Jaskini Niedźwiedziej rozpoczął się w momencie, gdy erozja doprowadziła do odsłonięcia soczewy marmurów w rejonie widocznego dziś zapadliska krasowego zwanego Wielkim Lejem (Kozłowski, 1989). Potencjalnie powinien on zawierać pozostałości osadów Prakleśnicy, jednak badania geofizyczne nie potwierdziły istnienia w tym obszarze głębszych poziomów pustek krasowych (por. Kasprzak i in., 2015). Odkrycie tzw. partii Mastodonta w Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie w 2011 r. wykazało istnienie wewnątrz soczewy marmurów szeregu nowych korytarzy i sal, z bogatym zapisem etapów rozwoju tego systemu krasowego. Prace geologiczne we wnętrzu jaskini są prowadzone przez autorów artykułu od 2013 r., we współpracy ze speleologami z Sekcji Grotołazów Wrocław (SGW) oraz badaczami z innych ośrodków akademickich. W okresie tym wewnątrz jaskini wykonano m.in. kartowanie speleologiczne (ryc. 2A), kartowanie geologiczne mezo- i mikroform strukturalnych, obserwacje pozycji zawalisk oraz form naciekowych, a także badania sedymentologiczne osadów allochtonicznych. Na ich podstawie wyróżniono dotychczas dwa reprezentatywne stanowiska osadów autochtonicznych oraz 7 stanowisk utworów allochtonicznych.

Węglanowe osady autochtoniczne w nowych partiach Jaskini Niedźwiedziej najlepiej rozwinęły się w Sali Mastodonta oraz w Sali Humbaków. Cechy morfologiczne obu komór krasowych, ich rozmiary oraz styl depozycji osadu wskazują na polifazowy rozwój procesów krasowych w dolinie Kleśnicy. W Sali Mastodonta zinventaryzowano rozległy obryw zainicjowany na wschodniej ścianie komory. Powstałe blokowisko zajmuje cały przekrój sali i tworzy stromy, nachylony pod kątem 30–45° stożek, z pojedynczymi blokami przekraczającymi 10 m (Stół, Autobus). Podobne w stylu zjawisko kolapsu ścian i stropu komory krasowej w strefie kontaktu skał węglanowych i serii łupkowo-paragnejsowej zostało stwierdzone w rejonie stanowiska Kutaśnik (ryc. 2D). Powyższe obserwacje wskazują, że przynajmniej częściowo system Jaskini Niedźwiedziej przeszedł polifazową ewolucję, której efektem są formy poligenetyczne powstałe w następstwie pierwotnych procesów krasowienia oraz ruchów masowych związanych z kolapsem jego produktów. Doniesienia o krasowo-zawaliskowej składowej w genezie systemu Jaskini Niedźwiedziej nie były dotychczas przedmiotem szczegółowych rozważań, a ich dokładne rozpoznanie jest przedmiotem aktualnie prowadzonych badań. Obserwacje

strukturalne z nowych partii jaskini zdają się również potwierdzać wcześniejsze koncepcje o wielokrotnej deformacji jednego pokładu wapieni krystalicznych, który w rezultacie przyjął formę silnie ściśniętych fałdów monoklinalnych (Don, 1989). Badania geologiczne nie wykluczają również roli procesów neotektonicznych, paleosejmicznych lub innych zjawisk o dotychczas niewyjaśnionej genezie (m.in. zmiany klimatyczne w późnym plejstocenie i holocenie) w modelowaniu systemu krasowego Masywu Śnieżnika.

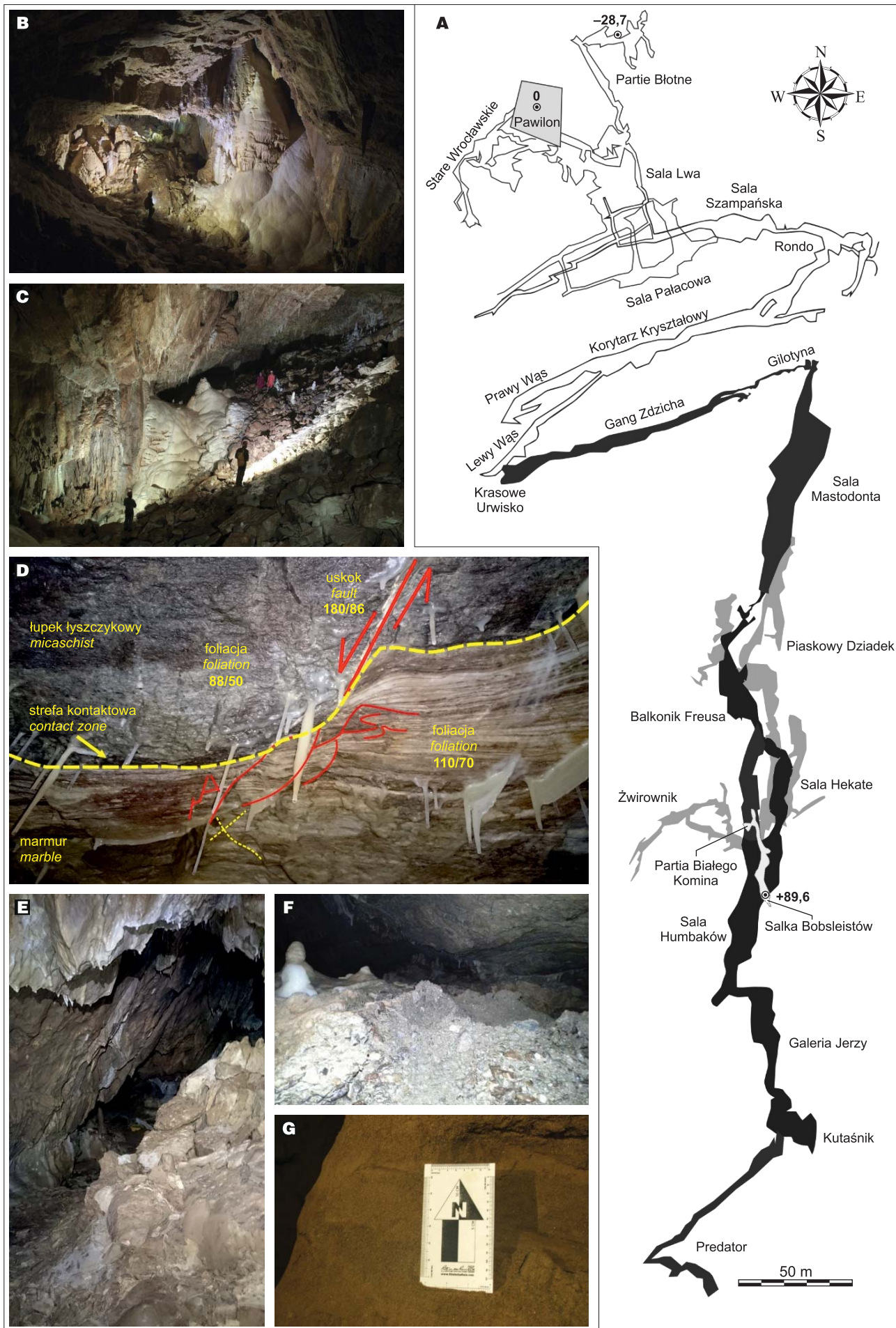
Osady allochtoniczne nowych partii są reprezentowane głównie przez piaski, żwiry oraz zlepienie jaskiniowe. Najlepiej wykształcony profil osadów piaszczystych jest zlokalizowany na stanowisku Piaskowy Dziadek (ryc. 2G). Sekwencja tych osadów ma miąższość ok. 1 m; tworzą ją naprzemianlegle warstwowane gruboziarniste piaski, piaski gliniaste oraz drobnoziarniste żwiry. W składzie petrograficznym dominuje kwarc (średnio obtoczony), skalenie oraz łyszczki. W profilu jest zauważalne nieregularne warstwowanie przekątne o średnim kącie upadu 20° oraz kierunku paleotransportu ku ENE. Drugi dobrze wykształcony profil osadów znaleziono na stanowisku Żwirownik. Został on stwierdzony w końcowym odcinku wąskiej szczeliny krasowej; jego miąższość przekracza 5 m, a stropowy fragment pokrywa ok. 1 cm miąższości polewa kalcytowa, na której zalega rumosz skalny pochodzący z obrywu. Osady Żwirownika tworzą słabo wysortowane żwiry drobno- i średnioziarniste, miejscami przechodzące w żwiry gruboziarniste. Stwierdzono tu również występowanie zlepieńców jaskiniowych, powstałych w wyniku scementowania pierwotnie luźnego osadu spoiwem węglanowym, strącanym z migrujących wód krasowych. Dobrze obtoczone żwiry skał krystalicznych Masywu Śnieżnika, w przeciwieństwie do obserwacji ze starych partii jaskini (Pulina, 1970), udokumentowano nie tylko w sąsiedztwie obecnie aktywnych stref drenażu, ale co znamienne również w górnym, obecnie całkowicie suchym piętrze. Na stanowisku Balkonik Freusa stwierdzono półmetrowej miąższości profil, składający się ze słabo obtoczonych średnio- i gruboziarnistych żwirów (kwarc, gnejsy, łupki łyszczkowe, amfibolity), które spoczywają na cokole skalnym kanału krasowego o eliptycznym przekroju. Jest to najwyżej dotychczas stwierdzone względem obecnego dna doliny (ok. +50 m) stanowisko żwirów allochtonicznych, kluczowe do celów rekonstrukcji późnokenozoicznego etapu obniżania lokalnej bazy erozyjnej w dolinie Kleśnicy. Osady o podobnym charakterze zostały również udokumentowane na półkach skalnych w Sali Hekate oraz na poziomie Galerii Jerzy (ryc. 2F), gdzie wykazują zaawansowane procesy fosylizacji. Brak korelatywnych osadów tego typu w dolinie Kleśnicy (por. Kozłowski, 1989) wskazuje na potencjalnie unikatowy charakter opisywanych stanowisk, jako możliwych rezerwuarów historii plioceńsko-plejstoceńskich paleoprzepływów. Dlatego podjęto m.in. próbę rekonstrukcji wieku pogrzebienia omawianych osadów piaszczysto-żwirowych metodami analizy izotopów kosmogenicznych powstających *in situ* (prace nad datowaniami trwają). Najwyżej położonym dotychczas znanym stanowiskiem osadów jest Salka Bobleistów (+89,6 m ponad poziom pawilonu wejściowego) (ryc. 2A), gdzie stwierdzono obecność piasku pylastego o barwie jasnokremowej z dużą zawartością węgla wap-

nia oraz fragmentami szaty naciekowej. Z kolei w obszernym ciągu położonym w piętrze środkowym, nazywanym Gangiem Zdzicha, zlokalizowano stanowisko gruboziarnistych żwirów (rozmiar pojedynczych otoczków >15 cm), w bliskim sąsiedztwie aktywnego podziemnego przepływu wód Kleśnicy. W części stropowej tej strefy, ok. 20 m nad dnem szczeliny, występują częściowo zlitfikowane osady jaskiniowe (zlepieniece jaskiniowe) oraz luźne piaski przetrwałe w szczelinach i owalnych kawernach. Powyższe informacje nie wyczerpują zagadnienia osadów jaskiniowych, przy czym należy zauważyć, że nowe odkrycia znacznie wzbogacają dotychczasowy stan wiedzy w tym zakresie dla Masywu Śnieżnika (por. Rogala i in., 1998), stanowiąc dobrą perspektywę do ich dalszych badań.

BADANIA GEOFIZYCZNE

W rejonie Jaskini Niedźwiedziej pomiary geofizyczne prowadzono już przed 50 laty. Za pomocą profilowania geoelektrycznego starano się w latach 60. XX w. wyznaczyć zasięg skrasowiałych wapieni krystalicznych oraz potwierdzić możliwość istnienia ewentualnych przedłużeń znanych już korytarzy jaskiniowych (patrz Jodłowski, 1989). Później Bieroński (1978) w marmurowej soczewie Słupca w masywie Krowiarek poszukiwał dowodów na istnienie pustek krasowych odpowiedzialnych za podziemny przepływ wód na 2,5-kilometrowym odcinku z okolic Romanowa (ponory) do Żelazna (wywierzysko). Kolejne badania prowadzone w rejonie Jaskini Niedźwiedziej (Szykiewicz, 2012) z użyciem georadaru Mała RAMAC o częstotliwości 250 MHz nie przyniosły zadowalających efektów. Pomocne w określaniu relacji przestrzennej korytarzy Jaskini Niedźwiedziej względem powierzchni terenu okazały się namierzania radiolokacyjne, wykonywane w 2013 r. przez grupę speleologiczną SGW (wiadomość ustna S. Kostka – 2014). Wobec potwierdzonych informacji o nowych odkryciach korytarzy krasowych w latach 2014–2015 podjęto kolejną inicjatywę rozpoznania geofizycznego wschodnich zboczy doliny Kleśnicy (Kasprzak i in., 2015). W jej ramach wykonano 13 profili georadarowych (GPR – *ground penetrating radar*) oraz 12 profili elektrooporowych (ERT – *electrical resistivity tomography*) o długościach 265–596 m. Pomiary GPR wykonywano przy użyciu anten o częstotliwościach 250 MHz oraz 52 MHz. W badaniach ERT stosowano konfigurację elektrod Wenner-Schlumberger, umożliwiającą wykrywanie zarówno horyzontalnych, jak i wertykalnych struktur podłoża, a przy przetwarzaniu danych wynikowych w oprogramowaniu RES2DINV inwersję L1. Profile pomiarowe wyznaczono zarówno prostopadle, jak i równoległe do osi doliny Kleśnicy.

Pomiary GPR wykonywane anteną o częstotliwości 250 MHz wykazywały istnienie horyzontu 2–3 m pod powierzchnią terenu, który powodował silne odbicie sygnału. Horyzont ten można wiązać ze strefą przejściową między saprolitem a zwięzłą skałą podłoża. Użycie anteny 52 MHz, służącej osiągnięciu lepszej penetracji podłoża, pozwoliło na wyróżnienie pustek krasowych na różnych głębokościach (rejon Lewego i Prawego Wąsa). Rezultaty badań GPR uzupełniono pomiarami ERT. Na wynikowych modelach inwersyjnych pustki krasowe odróżniają się od otoczenia skalnego jako pola o skrajnie wysokich wartościach



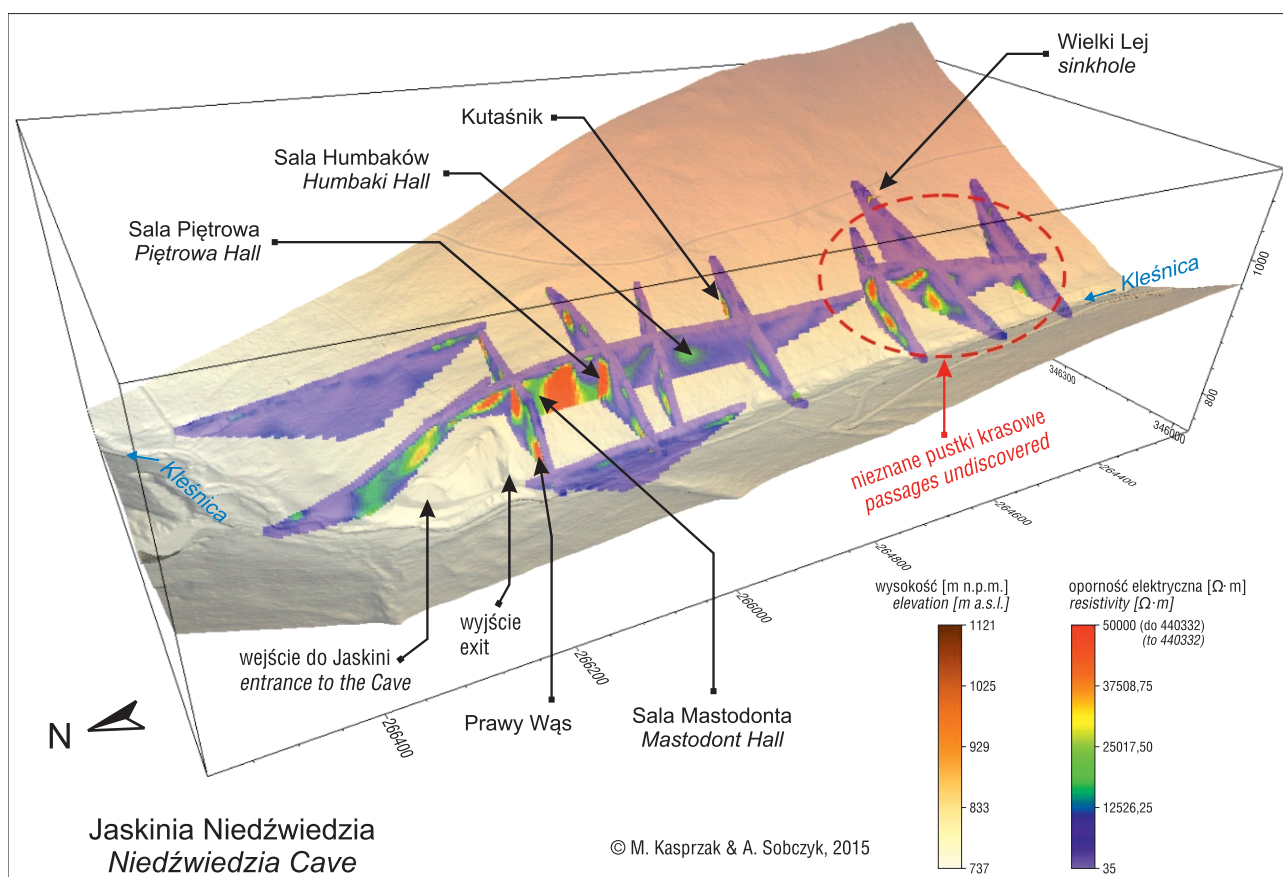
Ryc. 2. A – plan Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie; opracowanie własne na podstawie niepublikowanych materiałów autorstwa A. Haczek i S. Kostki z lat 2011–2014. Na planie zaznaczono pozycję oraz wysokość względem pawilonu wejściowego dla najniższej i najwyższej położonych stanowisk pomiarowych; **B, C** – Sala Mastodonta z bogactwem szaty naciekowej (**B**) oraz stromo nachylonym stożkiem usypiskowym (**C**), powstałym po obrywie części komory krasowej (fot. A. Haczek); **D** – strefa kontaktowa marmurów z łupkami łyszczykowymi formacji strońskiej w Sali Kutaśnik (fot. A. Sobczyk); **E** – Predator, najdalsza aktualnie poznana część Jaskini Niedźwiedziej (fot. A. Sobczyk); **F** – różnofrakcyjne piaski i żwiry allochtoniczne zdeponowane na półce krasowej w Galerii Jerzy, ok. 50 m nad współczesnym dnem doliny Kleśnicy (fot. A. Sobczyk); **G** – przekątnie warstwowana ($\sim 20^\circ$) sekwencja piaszczysto-żwirowa na stanowisku Piaskowy Dziadek o miąższości przekraczającej 1 m (fot. A. Sobczyk)

Fig. 2. A – schematic plan for the Niedźwiedzia Cave in Kletno; based on unpublished materials collected during 2011–2014, in courtesy of A. Haczek and S. Kostka. Highest/lowest position and height above/below referring level located around cave entrance hall are marked; **B, C** – Mastodont Hall with calcite flowstones (**B**) and steeply inclined fan-shaped cone (**C**) originated from cave void collapse (photo by A. Haczek); **D** – contact zone between marbles and mica schists with selected structural data from Kutaśnik Hall (photo by A. Sobczyk); **E** – Predator, farthest known conduit in Niedźwiedzia Cave; **F** – mixed sands and conglomerates deposited in Jerzy Hall, ca. 50 m above present-day Kleśnica valley floor (photo by A. Sobczyk); **G** – cross-bedded deposits (mostly sands) at Piaskowy Dziadek site with total depth exceeding 1 m (photo by A. Sobczyk)

←

oporności elektrycznej (nawet $100 \text{ k}\Omega\text{m}$ i więcej). Umożliwiło to porównanie układu znanych korytarzy Jaskini Niedźwiedziej z modelem korytarzy uzyskanych z profili prowadzonych nad znanymi częściami Jaskini. Otrzymany obraz pozwolił na wyróżnienie głównych pięter morfologicznych jaskini. Układają się one na poziomach: (i) współczesnego dna rzeki Kleśnicy, (ii) 30–60 m n.p.rz. oraz (iii) 70–80 m n.p.rz. Oprócz nich istnieją jednak horyzonty mniejszych, dotychczas nierozpoznanych korytarzy. Ważnym osiągnięciem przeprowadzonych pomiarów było

stwierdzenie rozległych pustek krasowych na południe od dotychczasowych obszarów eksploracji jaskini, poniżej zapadliska krasowego, tzw. Wielkiego Leja i dalej w górę doliny Kleśnicy. Choć przesłanki w tym zakresie zostały potwierdzone już wcześniej, m.in. za pomocą barwienia wód krasowych uraniną (Ciężkowski & Madera, 1985), modele inwersyjne wskazały na istnienie korytarzy jaskiniowych znacznych rozmiarów (ryc. 3). Wykonane pomiary ERT pozwoliły ponadto na określenie miąższości soczewy skał krasowięjących, która została oszacowana na ok. 100 m.



Ryc. 3. Wynikowy model 3D badań elektrooporowych w rejonie Jaskini Niedźwiedziej wraz z korelacją widocznych stref o podwyższonej oporności elektrycznej z rozkładem znanych ciągów krasowych. W rejonie Wielkiego Leja stwierdzono obecność nieznanego dotąd systemu pustek krasowych

Fig. 3. Final 3D model for electrical resistivity tomography in the area of Niedźwiedzia Cave together with correlation between higher resistivity areas and distribution of known karst conduits. In the vicinity of Wielki Lej sinkhole some undiscovered passages have been recorded

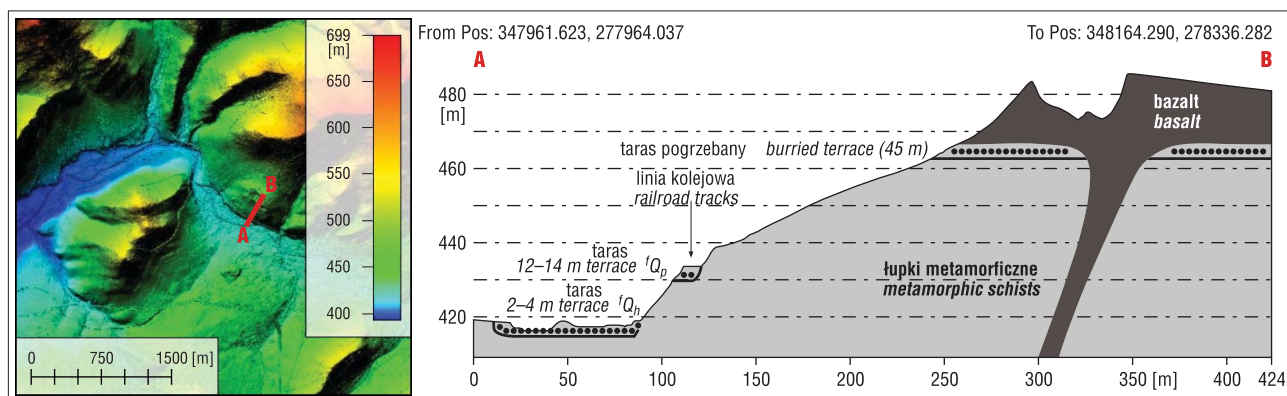
BADANIA PALEONTOLOGICZNE

O ekspozycji pustek krasowych w przeszłości geologicznej świadczą również znaleziska paleontologiczne. Historię fauny ssaków Masywu Śnieżnika ostatniego zlodowacenia dokumentują dwa znacząco różne okresy. Pierwszy, obejmujący przedział czasowy pomiędzy 80 a 20 tys. lat temu, to okres występowania dużych, masywnych form tzw. przedstawicieli megafauny, związanych z terenami otwartymi. W miarę ustępowania lądolodu i pojawiania się lasów nastąpił ich zanik i powstanie mniejszych, bardziej plastycznych ewolucyjnie gatunków. Uzyskane do tej pory datowania szczątków sugerują ich występowanie w różnych fazach ostatniego zlodowacenia, głównie w interstadiale Grudziądzka, chociaż uzyskano także daty starsze, wskazujące na początek zlodowacenia wisły (Bieroński i in., 2007; Gąsiorowski & Hercman, 2014). Na obszarze Masywu Śnieżnika szczątki fauny znaleziono w czterech jaskiniach: Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie, Jaskini Radochowskiej, Jaskini Biały Kamień w Kletnie i Jaskini przy Torach w Ołdrzychowicach. Najbogatszym w szczątki zwierząt stanowiskiem jaskiniowym jest Jaskinia Niedźwiedzia, badana w latach 1968–1997. Jaskinia Radochowska była eksplorowana w latach 30. XX w. (badania niemieckie) i w latach 80. XX w. (badania weryfikujące). W Jaskini Niedźwiedziej stwierdzono 36 taksonów kręgowców i 29 gatunków ślimaków w osadach datowanych na ostatnie 90–80 tys. lat. W Jaskini Radochowskiej znaleziono 37 taksonów ssaków z podobnie datowanego przedziału czasu. Reprezentują one różne grupy ekologiczne, od stepotundrowych po eurytopowe i leśne. Znaleziono także nieliczne szczątki ślimaków. W górnoplejstocenijskich osadach z Jaskini Niedźwiedziej odkryto również szczątki olbrzymiego stepowego niedźwiedzia brunatnego *Ursus arctos priscus*. Gdy rozległe, otwarte tereny trawiaste w postglacjale zaczęły zanikać, ta wielka mięsożerna forma została zastąpiona przez mniejszego wszytkożernego *Ursus arctos arctos* (Marciszak i in., 2016). W Korytarzu Człowieka Pierwotnego Jaskini Niedźwiedziej znaleziono szczątki pardwy mszarnej *Lagopus lagopus*, co sugeruje występowanie w pobliżu jaskini środowisk tundrowych, lasotundry i torfowisk. Drobne ssaki wskazują na występowanie środowisk otwartych, lasów i licznych cieków.

Wśród ssaków kopytnych na uwagę zasługują górnoplejstocenijskie znaleziska renifera *Rangifer tarandus*, żubra pierwotnego *Bison priscus* i kozicy *Rupicapra rupicapra* (Stefaniak, 2015). Dotychczasowe badania nie potwierdziły występowania artefaktów człowieka paleolitycznego w żadnej z omawianych jaskiń.

DYSKUSJA

Mała powierzchnia wystąpień skał i osadów wewnątrz masywu górskiego, umożliwiających systematyzację geochronologiczną kenozoiku, znacznie utrudnia dokonywanie rekonstrukcji najmłodszych etapów rozwoju Sudetów. Badania takie są prowadzone na styku trzech domen: tektoniki, klimatu i topografii, gdzie istotną rolę odgrywają natężenie procesów wypiętrzania i denudacji, warunkujące różnicowanie się rzeźby. Dotychczasowe dane dotyczące późnokenozoicznej fazy nierównomiernego blokowego dźwignia Sudetów wskazują, że wypiętrzenie Masywu Śnieżnika było rzędu 500–1000 m (Dybor, 1975), rozpoczynając się w paleogenie (oligocen) i osiągając swoje maksimum w pliocenie (5,33–2,58 Ma). Z kolei wskaźniki tempa denudacji w Sudetach Wschodnich uzyskać można na podstawie wystąpienia lawy bazaltowej pokrywającej żwiry rzeczne Białej Łądeckiej, odsłaniające się w łomie Szary Kamień w Łądku-Zdroju (ryc. 4). Bazanity pokrywające wyniesiony 45-metrowy taras, datowane metodą K-Ar na $5,46 \pm 0,23$ Ma, wskazują na późnomiocenijską i wczesnopliocenijską (messyn–zankl) aktywność wulkaniczną tego obszaru (Birkenmajer i in., 2002). Uzyskany wiek prawdopodobnie wiąże się z najmłodszym (trzecim w kenozoiku i jednocześnie najsłabszym) paroksyzmem wulkanizmu na obszarze czeskiej prowincji magmowej (Ulrych i in., 2011), jaki wystąpił jedynie w tej części Sudetów (Badura i in., 2006). Bezpośrednie przeliczenie wymienionych wartości wskazywałoby na obniżanie się poziomu koryta rzeki Białej Łądeckiej średnio o ok. 0,008 mm rocznie. Stanowisko w Szarym Kamieniu stanowi jedyny znany w Sudetach poziom tarasowy datowany metodą bezwzględna i dodatkowo wieku przedczwartorzędowego. Jest on położony znacznie wyżej niż inne wysokie, powszechnie uznawane jako plejstocenijskie, tarasy Białej Łądeckiej (12–14 m n.p.r. – taras na cokole skalnym, 5–6 m n.p.m.). Nie można



Ryc. 4. Schematyczny przekrój geologiczno-geomorfologiczny przez dolinę Białej Łądeckiej na wysokości nieczynnego łomu bazaltu Szary Kamień w Łądku-Zdroju

Fig. 4. Schematic geological-geomorphological cross section for Biała Łądecka valley in the vicinity of abandoned basalt quarry Szary Kamień in Łądek-Zdrój area



Ryc. 5. Jaskiniowe osady allochtoniczne z obszaru zlewni Białej Łądeckiej: **A** – piaskowiec kredowy z Jaskini Przy Torach; **B** – gnejs śnieżnicki ze stanowiska Rondo, Jaskinia Niedźwiedzia; **C** – piasek drobnziarnisty z górnych części Gangu Zdzicha, Jaskinia Niedźwiedzia

Fig. 5. Allochthonous deposits from caves within Biała Łądecka Basin: **A** – cretaceous sandstone found in Przy Torach Cave; **B** – gneissic (Śnieżnik Formation) gravel sampled in Rondo area; **C** – fine-grained sands from Gang Zdzicha

wykluczyć, że mogą to być osady korelujące się ze żwirami zachowanymi w pustkach krasowych, zwłaszcza że osady starsze od plejstocenu rozpoznano w Sudetach w kilkunastu jaskiniach i formach krasu powierzchniowego (Rogała i in., 1998). Przedczwartorzędowy wiek osadów jaskiniowych określano za pomocą kryteriów stratygraficznych analizami petrograficznymi i chemicznymi, a w dwóch przypadkach faunistycznie (Pulina, 1977). Osobną kwestię stanowi tempo denudacji obszarów zbudowanych ze skał węglanowych, silnie zależne od warunków klimatycznych. Współczesna denudacja chemiczna na obszarach krasowych w Sudetach została określona przez Pulinę (1977) na poziomie 0,0205–0,0333 mm/rok, przy wartości ablacji krasowej 0,0248–0,139 mm/rok. Z kolei Rzonca i Buczyński (2013) dla zlewni potoku Jaskiniec, odwadniającego rejon Jaskini Radochowskiej, wyznaczyli tempo denudacji chemicznej skał węglanowych na poziomie 0,203 mm/rok. Wysokie wartości współczynników denudacji odnoszą się jedynie do wąskich stref występowania skał węglanowych i nie mogą być interpretowane w szerszym kontekście obszarowym. Również kwestią dotychczas nierozwiązaną pozostaje zmienność tempa denudacji Sudetów w późnym kenozoiku, w której znaczącą rolę z pewnością odegrały czynniki klimatyczne przy aktywnym udziale tektoniki.

PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki wskazują, że badania jaskiń sudeckich, w tym zwłaszcza na obszarze Masywu Śnieżnika, w obrębie jednego systemu hydrograficznego zlewni Białej Łądeckiej, mogą dostarczyć cennych informacji na temat późnokenozoicznego etapu rozwoju Sudetów. Potwierdzenie wcześniejszych doniesień (Rogała i in., 1998) o występowaniu w osadach Jaskini przy Torach (28 m n.p.rz.) otoczków piaskowców kredowych (ryc. 5), których najbliższe wychodnie znajdują się obecnie ok. 3 km na południe, poza zlewnią Białej Łądeckiej, wskazuje, że system tej zlewni stanowi jeden z kluczowych elementów w rekonstrukcji tektoniczno-denudacyjnej ewolucji rzeźby Sudetów. Ze względu na ograniczoną objętość niniejszego artykułu, podyktowaną wymogami formalnymi, prezentowane informacje są jedynie ogólne i nie wyczerpują całości analizowanych zagadnień. W kontekście wciąż postępującej eksploracji Jaskini Niedźwiedziej dalszym krokiem w badaniach nad ewolucją Masywu Śnieżnika będzie opracowanie planu strukturalnego w głębszej budowy geologicznej Jaski-

ni Niedźwiedziej oraz prezentacja nowego modelu ewolucji rzeźby krasowej, bazującego m.in. na chronostratygrafii osadów jaskiniowych.

Badania zostały zrealizowane m.in. dzięki środkom finansowym dla młodych badaczy (M.K. 2170/M/IGRR/14, 1233/M/IGRR/15 oraz A.S. 0420/1459/16) Wydziału Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska Uniwersytetu Wrocławskiego. Prace w rezerwatach przyrody Jaskinia Niedźwiedzia i Śnieżnik Kłodzki były możliwe dzięki uprzejmości Regionalnego Dyrektora Ochrony Środowiska we Wrocławiu. Dziękujemy również firmie MPWiK S.A. Wrocław za udostępnienie sprzętu geofizycznego Cobra Plug-In GPR. Szczególne podziękowania kierujemy do speleologów z Sekcji Grotołazów Wrocław, Ani Haczek i Szymona Kostki, za pomoc w trakcie badań w Jaskini Niedźwiedziej, owocną dyskusję oraz udostępnione materiały. Dziękujemy również za pomoc okazaną w trakcie badań geofizycznych studentom geografii i geologii UW. Informujemy, że wykorzystaliśmy dane cyfrowe LiDAR zgodnie z licencją nr DIO.DFT.DSI.7211.1619.2015_PL_N, wydaną w dniu 7 kwietnia 2015 r. przez Głównego Geodetę Kraju dla WNoZiKŚ UW.

LITERATURA

- BADURA J., PRZYBYLSKI B., ZUCHIEWICZ W., FARBISZ J., SROKA W. & JAMROZ O. 2005 – Tektonika rowu górnej Nysy Kłodzkiej – sporne problemy – dyskusja. *Prz. Geol.*, 53: 206–211.
- BADURA J., PÉCSKAY Z., KOSZOWSKA E., WOLSKA A., ZUCHIEWICZ W. & PRZYBYLSKI B. 2006 – Nowe dane o wieku i petrologii kenozoicznych bazaltoidów dolnośląskich. *Prz. Geol.*, 54: 145–153.
- BIEROŃSKI J. 1978 – Zastosowanie metody elektrooporowej do badań krasowych na wybranych przykładach z Masywu Śnieżnika Kłodzkiego. *Acta Univ. Wratisl. 311, Studia Geogr.*, 24: 97–112.
- BIEROŃSKI J., SOCHA P. & STEFANIAK K. 2007 – Deposits and fauna of the Sudeten caves – the state of research. [W:] Tyc A. & Stefaniak K. (red.), *Karst and Cryokarst. Studies of the Faculty of Earth Sciences, University of Silesia*, 45: 183–201.
- BIRKENMAJER K., PÉCSKAY Z., GRABOWSKI J., LORENC M.W. & ZAGOŹDŻON P.P. 2002 – Radiometric dating of the tertiary volcanics in Lower Silesia, Poland. II. K-ar and palaeomagnetic data from Neogene basanites near Łądek Zdrój, Sudetes Mts. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 72: 119–129.
- CIĘŻKOWSKI W. & MADĚRA E. 1985 – Wyniki badań znacznikowych nad podziemnymi przepływami wód krasowych w Masywie Śnieżnika (Sudety). *Prz. Geol.*, 33: 578.
- DON J. 1989 – Jaskinia na tle ewolucji geologicznej Masywu Śnieżnika. [W:] Jahn A., Kozłowski S. & Wiszniowska T. (red.), *Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie. Badania i udostępnianie, Ossolineum, Wrocław*: 58–79.
- DON J. & WOJEWODA J. 2005 – Tektonika rowu górnej Nysy Kłodzkiej – sporne problemy – odpowiedź. *Prz. Geol.*, 53: 212–221.
- DYJOR S. 1975 – Młodotrzeciorzędowe ruchy tektoniczne w Sudetach i na Bloku Przedśudeckim. [W:] *Współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce*, Wyd. Geol., Warszawa: 121–132.

- GAŚSIOROWSKI M. & HERCMAN H. 2014 – O chronologii osadów w Jaskini Niedźwiedziej. [W:] Stefaniak K., Ratajczak U. & Wróblewski W. (red.), Materiały 48. Sympozjum Speleologicznego. Kletno, 16–19.10.2014: 9–10.
- GUNIA T. 1997 – Problem wieku marmurów okolicy Stronia Śląskiego na podstawie mikroskamieniałości (Sudety). Acta Univ. Wratisl., Pr. Geol.-Mineral., 62: 5–48.
- JAHN A., ŁAŃCUCKA-ŚRODONIOWA M. & SADOWSKA A. 1984 – Stanowisko utworów plioceńskich w Kotlinie Kłodzkiej. Geologia Sudetica, 18: 7–43.
- JAHN A., KOZŁOWSKI S. & WISZNIOWSKA T. (red.) 1989 – Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie. Badania i udostępnianie, Ossolineum, Wrocław–Warszawa–Kraków–Gdańsk–Łódź, s. 367.
- JAHN A., KOZŁOWSKI S. & PULINA M. (red.) 1996 – Masyw Śnieżnika: zmiany w środowisku przyrodniczym. Polska Agencja Ekologiczna S.A., Warszawa.
- JASTRZĘBSKI M. 2008 – Ewolucja tektonometamorficzna marmurów i otaczających łupków lyszczkowych formacji strońskiej (Sudety). Geologos, 14: 51–71.
- JODŁOWSKI S. 1989 – Badania geofizyczne otoczenia Jaskini. [W:] Jahn A., Kozłowski S. & Wiszniowska T. (red.), Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie. PAN Oddz. we Wrocławiu, Ossolineum: 147–156.
- KASPRZAK M., SOBCZYK A., KOSTKA S. & HACZEK A. 2015 – Surface geophysical surveys and LiDAR DEM analysis combined with underground cave mapping – an efficient tool for karst system exploration: Jaskinia Niedźwiedzia case study (Sudetes, SW Poland). [W:] Jasiewicz J., Zwoliński Z., Mitasova H. & Hengl T. (red.), Geomorphometry for Geosciences, Adam Mickiewicz University in Poznań, International Society for Geomorphometry, Poznań: 75–78.
- KOSTKA S. 2012 – Przepraszamy, to przez przypadek. [W:] Ciężkowski W. (red.), Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie w 45-lecie odkrycia. Wrocław–Kletno: 97–114.
- KOSZELA S. 1997 – Petrogeneza marmurów z południowo-wschodniej części metamorfiku Śnieżnika. Geologia Sudetica, 30: 58–115.
- KOZŁOWSKI S. 1989 – Budowa geologiczna otoczenia jaskini. [W:] Jahn A., Kozłowski S. & Wiszniowska T. (red.), Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie. Badania i udostępnianie, Ossolineum, Wrocław: 80–118.
- MARCISZAK A., STEFANIAK K. & GORNIG W. 2016 – Fossil theriofauna from the Sudety Mts. (SW Poland). The state of research. Cranium, 33 (1): 31–41.
- MAZUR S., TURNIAK K., SZCZEPAŃSKI J. & MCNAUGHTON N.J. 2015 – Vestiges of Saxothuringian crust in the Central Sudetes, Bohemian Massif: Zircon evidence of a recycled subducted slab provenance. Gondwana Research, 27: 825–839.
- MIGOŃ P. 1997 – Zarys rozwoju morfologicznego Masywu Śnieżnika, [W:] Jahn A. & Kozłowski S. (red.), Masyw Śnieżnika – zmiany w środowisku przyrodniczym. Polska Agencja Ekologiczna SA, Warszawa: 35–46.
- PULINA M. 1970 – Wstępne wyniki badań nad środowiskiem geograficznym Jaskini Niedźwiedziej. Acta Univ. Wratisl. 127, Studia Geograficzne, 14: 5–37.
- PULINA M. 1977 – Zjawiska krasowe w Sudetach Polskich. Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN, 2–3, s. 116.
- RANOSZEK W. 1999 – Zastosowanie różnych metod morfometrycznych w analizie morfologii progów tektonicznych na przykładzie zachodniej krawędzi Masywu Śnieżnika. Prz. Geol., 47: 1027–1031.
- ROGAŁA W., PLACEK W. & WOJTOŃ A. 1998 – Nowe dane o krasie podziemnym Krowiarek (Sudety Wschodnie). Acta Univ. Wratisl. 2061, Pr. Inst. Geogr., Ser. A, Geografia Fizyczna, 9: 13–22.
- ROGAŁA W. 2003 – Pionowy układ jaskiń krasowych na górze Połom w Górach Kaczawskich (Sudety). Prz. Geol., 51: 238–242.
- RZONCA B. & BUCZYŃSKI S. 2013 – Intense karst denudation in a crystalline basin with a small share of carbonate rocks (Sudety Mountains, SW Poland). Catena, 107: 154–164.
- SOBCZYK A. & KASPRZAK M. 2014 – Late Cenozoic tectonic activity of the Śnieżnik Massif area (Sudetes, SW Poland) in the light of LiDAR DEM morphometric analysis. Stud. Geomorph. Carpatho-Balkanica, 48: 35–52.
- SROKA W. 1997 – Ewolucja morfotektoniczna Sudetów w rejonie Kotliny Kłodzkiej w świetle analizy morfometryczno-statystycznej, Pr. geol.-mineral., 58: 1–97.
- STEFANIAK K. 2015 – Neogene and Quaternary Cervidae from Poland. Institute of Systematics and Evolution of Animals Polish Academy of Sciences. Kraków, s. 204.
- SZYŃKIEWICZ A. 2012 – Próbne badania georadarowe (RAMAC/GPR) w rejonie Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie. [W:] Ciężkowski W. (red.), Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie w 45-lecie odkrycia. Wrocław–Kletno: 137–152.
- ULRYCH J., DOSTAL J., ADAMOVIČ J., JELONEK E., ŠPAČEK P., WEGNER E. & BALOGH K. 2011 – Recurrent Cenozoic volcanic activity in the Bohemian Massif (Czech Republic). Lithos, 123: 133–144.
- WALCZAK W. 1968 – Dolny Śląsk Cz. I Sudety. PWN, Warszawa.
- WOJCIECHOWSKA I. 1986 – Metabasites in the NW part of Śnieżnik metamorphic unit (Kłodzko area, Sudetes, Poland). Geologische Rundschau, 73: 585–593.