

WARUNKI ROZWOJU I WIEK KRASU W GIPSACH NIECKI SOLECKIEJ

THE DEVELOPMENT AND AGE OF THE KARST IN GYPSUM DEPOSITS OF THE NIECKA SOLECKA (SOLEC BASIN) AREA

JAN URBAN¹, ANNA CHWALIK-BOROWIEC², ANDRZEJ KASZA³

Abstrakt. W neogeńskich gipsach Niecki Soleckiej występują następujące typy form krasowych: duże obniżenia krasowo-denudacyjne, krasowe (ślepe) doliny, leje oraz liczne, choć niewielkie jaskinie, stanowiące pojedyncze lub słabo rozgałęzione korytarze bądź komory (głównie typu *branchwork* i *rudimentary branchwork*). Większość z tych form reprezentuje epigenetyczny kras odkryty, który rozwinął się w czwartorzędzie i nadal jest aktywny. Największe obniżenia krasowo-denudacyjne zaczęły powstawać prawdopodobnie już w późnym neogenie. Rozwój form krasowych Niecki Soleckiej, w tym większości jaskiń, w warunkach krasu epigenetycznego różni ten region od zachodniej Ukrainy, gdzie w gipsach neogeńskich występują wielkie labiryntowe systemy jaskiniowe powstałe w wyniku głębokich przepływów międzywarstwowych. Na terenie Niecki Soleckiej tylko pojedyncze jaskinie reprezentują kras międzywarstwowy powstały w warunkach freatycznych, poniżej napiętego zwierciadła wód podziemnych, prawdopodobnie w późnym neogenie.

Słowa kluczowe: kras, gipsy, jaskinie, neogen, czwartorzęd, Niecka Solecka.

Abstract. A variety of types of karst forms has been identified in Neogene gypsum of the Niecka Solecka (Solec Basin), including large karstic-denudational depressions, karst (blind) valleys, sinkholes, and numerous but short and simple (branchwork and rudimentary branchwork type) caves. Most of these forms represent the epigenic, exposed karst, that developed during the Quaternary and is still active. The largest karst-denudational depressions could have started to develop in the Late Neogene. The epigenic character of karst forms (and most of caves) in gypsum of the Niecka Solecka makes this region distinctive from Western Ukraine, where large maze cave systems representing intrastratal karst occur. In the Niecka Solecka region only a few caves represent intrastratal karst formed in confined, freatic conditions probably in the Late Neogene.

Key words: karst, gypsum, caves, Neogene, Quaternary, Niecka Solecka (Solec Basin).

WSTĘP

Proces krasowienia gipsów w sensie chemicznym jest dysocjacją w roztworze wodnym siarczanu wapnia na kation wapniowy i anion siarczanowy (Klimchouk, 1996; Ford, Williams, 2007, str. 44–45). Proces ten jest więc znacznie prostszy niż rozpuszczanie węglanów, wymagające dodatkowej cząsteczki dwutlenku węgla i wody (dysocjacja węglanów

polega na rozpadzie na kation wapniowy i anion wodorowęglanowy), a także znacznie szybszy (gips w temperaturze pokojowej jest ponad sto razy bardziej rozpuszczalny niż kalcyt; Jakucs, 1977; Palmer, 2007, str. 234). Mimo prostszego procesu chemicznego krasowienie skał gipsowych przebiega w bardzo różny sposób i prowadzi do powstania

¹ Instytut Ochrony Przyrody Polskiej Akademii Nauk, al. A. Mickiewicza 33, 31-120 Kraków; e-mail: urban@iop.krakow.pl.

² Zespół Świętokrzyskich i Nadnidziańskich Parków Krajobrazowych, Krzyżanowice Średnie 14, 28-400 Pińczów; e-mail: achwalik@wp.pl.

³ Speleoklub Świętokrzyski, osiedle Na Stoku 40A/22, 25-437 Kielce; e-mail: andrzejka@poczta.onet.pl.

zróznicowanych form krasowych. Tak jest właśnie w przypadku form krasowych wykształconych w badeńskich gipsach w różnych częściach zapadliska przedkarpackiego, np. w Niece Soleckiej oraz w Niece Połanieckiej w zachodniej, polskiej części zapadliska, jak również w zachodniej Ukrainie, we wschodniej części zapadliska. Zwłaszcza jaskinie występujące w Niece Soleckiej oraz na Ukrainie różnią się od siebie wielkością, rozwojem przestrzennym i gęstością pustek, rzeźbą oraz mikrorzeźbą ścian, a także

szatą naciekową (Urban i in., 2008). Wskazuje to, że podstawowe znaczenie dla rozwoju procesu krasowienia gipsów mają takie cechy geologiczne jak: struktura i miąższość gipsów, litologia skał otaczających, tektonika oraz uwarunkowane przez te cechy krążenie wód. Celem artykułu jest wyjaśnienie roli tych czynników w kształtowaniu systemów krasowych w gipsach Niecki Soleckiej oraz opis chronologii zdarzeń wpływających na rozwój krasu gipsowego na tym obszarze.

OBSZAR BADAŃ – WARUNKI GEOLOGICZNE ROZWOJU KRASU

Omawiane formy krasowe występują w neogeńskich (ściślej: badeńskich) gipsach odsłaniających się w zachodniej i środkowej części Niecki Soleckiej (fig. 1), jednego z mezoregionów południowo-wschodniego fragmentu Niecki Nidziańskiej (Kondracki, 2009), zwanego Ponidziem (Masalski, 1967). Gipsy tworzą tzw. serię ewaporatową o miąższości od kilkunastu do 30–40 m. W serii tej można wyróżnić kilka podstawowych odmian litologicznych (fig. 1C, od dołu): 1) gipsy szklicowe – warstwa o miąższości 3,0–5,5 m utworzona z wielkich kryształów gipsu ustawionych prostopadle do jej granic, czyli zazwyczaj pionowo; 2) murawy selenitowe (o miąższości 2,0–5,0 m) zbudowane z naprzemianległych warstw gipsów mikrokrystalicznych i grubokrystalicznych; 3) gipsy szablste (o miąższości kilkunastu metrów), warstwowane i zbudowane z kilku-, kilkunastocentymetrowych kryształów, wśród których występują charakterystyczne, wydłużone ku górze i lekko zagięte formy; 4) gipsy drobnoziarniste przerastające się z brekcjami gipsów gruboziarnistych (o miąższości do kilkunastu metrów; Rutkowski, 1986; Kasprzyk, 1993, 1998; Bąbel, 1999; Urban, 2012). Gipsy grubokrystaliczne nie mają regularnego spękania ciosowego. Drogami migracji wody w tych skałach są głównie, mniej lub bardziej wyraźne, powierzchnie uławicenia w murawach selenitowych i gipsach szablstych, a w mniejszym stopniu – granice kryształów i powierzchnie łupliwości kryształów gipsu (te ostatnie zwłaszcza w przypadku gipsów szklicowych). Cios występuje zazwyczaj w gipsach drobnoziarnistych (Urban i in., 2008).

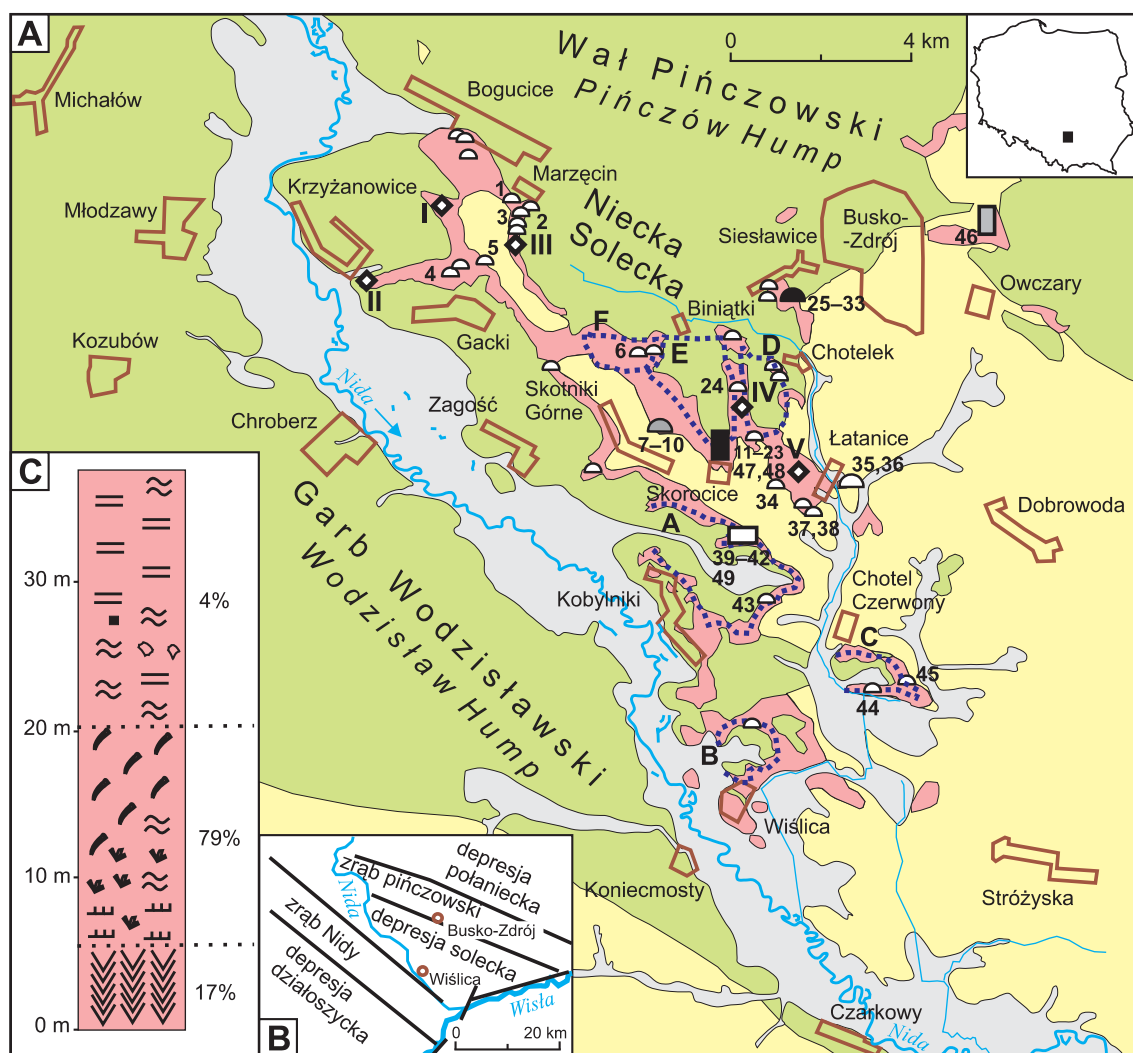
W podłożu gipsów Niecki Soleckiej występują margle badeńskie o miąższości do kilkunastu metrów lub też bezpośrednio margle i opoki górnokredowe tworzące kompleks o znacznej miąższości, sięgającej kilkuset metrów. Miejscami, we wschodniej i w północnej części obszaru, zalegają

badeńskie utwory piaszczysto-margliste warstw baranowskich. Nadkład serii ewaporatowej w profilu utworów neogenu tworzą ility oraz iłowce z wkładkami marglistymi i piaszczystymi wieku badeńskiego i sarmackiego (formacja z Machowa, warstwy pektenowe, warstwy grabowieckie, warstwy krakowieckie). Na terenie Niecki Soleckiej w wielu miejscach nadkład ten został jednak zerodowany i gipsy występują na powierzchni lub są przykryte cienkimi płytami osadów czwartorzędu (Łyczewska, 1972a, b, 1975; Rutkowski, 1986; Czapowski, 2004; Kubica, 2004; Urban, 2012).

Pod względem tektonicznym Niecka Solecka jest rowem, zwanym depresją solecką, ograniczonym od północnego wschodu zrębem pińczowskim, zaś od południowego zachodu – zrębem Nidy (fig. 1B). Główny element tektoniczny zachodniej części depresji soleckiej stanowi synklina Skorocic o wydłużeniu NW–SE, zgodnym z wydłużeniem depresji. W osiowej części synkliny występują utwory ilaste górnego badenu, a na skrzydłach – wychodne skał serii ewaporatowej (fig. 1A). W depresji soleckiej znajdują się również mniejsze fałdy i brachyfałdy. Wiele takich drugorzędnych (brachy)antyklin o skrzydłach zbudowanych z gipsów serii ewaporatowej występuje w środkowej części depresji, wzdłuż strefy tektonicznej (rozłamu) Wiślica–Busko–Chmielnik, która poprzecznie przecina wymienione wcześniej zręby i rowy. Wzdłuż tej strefy (która nie tworzy jednego, wyraźnego uskoku), aktywnej prawdopodobnie już w kredzie, poszczególne elementy podłoża były zrzucane i wynoszone oraz przesuwane poziomo. Pojedyncze drugorzędne synkliny o rozciągłości w różnych kierunkach i wąskich, głębokich partiach osiowych rozwiły się również na skrzydłach synkliny Skorocic, np. w okolicach Skorocic i Krzyżanowic (Flis, 1954; Łyczewska, 1972a, b, 1975; Jurkiewicz, Woźniński, 1979; Krysiak, 2000; Urban, 2012).

Fig. 1. A. Lokalizacja form krasowych na tle występowania serii ewaporatowej w Niece Soleckiej (mapa geologiczna wg Łyczewskiej, 1972b; Jurkiewicza, Woźnińskiego, 1979, zmieniona). B. Szkic tektoniczny otoczenia Niecki Soleckiej (wg Krysiak, 2000, zmieniony). C. Występowanie jaskiń w różnych typach litologicznych gipsów w profilu geologicznym warstw ewaporatowych – udział w procentach (profil wg Kasprzyk, 1993; Urbana, 2008)

A. Location of karst forms on the background of evaporite series occurrence in the Niecka Solecka area (geologic map after Łyczewska, 1972b; Jurkiewicz, Woźniński, 1979, modified). B. Tectonic sketch of the Niecka Solecka surroundings (after Krysiak, 2000, modified). C. Occurrence of caves in various lithological types of gypsum in the sequence of evaporite series – percentage (the geological sequence after Kasprzyk, 1993; Urban, 2008)



kontury dużych obniżen krasowo-denudacyjnych (symbole literowe zgodnie z tab. 1)
 contours of large karstic-denudational depressions (letter symbols according to Table 1)

■ Dolina Skorocicka z jaskiniami (numeracja jaskiń zgodnie z tab. 2)
 Dolina Skorocicka valley with caves situated within it (cave numbers according to Table 2)

□ Dolina Aleksandrowska z jaskiniami (numeracja jaskiń zgodnie z tab. 2)
 Dolina Aleksandrowska valley (cave numbers according to Table 2)

▣ dolina krasowa w Broninie (numer jaskiń zgodnie z tab. 2)
 karst valley in Bronina village (cave number according to Table 2)

● Siesławice, zgrupowanie 15 jaskiń (numeracja jaskiń zgodnie z tab. 2)
 Siesławice, agglomeration of 15 caves (cave numbers according to Table 2)

◐ Łatanice, zgrupowanie 8 jaskiń (numeracja jaskiń zgodnie z tab. 2)
 Łatanice, agglomeration of 8 caves (caves numbers according to Table 2)

◑ Skotniki Górne, zgrupowanie 5 jaskiń (numeracja jaskiń zgodnie z tab. 2)
 Skotniki Górne, agglomeration of 5 caves (cave numbers according to Table 2)

◒ pojedyncza jaskinia (numer zgodnie z tab. 2)
 single cave (number according to Table 2)

◆ zgrupowania lejów krasowych (numery zgodnie z tab. 4)
 agglomeration of dolines (numbers according to Table 4)

□ czwartorzędowe osady dolin rzecznych
 Quaternary sediments in river valleys

■ utwory warstw nadewaporatowych badenu i sarmatu
 Badenian and Sarmatian supra-evaporite series

■ gipsy warstw ewaporatowych badenu
 Badenian gypsum of evaporite series

■ utwory kredy górnej i warstw podewaporatowych badenu
 Upper Cretaceous and Badenian sub-evaporite rocks

Typy strukturalne gipsów
 Structural types of gypsum

≈ gipsy drobnoziarniste faliście laminowane
 microcrystalline, wavy-laminated gypsum

== gipsy drobnoziarniste poziomo laminowane
 microcrystalline, horizontally-laminated gypsum

◊ brekcje gipsowe
 brecciated gypsum

■ pseudomorfozy po halicie
 pseudomorphoses after halite

▄ gipsy szablaste
 large-crystalline sabre-like gypsum

▄ gipsy szablaste odmiany szkieletowej
 skeletal pattern of sabre-like gypsum

▄ murawy selenitowe
 grass-like selenite gypsum

▄ wielokryształiczne gipsy szklicowe
 very large-crystalline glassy gypsum

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Ważnymi materiałami wykorzystanymi do przygotowania niniejszego artykułu były wyniki prac wcześniejszych autorów szybkość ewolucji rzeźby krasowej, a także zmiany antropogeniczne powodują bowiem, że wiele form rzeźby uległo zniszczeniu, a informacje o nich zachowały się jedynie w literaturze. Istotne źródło wiedzy nadal stanowi najstarsza naukowa analiza krasu w Polsce, dotycząca właśnie form występujących w gipsach Poniidzia, opublikowana przez Puscha w pierwszej monografii geologicznej ziem polskich, wydanej w 1836 r. w języku niemieckim (tłumaczenie polskie – Pusch, 1903). Zawiera ona dane o obiektach już nieistniejących (lub których obecnie nie udało się odnaleźć) oraz opis najciekawszego w tym regionie namuliska z licznymi szczątkami kostnymi, które odkryto na początku XIX w. w Czarkowach i które współcześnie nie istnieje lub przynajmniej nie jest dostępne (Kowalski, 1954). Później, ale jeszcze w XIX w. wielu geologów i krajoznawców wspominało formy krasowe Poniidzia. Kontkiewicz (1882) przeprowadził nawet badania namulisk Jaskini Skorocickiej, jednak nie doprowadziły one do odkrycia stanowisk paleontologicznych. W pierwszej połowie XX w. ważne informacje o formach krasowych Poniidzia i ich lokalizacji (w tym pierwsze mapy Doliny Skorocickiej) opublikowali Sawicki (1918/1919), Lencewicz (1922, 1939) i Gąsiorowski (1925). W połowie tego wieku ukazały się opisy form krasowych rejonu Krzyżanowic–Gacek, Siesławic i Doliny Skorocickiej pióra Malickiego (1947) oraz pierwszy inwentarz jaskiń tego terenu autorstwa Kowalskiego (1954). Obie te prace zawierają unikatowe dane o obiektach zniszczonych później podczas eksploatacji kamieniołomu w Gackach.

Kamieniem milowym w badaniach krasu gipsowego Poniidzia była praca Flisa (1954), która nadal stanowi podstawowe, monograficzne źródło wiedzy w tym zakresie. Autor ten pozostawił plany i opisy Doliny Skorocickiej i Doliny Aleksandrowskiej, wraz z wnikliwą interpretacją genezy tych form krasowych. Zaproponował on także model rozwoju lejów krasowych. Stosunkowo mniej miejsca poświęcił w swej monografii podziemnym formom krasowym.

W następnych dziesięcioleciach Liszkowski (1979) oraz Nowak (1986) przedstawili nowe propozycje klasyfikacji form krasowych Poniidzia. Klasyfikacja pierwszego autora jako główne kryterium przyjmuje przepuszczalność skał krasowięjących, ich podłoża oraz nadkładu i wydaje się, że w przypadku Niecki Soleckiej nie najlepiej odzwierciedla litologię skał podłoża (patrz dalej). Klasyfikacja Nowaka (1986) uwzględniła przede wszystkim rozprzestrzenienie form krasowych na terenie Niecki Nidziańskiej, które stosunkowo dobrze oddaje zróżnicowanie genetyczno-morfologiczne tych form. W obu klasyfikacjach – Liszkowskiego (1979) i Nowaka (1986) – zjawiska krasowe Niecki Soleckiej reprezentują kras wiślicki.

W końcu XX w. postępowała również eksploracja jaskiń omawianego regionu. Wołoszyn (1990) opublikował inwentarz jaskiń parków krajobrazowych Poniidzia, zaś Głazek

(1993; Głazek i in., 1994) wysunął hipotezę o podobieństwie genetycznym jaskiń Poniidzia do jaskiń zachodniej Ukrainy. We wspomnianych publikacjach Głazka scharakteryzowano stanowisko paleontologiczno-archeologiczne w namulisku Jaskini w Krzyżanowicach Górnej – jedno z trzech tego typu stanowisk w krasie Niecki Soleckiej. Inne stanowiska to wspomniane już namulisko w jaskini w Czarkowach, odkryte i zniszczone na początku XIX w., oraz wypełniona osadami studnia (szczelina) odkryta w ścianie Jaskini Skorocickiej, opisana w dalszej części artykułu.

Autorzy artykułu rozpoczęli prace związane z formami krasowymi w gipsach Poniidzia w połowie lat 90. XX w. od wykonania waloryzacji przyrodniczej tych form (Gubała, Urban, 1997) i inwentaryzacji jaskiń Niecki Nidziańskiej (Gubała i in., 1998). W ramach tych oraz późniejszych badań dokonano wielu obserwacji naukowych dotyczących (Urban i in., 2003):

- przestrzennego występowania jaskiń oraz ich związku z powierzchniowymi formami krasowymi i innymi elementami rzeźby,
- kształtu systemów jaskiniowych i rzeźby form jaskiniowych oraz uwarunkowań litologicznych i hydrogeologicznych tych cech.

Wyniki przeprowadzonych badań były podstawą do porównania jaskiń w gipsach Poniidzia z jaskiniami zachodniej Ukrainy (Urban i in., 2008). Szczegółowe badania rzeźby i mikrorzeźby ścian jaskiń umożliwiły interpretację genezy tych form (Urban i in., 2009). W 2012 r. wykonano szczegółowe kartowanie form krasowych Doliny Skorocickiej, a w 2013 r. – szczegółowe kartowanie morfologii Jaskini Skorocickiej. Takie badania, obejmujące stosunkowo proste obserwacje, mają nadal podstawowe znaczenie dla analizy genetycznej krasu na wielu obszarach (por. np. Klimchouk, 2000, 2007, 2009; Ford, Williams, 2007; Palmer, 2007), zwłaszcza gdy brakuje innych przesłanek mogących świadczyć o wieku i warunkach rozwoju krasu, takich jak wypełnienia kopalnych form krasowych, profile namulisk i formy wtórne, naciekowe. Z taką właśnie sytuacją mamy do czynienia w przypadku krasu Niecki Soleckiej.

W badaniach wielkoskalowych form rzeźby krasowo-denudacyjnej oprócz obserwacji geomorfologicznych wykorzystano metodę oceny tempa denudacji chemicznej i mechanicznej opracowaną przez Pulinową (1989), jak również metodę hydrometryczną Puliny (1974), stosowaną do szacowania tempa i wielkości denudacji chemicznej. Metody te pozwalają na wyznaczenie przybliżonego czasu potrzebnego do rozwoju tego typu form rzeźby na podstawie porównania rocznego tempa denudacji określonych skał oraz całkowitej objętości usuniętej masy skalnej. Chwalik (2006), stosując te metody, podjęła próbę określenia czasu niezbędnego do wykształcenia się dużych form krasowo-denudacyjnych Niecki Soleckiej.

W niniejszym artykule przedstawiono wiedzę zebraną przez wiele pokoleń badaczy prowadzących obserwacje krasu

Ponidzia od 200 lat. Przede wszystkim kompleksowo podsumowano wyniki badań autorów dotyczące wszystkich typów form krasowych występujących na terenie Niecki So-

leckiej, w tym połączono różne, rozproszone dotąd wątki tych badań i uzupełniono wyniki o dane zebrane w ostatnich kilku latach.

FORMY KRASOWE – GEOLOGICZNE, HYDROGEOLOGICZNE I MORFOLOGICZNE WARUNKI ROZWOJU

Formy krasowe na terenie Niecki Soleckiej są reprezentowane przez duże obniżenia krasowo-denudacyjne, doliny krasowe, jaskinie oraz zespoły lejów i pojedyncze leje. Wielkość, rodzaj, kształt oraz przestrzenne ułożenie tych form są podstawowymi wskaźnikami warunków ich rozwoju, dlatego opisano je szczegółowo w dalszej części artykułu.

DUŻE OBNIŻENIA KRASOWO-DENUDACYJNE

Duże obniżenia krasowo-denudacyjne znajdują się głównie na południowo-wschodnim i wschodnim obrzeżu Niecki Soleckiej. Mają one cechy polji krasowych występujących na obszarze krasu węglanowego, ale jednocześnie reprezentują oryginalny typ otwartych depresji (fig. 2A). Zinventaryzowano sześć form tego typu: Parszywe Błonia, Żydowiec, Chotel Czerwony, Chotelek, Biniątki i Winiary (tab. 1). Ich nazwy pochodzą od nazw miejscowości położonych w granicach formy lub są to nazwy własne obniżeń używane przez miejscową ludność.

Mimo różnic wielkości i kształtu opisywane obniżenia mają podobne cechy geologiczne, tektoniczne, geomorfologiczne i hydrologiczne. Są to formy wielkopowierzchniowe – powierzchnia najmniejszych sięga 1 km², podczas gdy największa z nich zajmuje obszar 4,6 km². Osiągają one głębokość od 14,5 do 46,0 m. Wszystkie są rozwinięte w gipsach i marglach, choć w obniżeniu Winiary poziom denudacyjny tylko fragmentarycznie dotarł do margli w podłożu gipsów (tab. 1).

Większość obniżeń powstała w szerokopromiennych antyklinalnych lub brachyantyklinalnych wyniesieniach pokrywy gipsowej, a tym samym są to inwersyjne formy rzeźby. Jedynie obniżenie Winiary utworzyło się w synklinie, jest więc zgodne z tektonicznie uwarunkowanym kształtem podłoża.

Dna obniżeń są pokryte utworami holoceniowymi – przeważnie mułkami i osadami mułkowo-organicznymi – w których

Fig. 2. Przykład dużego obniżenia krasowo-denudacyjnego – stanowisko Chotel Czerwony (C na fig. 1 oraz w tab. 1)

A. Model przestrzenny. B. Mapa geologiczna zakryta (wg Lyczewskiej, 1972b, uproszczona). C. Ostaniec gipsowy – fragment północnej granicy obniżenia (fot. A. Chwalik-Borowiec)

Example of large karst-denudational depression – Chotel Czerwony site (C on Fig. 1 and in Table 1)

A. Spatial block-diagram. B. Geological map (after Lyczewska, 1972b, simplified). C. Gypsum monadnock – fragment of the north contour of the depression (photo by A. Chwalik-Borowiec)



Tabela 1

Cechy morfometryczne i geologiczne dużych obniżeń krasowo-denudacyjnych na terenie Niecki Soleckiej (wg Chwalik, 2006)
Morphometric and geological features of the large karst-denudational depressions in the area of Niecka Solecka (after Chwalik, 2006)

Cecha	Nazwa (symbol na fig. 1A)					
	Parszywe Błonie (A)	Żydowiec (B)	Chotel Czerwony (C)	Chotelek (D)	Biniątki (E)	Winiary (F)
Powierzchnia [km ²]	4,60	1,00	1,08	1,00	3,20	1,70
Długość [km]	5,3	1,3	1,5–1,6	1,5	3,0	1,8
Szerokość [km]	0,9–1,8	0,8–1,2	0,7–0,8	1,0	0,8–2,6	1,0
Maksymalna wysokość [m n.p.m.]	206,1	188,5	202,2	226,5	253,7	250,4
Minimalna wysokość [m n.p.m.]	174,0	174,0	181,0	201,1	207,6	220,0
Orientacja dłuższej osi	NW–SE	SW–NE	W–E	N–S	N–S	W–E
Utwory podzwartorzędowe denudowane w obrębie formy	Cr, Mm, Ba, Gy	Cr, Mm, Gy	Cr, Ba, Gy	Cr, Mm, Gy, Ik	Cr, Mm, Gy	Cr, Mm, Gy, Ik
Struktura brachyantyklinalna	+	+	+	+	+	–

Cr – margle, lokalnie wapienie, gezy i opoki (kreda górna), Mm – margle serii podewaporatowej (miocen – baden), Ba – piaski i ility margliste warstw baranowskich serii podewaporatowej (miocen – baden), Gy – gipsy serii ewaporatowej (miocen – baden), Ik – ility krakowieckie serii nadewaporatowej (miocen – baden i sarmat)

Cr – marls, in places limestones or sandy siliceous marls (Upper Cretaceous), Mm – marls of sub- evaporite series (Miocene – Badenian), Ba – marly sands and clays of Baranów Beds of sub- evaporite series (Miocene – Badenian), Gy – gypsum of evaporite series (Miocene – Badenian), Ik – Krakowice Clays of supra- evaporite series (Miocene – Badenian and Sarmatian)

podłożu lub otoczeniu niekiedy zalegają płyty osadów plejstocenijskich – głównie piasków i mułków fluwio-peryglacialnych ([fig. 2B](#)). Na podstawie wyników badań materiału z odwiertu w dnie wschodniej części obniżenia Żydowiec wykazano występowanie do głębokości 2,5 m gytii z wkładkami torfów i kredy jeziornej. Te osady organiczne zawierają znaczne domieszki węglanu wapnia, a torfy są ponadto silnie rozłożone. Warstwę pożarową w zmurszałym torfie z głębokości 1,35–1,40 m wydatowano na 3740 ± 70 lat BP (symbol laboratoryjny próbki: Ki – 11 394), co wskazuje na osuszenie torfowiska w tym czasie (Woźniak, Żurek, 2005; Żurek i in., 2005).

Obniżenia krasowo-denudacyjne są formami otwartymi w kierunku doliny rzecznej, mają nieregularny, często wydłużony kształt, związany z kształtem formy tektonicznej, w której powstały. Obniżenia mają płaskie, podmokłe dna, lokalnie zatorfione, którymi przepływają ciekły stałe lub okresowe. O krasowym ich zasilaniu lub odwodnieniu świadczą wywierzyśka i ponory występujące na obrzeżach niektórych depresji, np. w stanowisku Chotelek (D na [fig. 1](#) i w [tab. 1](#)). Źródła i ciekły w obrębie form mają mineralizację charakterystyczną dla wód siarczanowych z zawartością siarkowodoru i reprezentują typ siarczanowo-wapniowy (Chwalik, 2006; Rózkowski i in., 2011).

Opisywane obniżenia rozwijają się wskutek denudacji chemicznej gipsów i denudacji mechanicznej skał w ich otoczeniu. Znaczny udział denudacji mechanicznej w rozwoju tych form jest związany z obecnością cząstek ilastych, pylastych oraz piaszczystych w marglistych utworach górno-kredowych i miocenijskich podłoża serii ewaporatowej oraz w skałach ilastych (iłach krakowieckich) miocenijskiego nadkładu gipsów. Ponadto stoki na ich obrzeżach ([fig. 2C](#)) są kształtowane przy udziale procesów odprężeniowo-grawitacyjnych, takich jak obrywy, niewielkie zsuwy stokowe itp.

Istotny udział procesów mechanicznych w denudacji powoduje, że obniżenia tych nie można zakwalifikować jako formy w pełni krasowe.

Obniżenia krasowo-denudacyjne związane z formami antyklinalnymi rozwijają się przy krawędziach masywu gipsowego Niecki Soleckiej, w kierunku jego środka. Ich wielkość, budowa geologiczna oraz kształt wskazują, że stanowią one zaawansowane („starcze”) stadium niszczenia płyty gipsowej – nie zachowała się ich wewnętrzna rzeźba krasowa. Rzeźba krasowa występuje jeszcze na obrzeżach tych form i jest reprezentowana przez fragmenty dolin krasowych, jaskinie i leje krasowe.

Porównując roczną wielkość denudacji gipsów i margli z całkowitą objętością skał usuniętych z obszaru obniżenia denudacyjno-krasowych, można ocenić czas potrzebny do rozwoju tych form (Chwalik, 2006; Chwalik-Borowiec, 2007; Urban i in., 2012).

Gipsy Niecki Soleckiej ulegają całkowitemu rozpuszczeniu lub pozostaje po nich tylko niewielkie rezydium. W zależności od odmiany litofacjalnej zawierają 96–99% części rozpuszczalnych, wykształconych w postaci dwu minerałów: gipsu ($H_2SO_4 \cdot 2H_2O$) i kalcytu ($CaCO_3$), przy czym kalcyt stanowi spoiwo pomiędzy kryształami gipsu (Winiarski i in., 1977). Części rozpuszczalne są usuwane głównie w wyniku denudacji chemicznej. Z kolei margle i opoki Niecki Soleckiej należą do grupy skał średnio krasowiejących, zawierają 60–70% $CaCO_3$ i odpowiednio 30–40% części nierozpuszczalnych (Łyczewska, 1972a). W przypadku margli węglany stanowią spoiwo wiążące nierozpuszczalne ziarna. Ich usunięcie w procesie rozpuszczania powoduje rozpad całej skały; drobna frakcja detrytyczna, głównie pylasta i ilasta, jest usuwana najczęściej w wyniku erozji wodnej (Chwalik, 2006). Podobny mechanizm rozpuszczania margli z Gór Stołowych opisała Pulinowa (1989). ility krakowieckie

są utworami ilastymi, ilasto-lupkowymi z nielicznymi wkładkami piasków i żwirów (Łyczewska, 1972a), dlatego są usuwane głównie w wyniku denudacji mechanicznej.

Denudację chemiczną można oszacować za pomocą metody hydrometrycznej Puliny (1974), uwzględniającej spływ jednostkowy i wielkość mineralizacji wody. Spływ jednostkowy na terenie Niecki Solecckiej wynosi 4–6 dm³/s/km², mineralizacja wód wypływających z gipsów sięga 1000–2000 mg/dm³, a mineralizacja wód wypływających ze skał węglanowych – 350–500 mg/dm³ (Chwalik, 2006; Chwalik-Borowiec i in., 2011; Rózkowski i in., 2011). W konsekwencji roczna denudacja chemiczna na obszarach krasu gipsowego Niecki Solecckiej wynosi 50–151 m³/km², a na obszarach węglanowych – 18–38 m³/km². Współczesna denudacja gipsów zachodzi więc ok. 3–4 razy szybciej w porównaniu z denudacją na terenach o podłożu węglanowym. Należy jednak zaznaczyć, że obniżenia krasowo-denudacyjne rozwijały się też wtedy, gdy teren Polski znajdował się w strefie klimatu zimnego. Wielkość denudacji w okresach glacialnych oszacowano w odniesieniu do wielkości denudacji w regionach, w których współcześnie panuje klimat arktyczny (np. obszar krasu gipsowego i węglanowego zachodniego Spitsbergenu). Denudacja w tych regionach jest mniejsza, co wynika ze zmniejszonego spływu jednostkowego (Pulina, Postonov, 1989). Oszacowano, że denudacja w zimnych okresach plejstocenu w Niecce Solecckiej mogła wynosić 13–100 m³/km²/rok na obszarach krasu gipsowego i 0,6–10 m³/km²/rok na obszarach krasu węglanowego (Chwalik, 2006).

Biorąc pod uwagę podaną wielkość denudacji (w warunkach klimatu umiarkowanego w okresach interglacialnych i klimatu zimnego w okresach glacialnych) oraz kubaturę materiału usuniętego z każdej depresji, można stwierdzić, że początek rozwoju tych form prawdopodobnie jest związany ze starszymi glacialami lub interglacialami plejstoceniowymi, a w przypadku największych form może sięgać pliocenu (Chwalik, 2006; Chwalik-Borowiec, 2007).

DOLINY KRASOWE

W Niecce Solecckiej występują co najmniej trzy typowe doliny krasowe: Dolina Skorocicka, Dolina Aleksandrowska oraz dolina w Broninie (ta ostatnia znajduje się na północnym skraju niecki). Najbardziej znana z nich, Dolina Skorocicka, składa się z dwu odcinków: górnego (ślepego) oraz dolnego. Odcinki te są przedzielone naturalnym wąskim rygłem skalnym, tzw. Wysoką Drogą, a hydrogeologicznie połączone podziemnym kanałem Jaskini Skorocickiej, którym płynie Potok Skorocicki (fig. 3). Górny odcinek doliny ma długość ok. 600 m, szerokość do 90 m, głębokość do 10 m i w swej niższej (południowej) części charakteryzuje się nierównym dnem z wieloma ostańcami krasowymi oraz zagłębieniami bezodpływowymi. Do największych ostańców, sięgających do poziomu wypłaszczonego terenu otaczającego dolinę, należą, nazwane już przez Flisa (1954), Wielka Góra, Zielona Góra i Biała Góra. Największy lej w tej części doliny powstał w wyniku zawalenia się stropu kanału krasowego łączą-

cego niegdyś Pieczarę Dzwonów i Jaskinię Górną oraz Jaskinię Skorocicką. Dolny odcinek Doliny Skorocickiej, znacznie krótszy od górnego, ale podobnie szeroki i głęboki, również odznacza się występowaniem ostańców i zagłębień. Do najbardziej wybitnych ostańców w tej części doliny należą Okrągła Góra oraz skalista Baszta, natomiast największy nieckowaty lej występuje na zachód od Okrągłej Góry (fig. 3; Flis, 1954; Nowak, 1986; Chwalik i in., 2002; Urban, 2008; Urban i in., 2003, 2012).

Zarówno w dolnym, jak i w górnym odcinku Dolina Skorocicka ma w wielu miejscach skalne zbocza (fig. 3D). Jej górny odcinek rozwinął się subsekwentnie do nachylenia warstw gipsowych (Flis, 1954), w spągowej części serii ewaporatowej, 1–3 m powyżej stropu podścielających ją margli. W dolnej części doliny gipsy zalegają praktycznie poziomo.

Dno Doliny Skorocickiej leży nieco powyżej zwierciadła wód gruntowych. Potok Skorocicki w okresach wysokiego stanu wód płynie dnem doliny, a w okresach niskiego stanu wód pojawia się w kilku miejscach na jej dnie. Stale też przepływa podziemnymi kanałami krasowymi na wschodnim obrzeżu doliny. Znaczna część tych kanałów jest dostępna jako jaskinie: Jaskinia z Potokiem, Wielki Schron, Jaskinia Stara, Pieczara Dzwonów i Jaskinia Skorocicka (tab. 2). Z kolei w zachodniej części doliny w dwu jaskiniach – Jaskini w Skorocicach u Ujścia Doliny oraz jaskini Ucho Olki (tab. 2) – występują zbiorniki wodne (jeziorka). Wiele jaskiń i schronisk stanowi fragmenty kanałów krasowych usytuowanych kilka metrów powyżej zwierciadła wód w zboczach doliny lub przecinających całkowicie (na wylot) lub częściowo znajdujące się w niej ostańce krasowe (fig. 3A). Najobszerniejsza z takich jaskiń – Tunel w Skorocicach (tab. 2) – przebiega ostaniec Wielkiej Góry, inna – Mały Tunel – przebiega ostaniec otaczający wspomniany wcześniej największy lej w dolnym odcinku doliny (Flis, 1954; Nowak, 1986; Chwalik i in., 2002; Urban i in., 2003, 2012; Urban, 2008).

Górny odcinek Doliny Aleksandrowskiej to erozyjna, choć słabo wcięta dolinka, która niżej, na odcinku środkowym o długości ok. 180 m, jest wąwozem o szerokości od kilku do 20 m, głębokości od 3 do 5 m i w wielu miejscach o skalnych, gipsowych ścianach. Dno Doliny Aleksandrowskiej na tym odcinku leży nieco powyżej (0,5–1,0 m) zwierciadła wód w Potoku Aleksandrowskim, którego koryto biegnie podziemnymi kanałami krasowymi w znacznej części dostępnymi jako jaskinie. Najdłuższą z tych jaskiń jest Jaskinia na Kontakcie (42 na fig. 4A, tab. 2). Środkowy odcinek (wąwóz) Doliny Aleksandrowskiej kończy się rygłem skalnym (fig. 4B). Za rygłem tym przepływ ciek podziemnego zaznacza się na odcinku ok. 130 m trzema głębokimi (do kilkunastu metrów) oraz kilkoma mniejszymi zapadliskami (lejami) krasowymi (fig. 4C), które należy uznać za dolny odcinek doliny. W dnach dużych zapadlisk ciek pojawia się miejscami na powierzchni, a pomiędzy nimi płynie pojedynczymi lub słabo rozgałęzionymi, zwykle ciasnymi korytarzami trzech jaskiń: Jaskini w Aleksandrowie, Jaskini Flisa oraz niewielkiego Mostku w Aleksandrowie (tab. 2; Flis, 1954; Nowak, 1986; Chwalik i in., 2002; Urban, 2008; Urban i in., 2012).

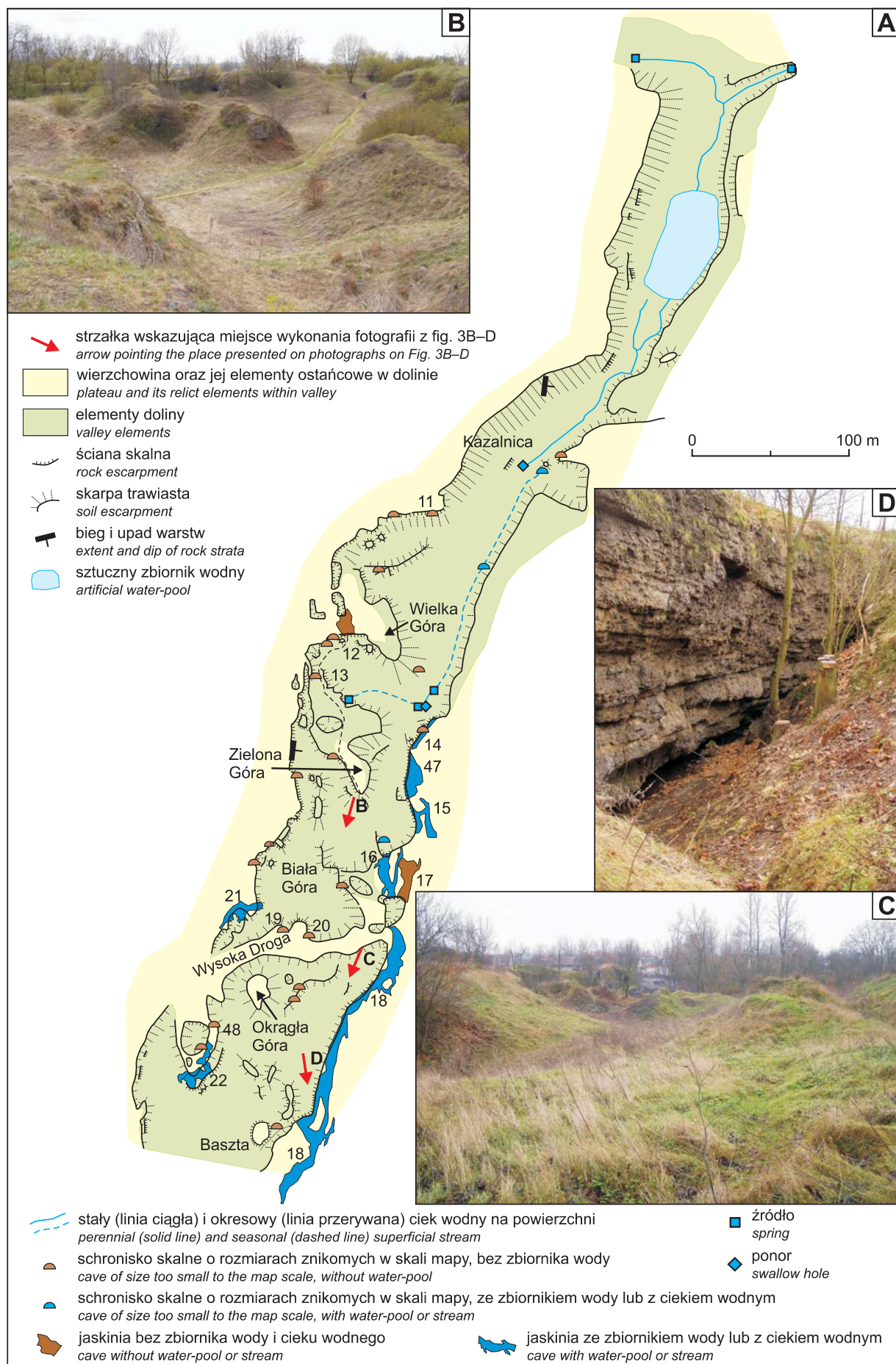


Fig. 3. Dolina Skorocicka

A. Szkic geomorfologiczny doliny (materiały archiwalne – Urban, Kasza, 2012) z lokalizacją jaskiń (numery zgodnie z [tab. 2](#); uproszczone plany jaskiń wg Gubały i in., 1998 oraz Urbana i in., 2012). **B.** Widok z Zielonej Góry w kierunku Białej Góry (na pierwszym planie) i Wysokiej Drogi (w tle); pod Wysoką Drogą widoczny otwór dwu obiektów jaskiniowych: Schroniska w Skorocicach pod Drogą Zachodnią i Schroniska w Skorocicach pod Drogą Wschodnią. **C.** Widok z Wysokiej Drogi w kierunku południowym, na dolny odcinek doliny; na dalszym planie widoczna Baszta. **D.** Skaliste wschodnie zbocze doliny będące jednocześnie dolnym otworem Jaskini Skorocickiej (*wszystkie fot. J. Urban*)

Dolina Skorocicka valley

A. Geomorphological sketch-map of the valley (archival materials – Urban, Kasza, 2012) with distribution of caves (numbers according to [Table 2](#); simplified cave maps after Gubała *et al.*, 1998 and Urban *et al.*, 2012). **B.** View from the Zielona Góra hummock toward Biała Góra hummock (first) and Wysoka Droga bar (at the background); under Wysoka Droga surface, pots of entrances of two caves: Schronisko w Skorocicach pod Drogą Zachodnią and Schronisko w Skorocicach pod Drogą Wschodnią. **C.** View from the Wysoka Droga bar toward the lower section of the valley, Baszta tor is visible at the background. **D.** Rocky, east-side valley slope, which is also the lower entrance of the Jaskinia Skorocicka cave (*all photos by J. Urban*)

**Tabela 2**

Jaskinie o długości równej lub przekraczającej 10 m w gipsach Niecki Soleckiej i ich najważniejsze cechy (wg Gubały i in., 1998; Wojtonia, 2001, 2002, 2004, 2005, 2006; Gubały, Kaszy, 2002, 2004b; Melaniuka, 2002; Gubały, Chwalik, 2003; Markowiak, Ponikiewskiego, 2004; Bartoszewskiego, Niekludowa, 2006; Urbana, 2008; Saganowskiego, Kotwicy, 2012 oraz autorskich materiałów niepublikowanych)

Caves of the length ranging 10 m and more in gypsum of the Niecka Solecka area, and their most important features (after Gubała *et al.*, 1998; Wojton, 2001, 2002, 2004, 2005, 2006; Gubała, Kasza, 2002, 2004b; Melaniuk, 2002; Gubała, Chwalik, 2003; Markowiak, Ponikiewski, 2004; Bartoszewski, Niekludow, 2006; Urban, 2008; Saganowski, Kotwica, 2012 and unpublished authors' data)

Nr	Nazwa	Lokalizacja	Długość [m]	Deniwelacja [m]	Gipsy – litologia	Położenie w stosunku do zwierciadła wód	Położenie w stosunku do form rzeźby	Kształt systemu
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Jaskinia Żydowska	Marzęcin	25	3	szklicowe i szablaste*	do 2 m	dolina	niska komora
2	Jaskinia w Marzęcinie	Marzęcin	250	10	szklicowe i szablaste*	do 2 m	wzgórze	kanały i niskie komory
3	Jaskinia przy Drodze	Marzęcin	15	2	szablaste*	>5 m	wzgórze	komora zawaliskowa
4	Jaskinia w Krzyżanowicach Górna	Gacki-Osiedle	60	6	szablaste*	do 2 m	wzgórze	kopuły
5	Jaskinia w Gackach	Gacki-Sołectwo	115	2	szklicowe	>5 m	stok wzgórza	kanał
6	Schronisko Bajkowe	Winiary-Gaik	12	1	szklicowe	do 2 m	stok wzgórza	niska komora
7	Jaskinia Lisia	Skotniki Górne	76	5	szklicowe	do 2 m	stok wzgórza	komora zawaliskowa
8	Schronisko przy Lisiej	Skotniki Górne	12	3	szablaste*	do 2 m	stok wzgórza	komora zawaliskowa
9	Schronisko ze Studnią	Skotniki Górne	11	3	szablaste*	do 2 m	stok wzgórza	niska komora
10	Jaskinia w Skotnikach Górnych	Skotniki Górne	31	1	szablaste*	do 2 m	stok wzgórza	niska komora
11	Jaskinia Porodowa	Skorocice, Dolina Skorocicka	20	1	szablaste*	>5 m	dolina	kanał
12	Tunel w Skorocicach	Skorocice, Dolina Skorocicka	18	3	szablaste*	do 2 m	dolina	kanał
13	Szczelina w Skorocicach	Skorocice, Dolina Skorocicka	16	4	szablaste*	do 2 m	dolina	komora zawaliskowa
14	Jaskinia z Potokiem	Skorocice, Dolina Skorocicka	46	5	szablaste*	do 2 m	dolina	kanał
15	Jaskinia Stara	Skorocice, Dolina Skorocicka	86	3	szablaste*	do 2 m	dolina	kanały
16	Pieczara (Jaskinia) Dzwonów	Skorocice, Dolina Skorocicka	91	5	szablaste*	do 2 m	dolina	kanały, komora zawaliskowa
17	Jaskinia Górna	Skorocice, Dolina Skorocicka	61	4	szablaste*	2–5 m	dolina	komora zawaliskowa

Tabela 2 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	Jaskinia Skorocicka	Skorocice, Dolina Skorocicka	352	5	szklicowe i szablaste*	do 2 m	dolina	kanały
19	Schronisko w Skorocicach pod Drogą Zachodnie	Skorocice, Dolina Skorocicka	13	4	szablaste*	2–5 m	dolina	komora zawaliskowa
20	Schronisko w Skorocicach pod Drogą Wschodnie	Skorocice, Dolina Skorocicka	13	2	szablaste*	2–5 m	dolina	komora zawaliskowa
21	Ucho Olki	Skorocice, Dolina Skorocicka	79	9	szklicowe	do 2 m	dolina	system szczelin
22	Jaskinia w Skorocicach u Ujścia Doliny	Skorocice, Dolina Skorocicka	122	5	szablaste*	do 2 m	dolina	niskie komory, kanały
23	Studnia Prababci Emilii	Skorocice	10	4	drobnoziarniste	do 2 m	dolina	studnia, niska komora
24	Jaskinia Chotelecka	Chotelek	69	8	szablaste*	2–5 m?	obniżenie	kopuły
25	Dwie Studnie	Siesławice	31	4	szablaste*	do 2 m	stok	kanał
26	Dziupła	Siesławice	11	2	szablaste*	do 2 m	stok	niska komora i kanał
27	Jaskinia Szeroka	Siesławice	48	3	szablaste*	do 2 m	stok	niskie komory
28	Jaskinia Półkolista	Siesławice	58	1	szablaste*	do 2 m	stok	niskie komory, kanał
29	Jaskinia w Siesławicach	Siesławice	21	5	szablaste*	do 2 m	stok	niska komora
30	Jaskinia Wodna w Siesławicach	Siesławice	25	8	szablaste*	do 2 m	obniżenie	studnia, kanały
31	Jaskinia ze Świetlikami	Siesławice	20	3	szablaste*	do 2 m	obniżenie	niska komora
32	Studnia Garbka	Siesławice	10	8	szablaste*	do 2 m	obniżenie	studnia
33	Jaskinia Zalewowa	Siesławice	25	2	szablaste*	do 2 m	obniżenie	kanał
34	Jaskinia w Łatanicach	Łatanice	20	1	drobnoziarniste	do 2 m	obniżenie	system kanałów
35	Jaskinia Gościnna	Łatanice	>10	2	szablaste*	do 2 m	stok	niska komora zawaliskowa
36	Jaskinia w Studni	Łatanice	10	?	szablaste*	2–5 m	stok	niska komora?
37	Jaskinia Łatanicka Nowa	Łatanice	>10	?	szablaste* i drobnoziarniste	do 2 m	stok	?
38	Jaskinia Niska	Łatanice	>10	?	szablaste* i drobnoziarniste	do 2 m	stok	niska komora
39	Jaskinia Flisa	Aleksandrów, Dolina Aleksandrowska	71	5	szablaste*	do 2 m	dolina	kanał
40	Jaskinia w Aleksandrowie	Aleksandrów, Dolina Aleksandrowska	163	4	szablaste*	do 2 m	dolina	kanały
41	Jaskinia w Ryglu	Aleksandrów, Dolina Aleksandrowska	60	3	szablaste*	do 2 m	dolina	kanały i komory
42	Jaskinia na Kontaktcie	Aleksandrów, Dolina Aleksandrowska	75	1	szklicowe	do 2 m	dolina	kanał
43	Jaskinia w Wiśniówkach	Wiśniówki	342	2	szklicowe	do 2 m	stok	kanał
44	Jaskinia Opalowa	Chotel Czerwony- -Stara Wieś	11	1	szklicowe	do 2 m	dolina	kanał
45	Jaskinia z Jeziorkiem	Chotel Czerwony- -Zagórze	>35	1	szablaste*	do 2 m	stok	niska komora
46	Jaskinia Sawickiego	Bronina	173	3	szklicowe i szablaste*	do 2 m	dolina	system kanałów

* Termin (gipsy) „szablaste” obejmuje również gipsy typu muraw selenitowych

Mniejsze jaskinie wymienione w tekście są oznaczone na mapach (fig. 3 i 4) następującymi numerami: 47 – Wielki Schron, 48 – Mały Tunel, 49 – Mostek w Aleksandrowie

* The term (gipsy) „szablaste” (large-crystalline sabre-like gypsum) also means grass-like selenite gypsum

Smaller caves mentioned in the text are signed on the maps (Figs. 3 and 4) with the following numbers: 47 – Wielki Schron, 48 – Mały Tunel, 49 – Mostek w Aleksandrowie

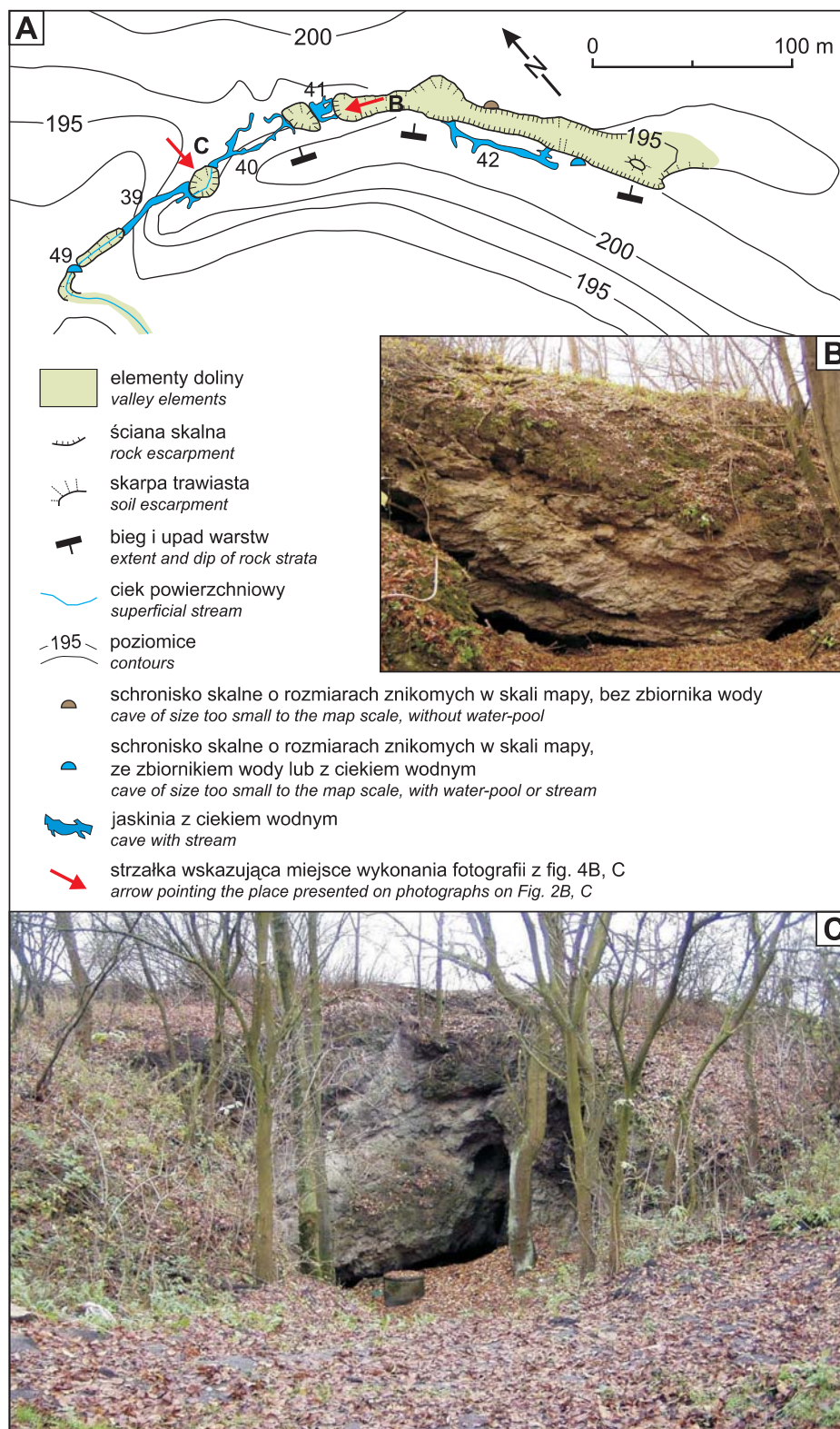
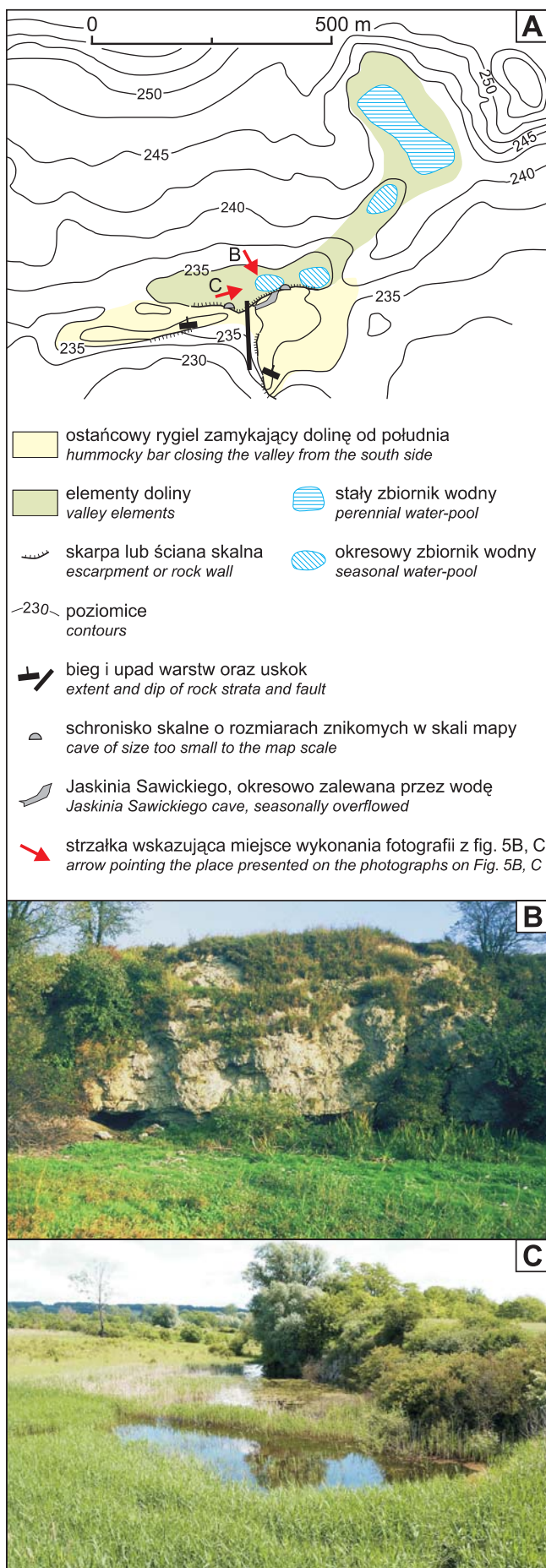


Fig. 4. Dolina Aleksandrowska

A. Szkic geomorfologiczny doliny (wg Flisa, 1954, uzupełniony) z lokalizacją jaskiń (numery zgodnie z tab. 2; uproszczone plany wg Gubały i in., 1998 oraz Urbana i in., 2012). B. Rygiel skalny zamykający środkową część doliny. C. Jeden z lejów w dolnej części doliny krasowej; w dnie płytka studnia ujmująca wodę Potoku Aleksandrowskiego (obte fot. J. Urban)

Dolina Aleksandrowska valley

A. Geomorphological sketch-map of the valley (after Flis, 1954, supplemented) with distribution of caves (numbers according to Table 2; simplified maps after Gubała *et al.*, 1998 and Urban *et al.*, 2012). B. Rock bar closing the middle section of the valley. C. One of the dolines in the lower part of karst valley; in its bottom shallow well collecting water of Potok Aleksandrowski stream is visible (both photos by J. Urban)



Podobnie jak w przypadku Doliny Skorocickiej, przeważający odcinek Doliny Aleksandrowskiej rozwinął się wzdłuż rozciągłości warstw gipsów, w gipsach szklicowych, murawach selenitowych i gipsach szablanych najniższej części serii ewaporatowej, bezpośrednio powyżej margli (Urban, 2008; Urban i in., 2012).

Dolina w Broninie jest znacznie szersza niż doliny opisane wcześniej i w górnej części pozbawiona skarp i stromych zboczy. Stanowi ona ciąg obniżeń o łącznej długości 700 m i szerokości do 200 m, z kilkoma wyraźnymi zagłębieniami bezodpływowymi, z których najwyższe jest obecnie stale wypełnione wodą, a niższe wypełniają się wodą okresowo, najczęściej na wiosnę (fig. 5A, C). Najbardziej charakterystycznym krasowym elementem tej doliny jest skalny, gipsowy garb zamykający ją od strony południowej (fig. 5B, C). Garb ma wysokość 4–8 m i jest zbudowany w części wschodniej, wyższej, z gipsów szablanych, natomiast w części zachodniej – z gipsów szklicowych, co oznacza, że jest rozcięty uskokiem o przebiegu południkowym, zrzucającym gipsy wschodniej części garbu. Gipsy są nachylone w kierunku północno-wschodnim i północnym (fig. 5A), co świadczy o tym, że – podobnie jak w przypadku dwu opisanych wcześniej dolin – przebieg dolnej części doliny w Broninie jest mniej więcej równoległy do rozciągłości warstw skalnych.

Odptyw wód ze ślepej doliny w Broninie następuje kanałami krasowymi w garbie gipsowym, których znaczna część jest dostępna jako Jaskinia Sawickiego (tab. 2, fig. 6G). Jaskinia ta jest zalewana każdej wiosny przez wody okresowego zbiornika powstającego w najniższej części doliny (fig. 5C; Chwalik i in., 2002; Urban, 2008).

Opisane wcześniej trzy doliny krasowe Niecki Soleckiej mimo różnic morfologicznych i morfometrycznych wykazują wiele podobieństw genetycznych, świadczących o ich związku z rozwojem krasu w wyniku przepływu wód na poziomie zwierciadła wód podziemnych. Wszystkie te doliny są odwadniane drogą zarówno powierzchniową, jak i podziemną – kanałami krasowymi dostępnymi często jako jaskinie. Mają dna położone mniej więcej na poziomie zwierciadła wód, które w przypadku Doliny Skorocickiej i Doliny Aleksandrowskiej jest stabilizowane regularnym, podziemnym lub powierzchniowym przepływem cieką, zaś w Broninie podlega większym wahaniom sezonowym. O związku

←

Fig. 5. Dolina krasowa w Broninie

A. Szkic geomorfologiczny doliny z lokalizacją jaskiń (uproszczony plan Jaskini Sawickiego wg Gubały i in., 1998). **B.** Północna ściana rygla zamykającego dolinę z otworami Jaskini Sawickiego (fot. J. Urban). **C.** Okresowy zbiornik wodny u podnóża rygla zamykającego dolinę podczas wyjątkowo wysokiego stanu wód wiosną 2012 r. (fot. A. Chwalik-Borowiec)

Karst valley in Bronina village

A. Geomorphological sketch-map of valley with distribution of caves (simplified map of the Jaskinia Sawickiego cave after Gubała *et al.*, 1998). **B.** Northern face of the hummocky bar closing the valley with entrances of the Jaskinia Sawickiego cave (photo by J. Urban). **C.** Seasonal water-pool next to the hummocky bar closing the valley during the exceptional high water level in spring 2012 (photo by A. Chwalik-Borowiec)

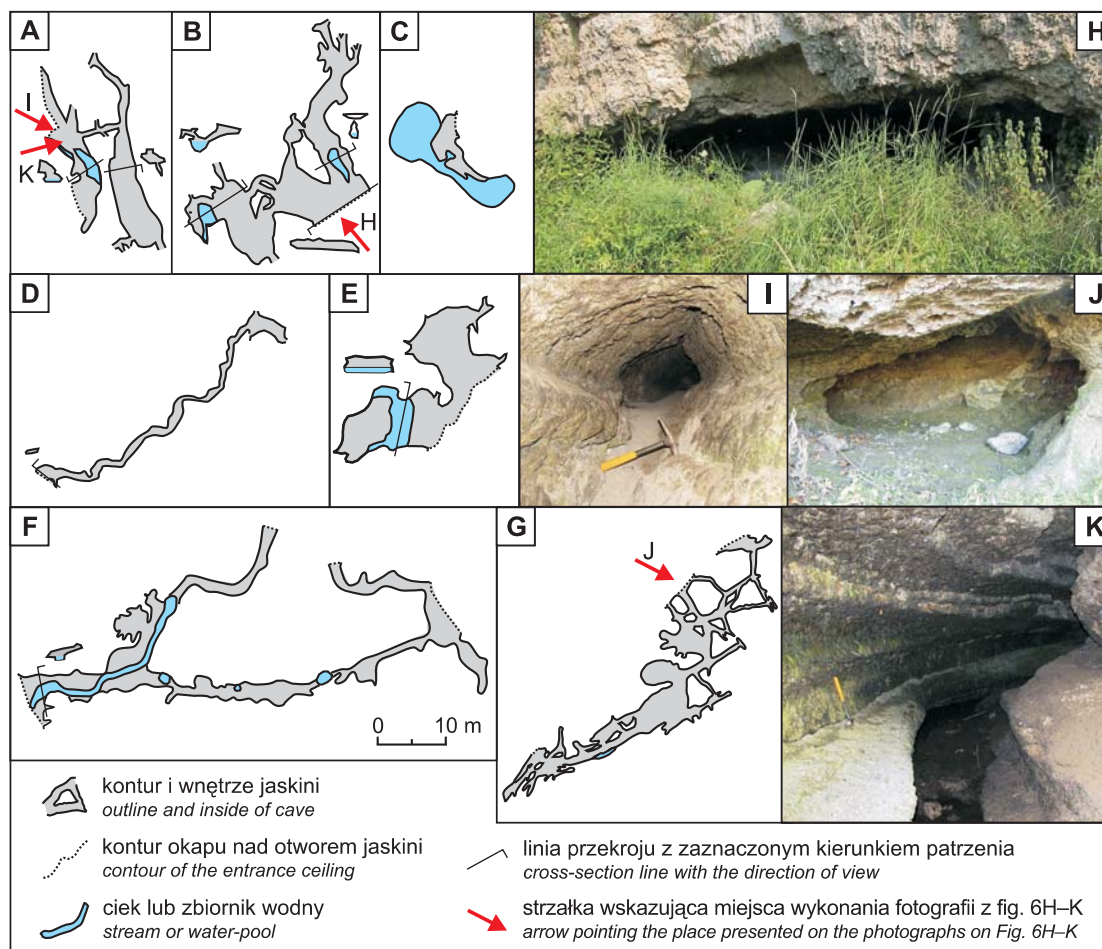


Fig. 6. Plany i przekroje (wg Gubały i in., 1998 oraz Urbana i in., 2012, uproszczone i zmienione) oraz zdjęcia przykładowych jaskiń

A. Jaskinia Stara (Dolina Skorocicka). **B.** Jaskinia w Skorocicach u Ujścia Doliny (Dolina Skorocicka). **C.** Jaskinia Półkolista (Siesławice). **D.** Jaskinia w Gackach. **E.** Jaskinia Szeroka (Siesławice). **F.** Jaskinia w Aleksandrowie (Dolina Aleksandrowska). **G.** Jaskinia Sawickiego (dolina krasowa w Broninie). **H.** Szeroki otwór Jaskini w Skorocicach u Ujścia Doliny prowadzący do niskiej, obszernej komory położonej nieco powyżej zwierciadła wód. **I.** Poziomy, rurowaty korytarzyk Jaskini Starej świadczący o horyzontalnym przepływie wód. **J.** Rurowate korytarze w otworze Jaskini Sawickiego. **K.** Meandrowe rozmycia na różnych wysokościach w Jaskini Starej świadczące o stopniowym wcinaniu się podziemnego cieku w skalne podłoże. Wszystkie plany w skali zaznaczonej na fig. 6F (wszystkie fot. J. Urban)

Maps and cross-sections (after Gubała *et al.*, 1998 and Urban *et al.*, 2012, simplified and modified) and photos of the representative caves

A. Jaskinia Stara cave (Dolina Skorocicka valley). **B.** Jaskinia w Skorocicach u Ujścia Doliny cave (Dolina Skorocicka valley). **C.** Jaskinia Półkolista cave (Siesławice site). **D.** Jaskinia w Gackach cave (Gacki site). **E.** Jaskinia Szeroka cave (Siesławice site). **F.** Jaskinia w Aleksandrowie cave (Dolina Aleksandrowska valley). **G.** Jaskinia Sawickiego cave (karst valley in Bronina village). **H.** Extensive entrance of the Jaskinia w Skorocicach u Ujścia Doliny cave introduces to the low and spacious chamber located slightly above the water-table. **I.** Horizontal, tubular conduit of the Jaskinia Stara cave evidencing horizontal water flow. **J.** Tubular passages in the entrance of the Jaskinia Sawickiego cave. **K.** Meandering corrosional concavities at various heights in the Jaskinia Stara cave prove gradual downward penetration of underground streambed. All maps in the scale marked at Fig. 6F (all photos by J. Urban)

dolin z przepływami w strefie zwierciadła wód, wzdłuż powierzchni uławicenia – i w konsekwencji z krasowieniem w tej strefie – świadczy również ich przebieg zgodny z rozciągłością warstw gipsów (na co w przypadku Doliny Skorocickiej zwrócił uwagę już Flis, 1954). W dwu pierwszych dolinach występują ponadto bardzo liczne formy rzeźby typowe dla dolin powstających w wyniku zawalania się stropów podziemnych kanałów, takie jak leje, ostańce czy reliktywne kanały krasowe przebijające ostańce lub zbocza doliny. W Broninie typowo krasowymi cechami rzeźby są zagłębienia bezodpływowe i ostańcowy garb zamykający

dolinę. Wszystkie opisane doliny charakteryzuje także bardziej zaawansowany rozwój odcinków wyższych (górnym lub – w przypadku Doliny Aleksandrowskiej – środkowego), co w przypadku Doliny Aleksandrowskiej Flis (1954) tłumaczył większą agresywnością wód spływających w jej górnym odcinku.

Różnice morfologiczne między dolinami wynikają przede wszystkim z odmiennych stadiów ich rozwoju. Dolina Skorocicka i – zwłaszcza – dolina w Broninie reprezentują etap dojrzałej rzeźby krasowej, podczas gdy Dolina Aleksandrowska stanowi znacznie młodszą formę rzeźby (Urban i in.,

2003, 2012). Na naturalną morfologię doliny w Broninie mogły nałożyć się również zmiany antropogeniczne (uprawa roli prowadząca do niwelacji nierówności).

JASKINIE

Na terenie Niecki Sockiej zainwentaryzowano 105 dostępnych obecnie jaskiń o łącznej długości przekraczającej 3200 m (Gubała i in., 1998; Wojtoń, 2001, 2002, 2004, 2005, 2006; Gubała, Kasza, 2002, 2004b; Melaniuk, 2002; Gubała, Chwalik, 2003; Markowiak, Ponikiewski, 2004, 2005; Ponikiewski, 2005; Urban, 2008; Saganowski, Kotwica, 2012; Urban i in., 2012; Urban, Kasza, 2012 oraz autorskie materiały archiwalne). Liczba jaskiń i łączna ich długość stosunkowo szybko się zwiększają, co wynika zarówno z postępów eksploracji, jak i z szybkiej ewolucji morfologicznej form krasu gipsowego, która powoduje otwieranie się nowych pustek w rezultacie zawalania się ich stropów (Gubała i in., 1999; Urban, 2008). Najdłuższe jaskinie tego obszaru, stanowiące jednocześnie największe jaskinie w gipsach na terenie Polski, osiągają długość 200–350 m (tab. 2, 3 – cecha A). Najdłuższa, Jaskinia Skorocicka, mierzy 352 m; niedawno skartowana, druga pod względem długości Jaskinia w Wiśniówkach liczy 342 m; trzecia w kolejności Jaskinia w Marzęcinie ma już tylko 250 m (tab. 2). Ponad połowa jaskiń Niecki Sockiej ma jednak znacznie mniejsze, kilkumetrowe rozmiary i można je zaliczyć do tzw. schronisk skalnych (por. Gradziński, 2012). Niewielkie są również pionowe deniwelacje w jaskiniach, ponad połowa wszystkich form tego typu jest rozwinięta praktycznie poziomo (tab. 3 – cecha B).

Charakterystyczne cechy jaskiń w Niecce Sockiej to skoncentrowane występowanie większości z nich oraz ich związek z określonymi formami rzeźby. Jaskinie występują przede wszystkim w dolinach krasowych: w Dolinie Skorocickiej zainwentaryzowano 33 jaskinie, w Dolinie Aleksandrowskiej – 11. Formy te są skoncentrowane również w dolnych częściach rozległych obniżeniach, czego przykładem może

być grupa kilkunastu jaskiń w Siesławicach. Pojedyncze i mniej liczne zespoły jaskiń występują na stromym stoku kuesty gipsowej, np. pięć jaskiń w Skotnikach Górnych, oraz w niedużych wzniesieniach, np. osiem jaskiń w Łatanicach (tab. 3 – cecha C). Pozostałe, rozproszone jaskinie rozwinęły się w stokach wzniesień (pagórków) lub kuest gipsowych, a także w obniżeniach (Gubała i in., 1998; Urban i in., 2003, 2012).

Występowanie jaskiń w serii ewaporatowej również jest uwarunkowane litologicznie. Jaskinie znajdują się przede wszystkim w pakiecie gipsów szablastych (wraz z podścielającym je cienkim pakietem muraw selenitowych), ale relatywnie dużą ich liczbę (prawie 20%) w stosunku do niewielkiej miąższości pakietu zainwentaryzowano w gipsach szklicowych, natomiast znikomą – w gipsach drobnoziarnistych i brekcjach gipsowych (fig. 1, tab. 3 – cecha D). Takie występowanie jaskiń jest spowodowane dwoma czynnikami. Pierwszy z nich to położenie w stosunku do skał słabiej przepuszczalnych, sprzyjające koncentracji takich form w sąsiedztwie tych skał (por. Palmer, 2007, str. 232–233), drugim czynnikiem jest wytrzymałość mechaniczna gipsów. Pierwszy czynnik decyduje o koncentracji kanałów krasowych w gipsach szklicowych, poniżej których występują słabo przepuszczalne margle. Drugi również sprzyja koncentracji jaskiń w gipsach szklicowych, które dzięki swej wielokrystalicznej strukturze są odporne na zniszczenia mechaniczne. Zdecydowanie mniejsza jest natomiast trwałość pustek w gipsach drobnokrystalicznych i brekcjach gipsowych, łatwo ulegających mechanicznemu zniszczeniu (Urban i in., 2003, 2008).

Również kształt kanałów krasowych (ich poprzeczny przekrój) zależy od litologii skał otoczenia. W gipsach szklicowych kanały krasowe mają najczęściej kształt owalny lub soczewkowaty, natomiast w gipsach szablastych – czworokątny (rombowy), uwarunkowany warstwowaniem gipsów i grawitacyjnym odpadaniem fragmentów warstw od stropu i ścian (Turchinow, 1997; Urban i in., 2003, 2008). Litologiczne uwarunkowanie speleogenezy, a także udział w niej

Tabela 3

Litologiczne, hydrogeologiczne i przestrzenne uwarunkowania występowania jaskiń

Lithological, hydrogeological and spatial conditions of the occurrence of caves

Cecha	Udział procentowy – dane w nawiasach dotyczą jaskiń o długości powyżej 10 m		
A – długość jaskiń	>100 m: 7 (15)	10–100 m: 37 (85)	do 10 m: 56 (–)
B – rozmiary pionowe jaskiń	>5 m: 6 (13)	2–5 m: 35 (61)	do 2 m: 59 (26)
C – położenie w stosunku do nadrzędnych form rzeźby	jaskinie skoncentrowane w dolinach krasowych: 48 (44)	jaskinie skoncentrowane we wzniesieniach i w stokach: 38 (41)	jaskinie w obniżeniach, rzadziej w wypłaszczeniach: 14 (15)
D – litologia skał otoczenia jaskiń	gipsy szklicowe: 17 (20)	gipsy szablaste i murawy selenitowe: 79 (74)	gipsy drobnoziarniste i brekcje gipsowe: 4 (6)
E – położenie dna w stosunku do zwierciadła wód	>5 m: 8 (6)	2–5 m: 25 (11)	do 2 m: 67 (83)
F – kształt systemów jaskiniowych	horyzontalne kanały krasowe: 39 (41)	horyzontalne komory i fugi: 37 (50)	inne: 24 (9)
G – specyficzne formy rzeźby jaskiń	jaskinie z obecnością lub ze śladami poziomych przepływów: 20 (26)	jaskinie z kotłami krasowymi: 2 (4)	inne: 78 (70)

procesów innych niż krasowe, w tym grawitacyjnych, są charakterystyczne dla skał gipsowych (Lauritzen, Lundberg, 2000).

Dna większości opisywanych jaskiń sięgają poziomu zwierciadła wód podziemnych lub też leżą bezpośrednio powyżej tego zwierciadła (tab. 3 – cecha E). Ta cecha dotyczy nie tylko jaskiń w dolinach krasowych (wbrew tej regule w dolinach tych jaskinie rozwinięte w ostańcach leżą nawet stosunkowo wysoko nad zwierciadłem wód). Również jaskinie znajdujące się w niewielkich wzniesieniach i w kuestowych stokach często sięgają strefy zwierciadła wód. Jest to spowodowane małą wysokością wzniesień i stoków oraz – w kilku miejscach (np. w Biniątkach) – „podparciem wód” przez leżące bezpośrednio poniżej gipsów słabo przepuszczalne margle. Przestrzenny związek jaskiń ze zwierciadłem wód podziemnych wskazuje na ich genetyczne powiązanie z przepływami na poziomie (w strefie) tego zwierciadła (Urban i in., 2003, 2008). Dodatkowym argumentem przemawiającym za powstaniem wielu jaskiń w strefie zwierciadła wód podziemnych jest ich wydłużenie subsekwentne do orientacji warstw gipsów. Gdy powierzchnie ławicowe stanowią najgęstszą sieć płaszczyzn nieciągłości w masywie skalnym (a tak jest w przypadku pakietu gipsów szablanych, w których nie występują spękania ciosowe), horyzontalny przepływ wód w strefie zwierciadła następuje w kierunku rozciągłości ławic, co warunkuje rozwój kanałów krasowych o tej orientacji (por. Palmer, 2000, 2007, str. 175, 193–194).

Charakterystyczną cechą systemów jaskiniowych Niecki Soleckiej jest ich kształt (tab. 2, 3 – cecha F). Około 40% opisywanych jaskiń to mniej więcej prostoliniowe, poziomo rozwinięte i słabo rozgałęzione kanały krasowe o różnych rozmiarach. Takimi kanałami są najdłuższe jaskinie w gipsach związane z dolinami krasowymi, np. Jaskinia Skorocicka, Jaskinia Stara, Jaskinia w Aleksandrowie czy Jaskinia Flisa, ale także występujące poza nimi, np. Jaskinia w Wiśniówkach (fig. 3, 4, 6A, D, F). Na podstawie kształtu jaskinie te można zaliczyć do prostych systemów typu *branchwork* lub nawet *rudimentary branchwork* (Palmer, 1991, 2000, 2007, str. 147, 192; Klimchouk, Ford, 2000; Ford, Williams, 2007), powstających wskutek przepływów cieków podziemnych w strefie zwierciadła wód, zasilanych bezpośrednio wodami infiltrującymi z powierzchni. Potwierdzają to wyniki obserwacji terenowych – wiele z tych jaskiń (w tym wymienione wcześniej) stanowi kanały cieków podziemnych i ma ślady erozji rzecznej w korytach (tab. 3 – cecha G, fig. 6K). Typowym przykładem takiego podziemnego kanału jest Jaskinia Skorocicka, w której ścianach można prześledzić na różnych wysokościach ślady bocznego wycinania koryta cieku (fig. 7). Różna wysokość tych śladów jest uwarunkowana stopniowym weinaniem się podziemnego koryta, związanym z obniżaniem się zwierciadła wód. Warto zaznaczyć, że najszerzej wcięte jest najniższe, współczesne koryto Potoku Skorocickiego, co świadczy o tym, że okres współczesny jest etapem stabilizacji zwierciadła wód.

Taką samą genezę jak wspomniane wcześniej większe jaskinie typu *branchwork* mają również krótsze kanały, przebijające na różnych wysokościach ostańce w dolinach

krasowych. Stanowią one reliktywne fragmenty starszych systemów krasowych tego typu, powstałych przy wyższym położeniu zwierciadła wód podziemnych (Chwalik i in., 2002; Urban i in., 2003, 2008; Urban 2008).

Drugą liczną grupę (37% wszystkich jaskiń, 50% jaskiń o długości powyżej 10 m; tab. 3 – cecha F) stanowią rozwinięte horyzontalnie i zazwyczaj niskie pustki podziemne o charakterze soczewkowatych komór, jak również zespoły tych pustek lub – rzadziej – kombinacje komór i korytarzy. Przykładami takich pustek mogą być niektóre jaskinie w Siesławicach, m.in. Jaskinia Szeroka i Jaskinia Półkolistą (fig. 6C, E), a także Jaskinia Żydowska w Marzęcinie. Zespołem złożonym z kanałów i niskich komór jest Jaskinia w Skorocicach u Ujścia Doliny (tab. 2, fig. 6H). Większe jaskinie tego rodzaju są położone przeważnie na poziomie zwierciadła wód podziemnych lub też nieco powyżej niego, dlatego najbardziej prawdopodobna jest hipoteza o ich rozwoju w wyniku intensywnej korozji gipsów w strefie zwierciadła wód, gdzie agresywność wód jest szczególnie wysoka (por. Klimchouk, 1996; Klimchouk, Andrejchuk, 1996; Klimchouk i in., 1996; Lauritzen, Lundberg, 2000). Takie owalne lub nieregularne w planie poziomym formy mogą rozwijać się w warunkach niewielkiego gradientu hydraulicznego i tym samym niskiej energii poziomego przepływu wód, niższej niż w przypadku kanałów typu *branchwork* (Urban i in., 2003, 2008).

Mniejsze niskie komory tworzą się także jako rozszerzenia fug międzyławicowych, są więc uwarunkowane strukturą i litologią skał. Pustki typu komór powstają też w spągu gipsów, na ich granicy z niżej leżącymi marglami. Nachylenie tej granicy wpływa na kształt i pochylenie pustek (Gubała i in., 1998; Urban i in., 2003, 2008).

Pozostałe (niezakwalifikowane do dwu opisanych wcześniej grup) jaskinie, stanowiące ok. 25% ogólnej liczby tych form (tab. 3 – cecha F), to w większości krótkie i w różnym stopniu nachylone (w tym pionowe) szczeliny. Kształt i sytuacja geomorfologiczna wielu z nich wskazują, że powstały one w rezultacie grawitacyjnego rozpadu masywu nad leżącymi niżej pustkami krasowymi, czyli w wyniku rozszerzania się spękań kosztem zasypywanych niżej pustek krasowych. Jednym z największych systemów złożonych ze szczelin tego typu jest jaskinia Ucho Olki w Dolinie Skorocickiej – najgłębsza jaskinia w gipsach Poniżnia (tab. 2). Nieliczną grupę stanowią również niewielkie nisze podskalne powstałe w wyniku procesów wietrzeniowo-grawitacyjnych.

Trzy spośród dużych jaskiń różnią się kształtem od wcześniej opisanych. Są to: Jaskinia Sawickiego w Broninie (fig. 6G, J), Jaskinia w Krzyżanowicach Górna (fig. 8) i Jaskinia Chotelecka (tab. 2). Pierwsza z nich stanowi w części labiryntowy system ciasnych kanałów o przekroju owalnym lub soczewkowym, który przechodzi w bardzo niską poziomą komorę i dalej – w podwójny, ale biegnący w jednym kierunku korytarz. Rurowaty kształt i labiryntowy przebieg części kanałów krasowych może świadczyć o ich powstaniu w warunkach freaticznych (por. np. Lauritzen, Lundberg, 2000), brakuje jednak w tej jaskini form rzeźby typowych dla głębokich przepływów (np. owalnych zagłębień – patrz

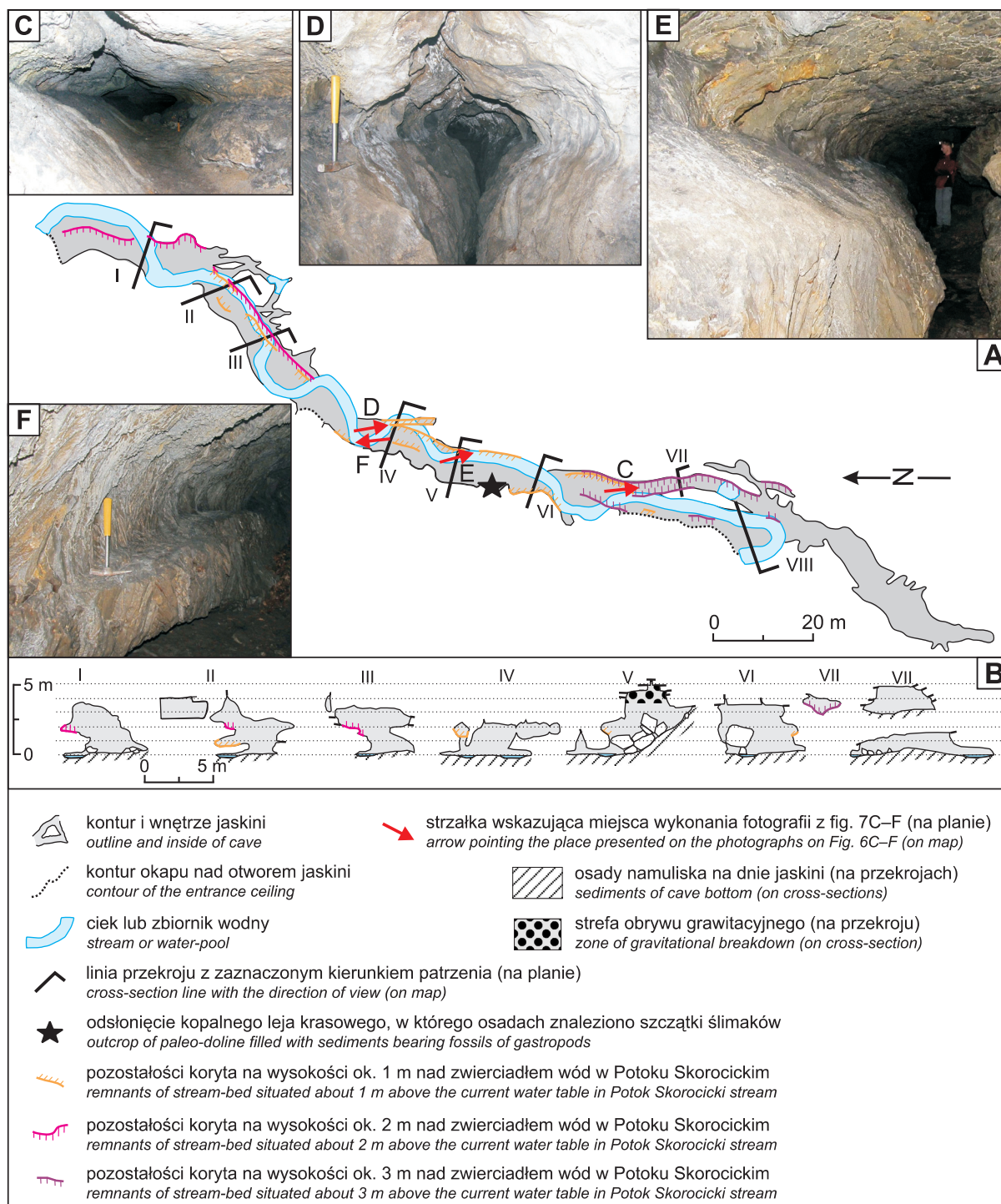


Fig. 7. Ślady horyzontalnych przepływów podziemnego potoku na różnych wysokościach zachowane na ścianach Jaskini Skorocickiej

A–B. Plan (wg Gubały i in., 1998, uproszczony) oraz przekroje jaskini (wg Urbana i in., 2009) ze śladami dawnych koryt. **C.** Najwyższe reliktywne koryto podziemnego ciek zidentyfikowane w Jaskini Skorocickiej. **D.** Reliktowe koryto o dnie na wysokości ok. 1,2 m nad zwierciadłem wód w Potoku Skorocickim, które było głębiej rozcinane w miarę obniżania się zwierciadła wód. **E.** Półka skalna na wysokości ok. 1,5 m nad zwierciadłem wód w Potoku Skorocickim stanowiąca reliktywne fragment koryta potoku. **F.** Półka skalna na wysokości ok. 1,0 m nad zwierciadłem wód w Potoku Skorocickim – reliktywne fragment koryta (wszystkie fot. J. Urban)

Traces of horizontal flows of subsurface stream at different heights preserved on Jaskinia Skorocicka cave walls

A–B. Map (after Gubała *et al.*, 1998, simplified) and cross-sections of the cave (after Urban *et al.*, 2009) with remnants of the relict stream channels. **C.** The highest relict channel of subsurface stream identified in the Jaskinia Skorocicka cave. **D.** Relict stream-bed at the height about 1.2 m above the water-table in the Potok Skorocicki stream, which was deepened along to lowering of the water-table. **E.** Rock shelf at the height about 1.5 m above the water-table in the Potok Skorocicki stream being the relict fragment of stream-bed. **F.** Rock shelf at the height about 1.0 m above the water-table in the Potok Skorocicki stream – relict fragment of stream-bed (all photos by J. Urban)

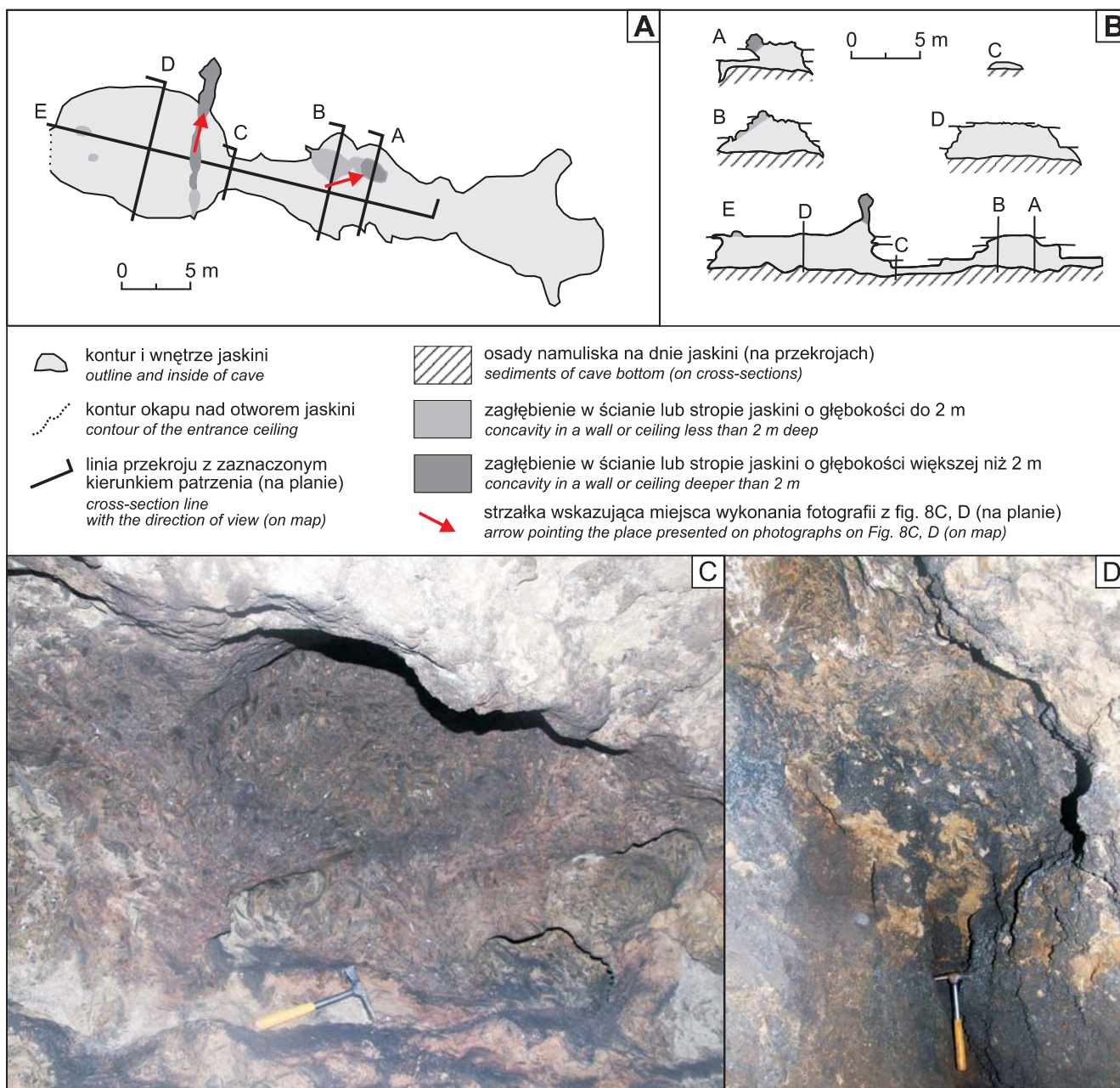


Fig. 8. Jaskinia w Krzyżanowicach Górna

A–B. Plan (wg Gubały i in., 1998) i przekroje (wg Urbana i in., 2009). **C.** Dzwonowaty kocioł krasowy z mniejszymi zagłębieniami młodszej generacji w stropie środkowej komory jaskini. **D.** Soczewkowate zagłębienie w stropie przyotworowej komory jaskini, powstałe wzdłuż spękania ciosowego (obie fot. J. Urban)

Jaskinia w Krzyżanowicach Górna cave

A–B. Map (after Gubała *et al.*, 1998) and cross-sections (after Urban *et al.*, 2009). **C.** Bell-shape karst pothole with smaller cupolas of younger generation on the middle chamber ceiling. **D.** Lenticular concavity in the near-entrance chamber ceiling, developed along a joint (both photos by J. Urban)

w dalszej części). Podobne pod względem kształtu są również systemy krasowe powstające w strefie epifreatycznej, czyli w strefie zalewanej w okresach wysokich stanów wód (*floodwater caves* – Lauritzen, Lundberg, 2000; Palmer, 2000, 2001, 2007, str. 198–202). Jaskinia Sawickiego rzeczywiście jest położona w tej strefie – znajduje się w garbie zamykającym krasową dolinę w Broninie (patrz rozdz. „Doliny krasowe”), w której zwierciadło wód ulega znacznym sezo-

nowym wahaniom i wysokie stany wód powodują zalanie tej jaskini corocznie na wiosnę (Urban, 2008).

Z kolei obie pozostałe jaskinie – Jaskinia w Krzyżanowicach Górna i Jaskinia Chotelecka – składają się z kilku komór, wśród których są też formy wysokie. Jednocześnie w jaskiniach tych występują specyficzne formy rzeźby ścian i stropu – kotły i soczewkowate szczeliny (tab. 3 – cecha G, fig. 8A, B). W Jaskini w Krzyżanowicach Górnej półowalne

lub dzwonowate kotły są rozmieszczone chaotycznie na stropie lub ścianach środkowej komory, a ich średnica sięga 1–2 m. Pokryte są miejscami kociołkami młodszej generacji o średnicy rzędu kilkunastu centymetrów (fig. 8C). Wzdłuż spękania przecinającego największą komorę jaskini występują duże, osiagające głębokość do 4 m i szerokość do 1 m, soczewkowate pustki (fig. 8D). Zdaniem wielu autorów (Palmer, 1991; Lauritzen, Lundberg, 2000; Ford, Williams, 2007) sferoidalny kształt poszczególnych części (komór) jaskiń oraz obecność w ich ścianach owalnych lub soczewkowatych zagłębień są charakterystyczne dla pustek powstających w warunkach freatycznych, poniżej zwierciadła wód gruntowych. Liczni autorzy wiążą te cechy z przepływem wód ascenzyjnych (Klimchouk, 2007, 2009; Osborne, 2007), zaś powstawanie kotłów w ścianach tłumaczą konwekcją tych wód (całkowicie wypełniających pustki), stymulowaną przez ich zróżnicowanie termiczne lub różnice ich mineralizacji (Rudnicki, 1978; Lauritzen, Lundberg, 2000).



Fig. 9. Kawerny krasowe w zachodniej ścianie leja ponad otworem Jaskini Flisa w Dolinie Aleksandrowskiej. Kształt kawern jest uwarunkowany strukturą gipsu, nie dynamiką przepływu wód, co wskazuje na ich genetyczny związek z powolnym, głębokim krążeniem wód (fot. J. Urban)

Karst cavities in the western face of doline above the entrance of Jaskinia Flisa cave in the Dolina Aleksandrowska valley.

The shapes of the cavities are controlled by gypsum fabric, not by dynamics of water flow, which indicates their genetical connection with slow and deep water circulation

(photo by J. Urban)

Na podstawie kształtu komór i obecności opisanych wcześniej form rzeźby w Jaskini w Krzyżanowicach Górnej Głazek (1993; Głazek i in., 1994) wysunął tezę o jej rozwoju w warunkach freatycznych, poniżej napiętego zwierciadła wód (gdym gipsy były jeszcze pokryte nieprzepuszczalnym nakładem skał ilastych), oraz o udziale w tym rozwoju procesów konwekcyjnych. Podobną genezę mają najprawdopodobniej Jaskinia Chotelecka oraz niewielkie (mniejsze od jaskiń) owalne kawerny krasowe odsłaniające się w jednym z lejów Doliny Aleksandrowskiej (fig. 9; Urban i in., 2009).

Osady wtórne (namuliska) występują w jaskiniach Niecki Soleckiej w niewielkich ilościach i wyniki ich badań nie przyczyniły się dotąd w istotny sposób do wyjaśnienia wieku i warunków rozwoju form krasowych. Są to przede wszystkim autogeniczne gruzu, czasem bloki skalne nagromadzone na dnie jaskiń w wyniku grawitacyjnych obrywów stropu, a także czarne mułki pokrywające płaszczyzny dna niektórych jaskiń, w jaskiniach z ciekami podziemnymi tworzące zaś osady korytowe potoków (Gubała i in., 1998; Urban i in., 2003, 2008). Badania namulisk w dnie Jaskini Skorocickiej, przeprowadzone już przez Kontkiewicza (1882), nie dały interesujących rezultatów (znalezisk makroszczątków fauny czy artefaktów archeologicznych). Według Głazka i in. (1994), którzy prowadzili badania namuliska w Jaskini w Krzyżanowicach Górnej, czarne mułki powstały w wyniku nagromadzenia się w jaskiniach Niecki Soleckiej materiału z gleb rędziny erodowanych intensywnie na powierzchni terenu po jego wylesieniu we wczesnym średniowieczu. Potwierdzeniem tego wniosku jest wynik badania sekwencji osadów namuliskowych w Jaskini w Krzyżanowicach Górnej, w której pod warstwą czarnych mułków o miąższości ok. 1 m, w stropie piasków, znaleziono warstwę kulturową ze szczątkami ludzkimi, kośćmi zwierząt domowych oraz fragmentami ceramiki średniowiecznej. Węgiel drzewny z warstwy piasków wydatowano radiowęglowo na ok. 2 tys. lat. Poniżej warstwy piasków o miąższości 1,5 m leżą pstry ły z okruskami gipsu, których wiek określono na mniej niż 0,8 mln lat na podstawie wyników badań paleomagnetycznych (Głazek, 1993; Głazek i in., 1994).

LEJE I ZESPOŁY LEJÓW

W Niece Soleckiej dominują odkryte leje krasowe, tzn. formy rozwijające się na wychodniach gipsów (Flis, 1954; Nowak, 1986), co różni ten region od Niecki Połanieckiej. W odróżnieniu też od Niecki Połanieckiej, z wyjątkiem kilku jezior (lejęw-jaskiń wypełnionych wodą) w Siesławicach (Gąsiorowski, 1925; Gubała i in., 1998; Bartoszewski, Niekludow, 2006), leje na badanym terenie są suche i pozbawione zbiorników wodnych. Leje krasowe Niecki Soleckiej, zwane również wertebami, wertepami lub karabosami (Urban i in., 2012), mają średnicę zwykle rzędu kilku, wyjątkowo kilkadziesiąt metrów (50 m) i głębokość 1–5 m oraz zróżnicowany kształt, w planie poziomym kolisty, owalny lub nieregularny, natomiast w przekroju pionowym – nieckowaty, lejkiowaty, walcowy lub nieregularny (fig. 10).

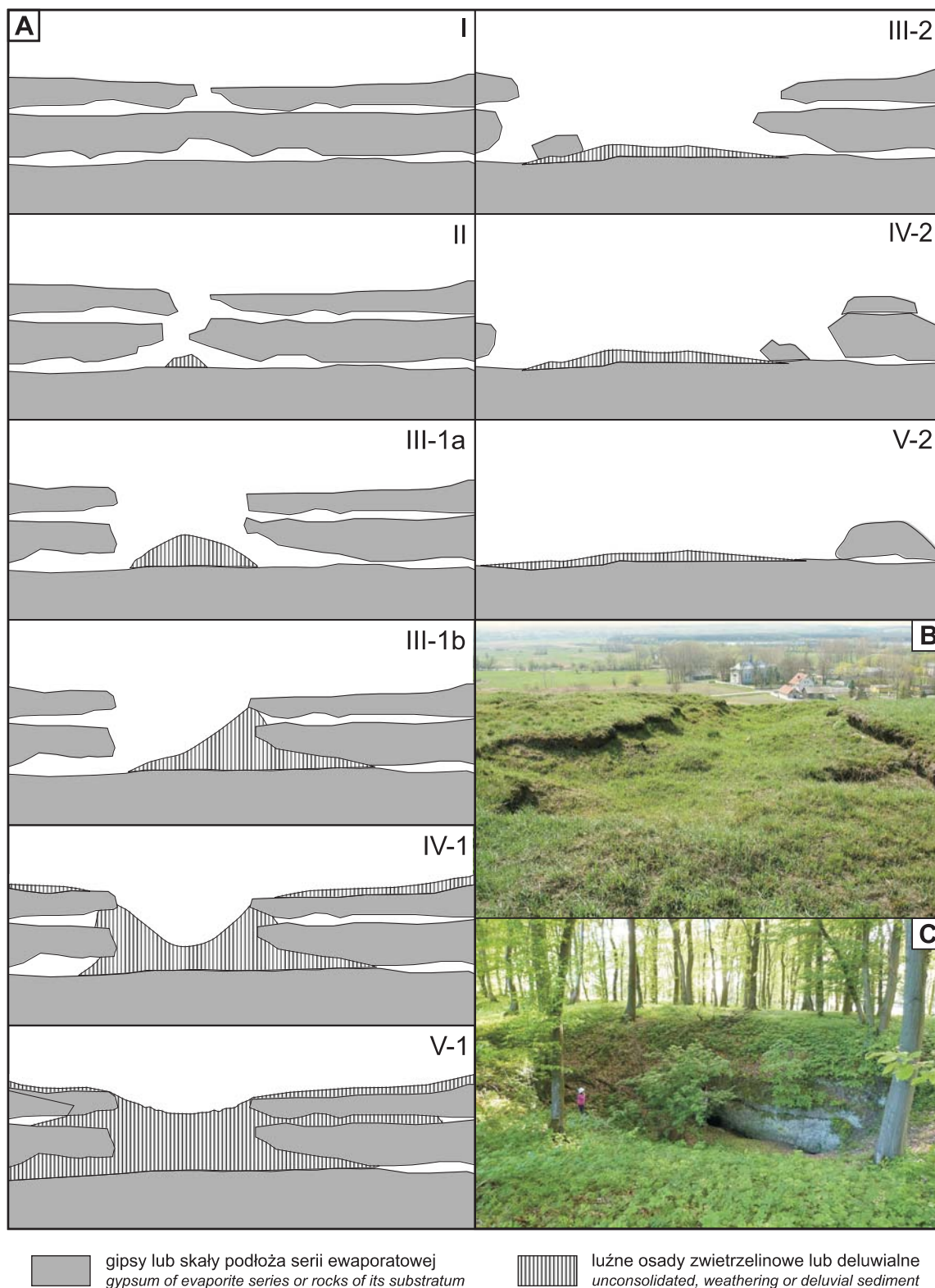


Fig. 10. Ewolucja, budowa i przykłady lejów krasowych w gipsach Niecki Sockiej

A. Schemat ewolucji i budowy lejów (na podstawie Flisa, 1954, zmieniony i rozbudowany). **B.** Płytki lej (w warstwie gipsów szklicowych) o nierównym (miejscami pochyłym lub wypukłym) dnie na Garbie Krzyżanowickim. **C.** Duży, głęboki lej w gipsach górnej części serii ewaporatowej na terenie lasu Grabowiec (obie fot. A. Chwalik-Borowiec)

Evolution, structure and examples of dolines in gypsum of the Niecka Solecka area

A. Schematic model of evolution and structure of doline (based on Flis, 1954, modified and developed). **B.** Shallow doline (in very large-crystalline glassy gypsum layer) with uneven (in places dipping or bulging) floor on the Garb Krzyżanowickim. **C.** Big, deep doline formed in gypsum of the upper part of evaporate series, in the area of the Grabowiec forest (both photos by A. Chwalik-Borowiec)

Największe leje krasowe są związane z dolinami krasowymi. Występują np. na przedłużeniu Doliny Aleksandrowskiej i w obrębie ostańców Doliny Skorocickiej. Przykładami takich dużych form w Dolinie Skorocickiej są: zapadlisko między otworami Pieczary Dzwonów, Jaskini Górnej i Jaskini Skorocickiej o średnicy 20 m i głębokości 10 m, a także nieckowaty lej o średnicy 15–25 m i głębokości 5 m, położony na zachód od Okrągłej Góry (fig. 3A; Flis, 1954; Urban, 2008; Urban i in., 2012). Oprócz dolin krasowych zgrupowania lejów występują w kilku miejscach: na wierzcholinie Garbu Krzyżanowickiego, w lesie Grabowiec, na południe od Marzęcina, na północ od Skorocic, na terenie tzw. Choteleckich Gór, oraz pomiędzy Skorocicami i Łatanicami (fig. 1, tab. 4; Flis 1954; Gubała, Kasza, 2004a; Urban i in., 2012).

Już Flis (1954) stwierdził, że zdecydowana większość lejów krasowych Niecki Soleckiej powstała w rezultacie zawalenia się podziemnych pustek, a nie w wyniku powierzchniowego krasowienia gipsów (rozpuszczania ich powierzchni). Bezpośrednim tego dowodem są leje zapadliskowe rozwinięte na przedłużeniu wylotów kanałów krasowych (otworów jaskiń), np. lej utworzony przez zawalenie się kanału łączącego Pieczarę Dzwonów, Jaskinię Górną i Jaskinię Skorocicką w Dolinie Skorocickiej (fig. 3A) czy leje dolnego odcinka Doliny Aleksandrowskiej (fig. 4A, C). O takiej genezie świadczą również opisywane od czasów Puscha przypadki powstawania tego typu zapadlisk (Urban, 2008).

Flis (1954) powiązał rozwój lejów z krasowieniem gipsów w płytkiej strefie podpowierzchniowej powodowanym przez wody infiltrujące z powierzchni. Konsekwencją takiego poglądu był przedstawiony przez tego badacza model ewolucji zagłębień krasowych, który dla wielu lejów również zdaniem autorów tego artykułu jest prawdziwy (fig. 10A – I–V). Według Flisa (1954) rozwój lejów rozpoczyna się od poszerzania pionowych szczelin krasowych oraz związanych z nimi fug międzyławicowych (fig. 10A – I, II). Depresja krasowa powstaje w wyniku zawalenia się stropu takich pustek lub stopniowo, w miarę odpajania się gipsów na brzegach pionowej szczeliny (studni). Analiza genetyczna jaskiń

(patrz rozdz. „Jaskinie”) wskazuje jednak, że leje mogą powstawać również wskutek zawalenia się stropów dużych pustek krasowych powstałych wcześniej w wyniku podziemnych poziomych przepływów wód i w niewielkim stopniu rozszerzanych przez procesy krasowe związane z bezpośrednią infiltracją wód.

W zależności od sposobu niszczenia gipsu i poszerzania depresji oraz rozmywania powstającego gruzu gipsowego tworzy się lej wypukłodenny, pochyłodenny, płaskodenny lub wkłęsłodenny (fig. 10A, odpowiednio: III-1a, III-1b, III-2, IV-1). Flis (1954) wytłumaczył to zróżnicowanie kształtów sposobem wypełnienia leja materiałem wtórnym. Kształt leja jest jednak uwarunkowany również litologią gipsów i ich podłoża. W gipsach szklicowych powstają bowiem zagłębienia w kształcie rondli, o rozległym, płytkim dnie zbudowanym z margli stanowiących podłoża serii ewaporatowej oraz stromych, często skalnych ścianach wyciętych w zwięzłych gipsach wielokryształicznych (fig. 10B). Z kolei leje utworzone w gipsach wyższej części serii ewaporatowej bywają głębsze i mają kształty nieckowate (fig. 10C), rzadziej stożkowate (Urban, 2008).

Zdaniem Flisa (1954) w późnym stadium rozwoju leje są wypełniane nanoszonymi przez wodę osadami (fig. 10A – IV-1, V-1) bądź też poszerzają się i łączą, tworząc wyrównaną, ale niższą od pierwotnej powierzchnię (fig. 10A – IV-2, V-2). Wydaje się, że ten drugi przypadek jest znacznie częstszy, ponieważ gipsowo-mułkowe wypełnienia obniżen są niszczone korozyjnie (rozpuszczane) lub zmywane do pustek podziemnych.

W jedynym znanym na terenie Niecki Soleckiej dostępnym do bezpośrednich badań stanowisku takich osadów, które wypełniają studnię (szczelinę) odsłoniętą w ścianie Jaskini Skorocickiej, stwierdzono właśnie piasek i żwir gipsowy z domieszką substancji ilastej, w których występowały pojedyncze muszle współcześnie żyjących gatunków ślimaków leśnych oraz łąkowych, oznaczonych przez S.W. Alexandrowicza. Zdaniem tego badacza stan zachowania muszli wskazuje na wiek nie starszy niż kilka tysięcy lat (Urban i in., 2009).

Tabela 4

Zespoły lejów krasowych na terenie Niecki Soleckiej (wg Gubały, Kaszy, 2002; Urbana i in., 2012)

Clusters of the dolines in the area of Niecka Solecka (after Gubała, Kasza, 2002; Urban *et al.*, 2012)

Numer na fig. 1	Miejsce występowania	Charakterystyka form
I	las Grabowiec	ok. 25 lejów, które w kilku przypadkach przechodzą w formy typu uwału; część z nich jest rozmieszczona liniowo i nawiązuje do przebiegu stref uskokowych; często jedno ze zboczy leja tworzy pionowa ściana z odsłonięciem gipsów
II	wierzchoлина Garbu Krzyżanowickiego	ok. 20 lejów; mają owalny, wydłużony kształt, średnicę do 40 m, głębokość do 2 m; zbocza lejów często są pionowymi ścianami z odsłonięciami gipsów szklicowych
III	obszar na południe od Marzęcina	ok. 10 lejów, z których większość jest rozmieszczona liniowo; mają owalny kształt, średnicę 5–100 m, głębokość do 5 m
IV	obniżenie w Choteleckich Górach	ok. 20 lejów rozmieszczonych liniowo, o nieckowatym, owalnym kształcie; w przekroju pionowym mają kształt lejowaty, nieckowaty; głębokość 1–5 m, średnica do 25 m; w niektórych lejach występują odsłonięcia gipsów
V	obszar pomiędzy Skorocicami i Łatanicami	ok. 10 nieckowatych, rozległych i płytkich lejów o średnicy do 50 m i głębokości do 2 m

ETAPY ROZWOJU, WIEK I SPECYFIKA KRASU W GIPSACH NIECKI SOLECKIEJ

WARUNKI I ETAPY ROZWOJU KRASU NIECKI SOLECKIEJ

Na podstawie analizy uwarunkowań litologiczno-strukturalnych, hydrogeologicznych i morfologicznych występowania form krasowych w gipsach Niecki Soleckiej można zrekonstruować etapy rozwoju krasu w tych skałach oraz określić związek rozwoju krasu z ewolucją morfologiczną obszaru. Z kolei dzięki analizie rozmiarów form krasowych w stosunku do przypuszczalnego tempa denudacji chemicznej skał gipsowych można oszacować wiek tych form (jest to jedyny sposób, gdy nie ma datowanych osadów jaskiniowych z wczesnego etapu speleogenezy).

Proces krasowy może nastąpić na różnych etapach ewolucji geologicznej kompleksu skał krasowiejących – od eogenezy, czyli depozycji osadu, poprzez mezogenezę, gdy kompleks jest przykryty innymi skałami (pogrzebany pod nimi), aż po telogenezę, czyli powtórne odsłonięcie kompleksu na powierzchni (Klimchouk, Ford, 2000). Ślady krasowienia badeńskiej serii ewaporatowej Ponidzia w czasie eogenezy, odmienne od typowych form krasowych, nie były przedmiotem analizy w tym artykule. Zdaniem Bąbla (1999) świadectwami krasowienia w okresie eogenezy są pseudomorfozy









po halicie oraz brekcje występujące w górnej części kompleksu. Nierówny morfologicznie i diachronicznie ścięty strop serii ewaporatowej również wskazuje na krasowienie przed pogrzebaniem serii w badenie (Osmólski, 1976; Krysiak, 2000).

Formy krasowe powstałe w następnym, mezogenetycznym okresie ewolucji kompleksu skał krasowiejących reprezentują (z definicji) tzw. kras międzywarstwowy (*intrastratal karst*), głęboki (*deep-seated karst* – Klimchouk, 2000; Klimchouk, Ford, 2000; Palmer, 2007, str. 176–177), który rozwija się pod nadkładem skał nieprzepuszczalnych i niekrasowiejących (tab. 5). Proces krasowienia zachodzi w warunkach freatycznych, pod napiętym zwierciadłem, w rezultacie głębokiego krążenia wód. Wyniki obserwacji kształtu systemów jaskiniowych i elementów ich rzeźby (patrz rozdz. „Jaskinie”) wskazują, że w gipsach serii ewaporatowej Niecki Soleckiej formami powstałymi w warunkach głębokiego krążenia wód są jedynie dwie jaskinie spośród dotąd zinwentaryzowanych obiektów: Jaskinia w Krzyżanowicach Górna i Jaskinia Chotelecka, ewentualnie również kawerny w ścianie leja Doliny Aleksandrowskiej (tab. 5). Nie można jednak wykluczyć, że pojedyncze niedostępne formy tego typu występują jeszcze w kilku miejscach na obszarze Niecki

Tabela 5

Rozwój krasu w gipsach Niecki Soleckiej – etapy ewolucji na tle zmieniających się warunków. Typy krasu wg Klimchouka, Forda (2000)

Development of karst in gypsum of the Niecka Solecka area – evolution stages at the background of changing environmental conditions.
Karst types after Klimchouk, Ford (2000)

Wiek	Typ krasu	Warunki	Rozwój form krasowych w Niecce Soleckiej	Intensywność procesu krasowego	
				Niecka Solecka	zachodnia Ukraina
HOLOCEN	kras odkryty denudowany	swobodna infiltracja wód i ich przepływ w obrębie gipsów; swobodne zwierciadło wód	denudacja chemiczna i mechaniczna w strefach infiltracji i przepływu wód podziemnych na poziomie zwierciadła wód, w tym w dolinach krasowych		
PLEJSTOCEN	kras odkryty kras rozci- nany	seria ewaporatowa rozcinana dolinami krasowymi, infiltracja w strefach wychodni; swobodne zwierciadło wód	denudacja chemiczna i mechaniczna w strefach infiltracji i zwierciadła wód, ale w wyższym niż obecnie położeniu: w obrębie współczesnych wzniesień, stoków oraz „starych” dolin krasowych: Dolina Skorocicka i jej wyżej położone jaskinie, dolina w Broninie		
NEOGEN	kras międzywarstwowy kras podpowierzchniowy kras głęboki	denudacyjne rozcinanie najwyższych strukturalnie elementów serii ewaporatowej: (brachy)antykliny; zwierciadło wód lokalnie swobodne	denudacja chemiczna (krasowa) i mechaniczna w górnych partiach współczesnych dużych zagłębień krasowych, znacznie powyżej ich obecnego dna		
		głębokie (ascenzyjne) krążenie wód; napięte zwierciadło wód pod nadkładem skał nieprzepuszczalnych	wzdłuż stref przepływu wód (uskoków, spēkań) rozwijają się nieliczne systemy krasowe: Jaskinia w Krzyżanowicach Górna, Jaskinia Chotelecka)		

Intensywność rozwoju krasu wyrażono wielkością symbolu (kółka)

Intensity of karst development is expressed by size of symbol (circle)

Soleckiej (np. w sąsiedztwie Jaskini Choteleckiej, o czym mogą świadczyć znajdujące się tam głębokie leje krasowe).

Obecność tylko dwu jaskiń reprezentujących głęboki kras międzywarstwowy w grupie ponad stu jaskiń odkrytych dotąd na terenie Niecki Soleckiej wskazuje, że w Niecce Soleckiej formy takiego krasu są stosunkowo nieliczne, znacznie rzadsze niż w gipsach tej samej serii ewaporatowej zachodniej Ukrainy (Urban i in., 2008). W przypadku słabej przepuszczalności nieskrasowiałych gipsów jest to spowodowane przede wszystkim właściwościami hydrogeologicznymi podłoża i nadkładu serii ewaporatowej w profilu utworów neogenu (miocenu). Nadkład serii ewaporatowej stanowią nieprzepuszczalne iłowce, a w jej podłożu występują głównie margle, których przepuszczalność jest bardzo zróżnicowana, często znikoma (inaczej niż w modelu krasu wiślickiego zaproponowanym przez Liszkowskiego, 1979, który uważa te utwory za przepuszczalne). W marglach tych wraz z głębokością wzrasta stopień zaciśnięcia szczelin, co powoduje, że na głębokości ok. 50 m skały te stają się półprzepuszczalne, zaś poniżej 80–120 m – praktycznie nieprzepuszczalne (Prażak, 2012). Miejscami uprzywilejowanych przepływów wód na większych głębokościach są w marglach strefy spękań tektonicznych i uskoków (Łyczewska, 1972a; Dynowska, 1983). Tak więc utrudnione krążenie wód w otoczeniu serii ewaporatowej w okresie głębokiego pogrzebienia znacznie ograniczało rozwój krasu. Pojedyncze formy krasowe powstałe na tym etapie ewolucji masywu gipsowego są związane najprawdopodobniej ze strefami uprzywilejowanego krążenia wód w marglach. Jaskinia w Krzyżanowicach Górna powstała w sąsiedztwie rozcinającego gipsy i margle uskoku zrzutowego, natomiast Jaskinia Chotelecka – w osiowej części wąskiej i głębokiej synkliny, która może być związana ze strefą spękań lub uskoków w podłożu gipsów (fig. 1; Urban i in., 2009).

W konsekwencji Jaskinię w Krzyżanowicach Górna i Jaskinię Chotelecką należy uznać za najstarsze typowe formy krasowe znane w gipsach Niecki Soleckiej, powstałe w okresie istnienia neogeńskiego nadkładu nad serią ewaporatową. Wiek obu jaskiń można ocenić jedynie na podstawie oszacowania wieku młodszych form krasowych, które utworzyły się w następnych etapach rozwoju tego procesu (tab. 5). Wyniki badań szczątków paleontologicznych i artefaktów archeologicznych znalezionych w osadach Jaskini w Krzyżanowicach Górnej oraz datowania tych osadów wykazały, że ich wiek jest znacznie młodszy niż powstanie jaskini (Głazek, 1993; Głazek i in., 1994).

Następny, telogenetyczny (Klimchouk, Ford, 2000) etap krasowienia gipsów rozpoczął się z chwilą dotarcia wód bezpośrednio infiltrujących z powierzchni do serii ewaporatowej, czyli praktycznie w momencie odsłonięcia tej serii na powierzchni. Występowanie większości dużych obniżzeń w obrębie antyklin lub brachyantyklin (patrz rozdz. „Duże obniżenia krasowo-denudacyjne”) wskazuje, że od nich zaczął się rozwój krasu epigenicznego (*epigenic karst* – Palmer, 1991), czyli krasu związanego z bezpośrednią infiltracją wód powierzchniowych. Wyniesione, osiowe lub centralne partie tych form tektonicznych były najpewniej rozci-

nane jako pierwsze. „Resztkowy” stan zachowania obniżzeń krasowo-denudacyjnych nie pozwala na rekonstrukcję wczesnych etapów rozwoju w nich krasu, które w świetle propozycji Klimchouka i Forda (Klimchouk, Ford, 2000; także Palmer, 2007, str. 176–177) należałoby określić jako kras podpowierzchniowy i kras rozcinany (*subjacent karst, entrenched karst; tab. 5*).

Obniżenia krasowo-denudacyjne stanowią repery czasowe pozwalające ocenić długość okresu ewolucji epigenetycznego krasu gipsowego w Niecce Soleckiej. Biorąc pod uwagę tempo denudacji oraz kubaturę skał usuniętych z każdej depresji, początek rozwoju tych form należy wiązać z wczesnym lub środkowym plejstoceniem, a w przypadku największych form nawet z pliocenem (Chwalik, 2006; Chwalik-Borowiec, 2007).

Duże obniżenia krasowo-denudacyjne, doliny krasowe, leje i jaskinie reprezentują obecnie kras odkryty – *exposed karst* (Klimchouk, Ford, 2000; Palmer, 2007, str. 176–177) i denudowany – *denuded karst* (Klimchouk, Ford, 2000), a miejscami również rozcinany – *entrenched karst* (tab. 5). O epigenicznym charakterze zdecydowanej większości jaskiń Niecki Soleckiej – z wyjątkiem dwu opisanych wcześniej – świadczą: przestrzenny i genetyczny związek ze współczesnym zwierciadłem wód podziemnych, kształt systemów jaskiniowych, ich stosunek do struktur geologicznych, a także specyficzne formy rzeźby jaskiń powstałe w rezultacie poziomego przepływu wód podziemnych (patrz rozdz. „Jaskinie”). Również koncentracja jaskiń we współcześnie rozwijających się dolinach krasowych lub w ich najbliższym sąsiedztwie wskazuje na epigeniczny i praktycznie współczesny rozwój podziemnych systemów krasowych (Flis, 1954; Urban i in., 2003, 2008, 2009, 2012; Urban, 2008).

W zaawansowanej w rozwoju Dolinie Skorocickiej oprócz współczesnego systemu krasowego występują też reliktywne fragmenty podobnych, epigenicznych, lecz starszych systemów, reprezentowane przez kanały przebijające na różnych wysokościach ostańce i ściany boczne doliny (tab. 5). Wiek całej Doliny Skorocickiej można oszacować jedynie na podstawie wielkości rocznej denudacji chemicznej gipsów oraz objętości masy skalnej usuniętej z doliny. Jeśli przyjąć najniższe wartości denudacji, tj. usunięcie 3,5 m³ gipsów z powierzchni 0,07 km² w ciągu roku, można stwierdzić, że na wykształcenie doliny było potrzebne maksymalnie prawie 700 tys. lat. Tak więc mogła ona zacząć się rozwijać na początku środkowego plejstocenu, zapewne po ustąpieniu lądolodów zlodowaceń południowopolskich (zdaniem Lindnera i in., 2013, lądolody sanu 1 i sanu 2 pokryły ten obszar w całości) i usunięciu ich osadów (Chwalik, 2006), ponieważ w dolinie nie odkryto śladów osadów glacialnych. Można też przypuszczać, że intensywniej dolina rozwijała się w okresach interglacialnych, podczas których powstawały kolejne, coraz niższe systemy jaskiniowe, zachowane obecnie w formie reliktywnych jaskiń. Niewykluczone jednak, że Dolina Skorocicka jest młodsza, późnoplejstocenska.

Szczególnie silne poziome podcięcie ścian Jaskini Skorocickiej na wysokości współczesnego koryta Potoku Skorocickiego (fig. 7B) świadczy o zahamowaniu procesu obniżania

się zwierciadła wód w ostatnim czasie (a nawet o niewielkim podniesieniu się dna potoku, ponieważ na poziomie współczesnego koryta zwykle nie są odsłonięte zaokrąglenia ścian jaskini widoczne w wyższych, reliktowych korytach potoku). Zahamowanie procesu obniżania się koryta potoku jest związane z sedymentacją osadów na jego dnie, która z kolei jest prawdopodobnie spowodowana erozją gleby rędzinnej na otaczających obszarach, wywołaną ich wylesieniem we wczesnym średniowieczu i rozwojem rolnictwa (por. Głazek i in., 1994). W konsekwencji okres tworzenia się poziomego podcięcia związanego z zahamowaniem obniżania zwierciadła wód można oszacować na około lub nieco ponad tysiąc lat.

Leje krasowe Niecki Soleckiej powstały w rezultacie zapadania się krasowych pustek podziemnych. Formy te są na pewno nie starsze niż środkowoplejstocieńskie zlodowacenia południowopolskie, podczas których zostałyby zasypane osadami (Flis, 1954), zapewne jednak są znacznie młodsze, w większości holoceny (tab. 5), co potwierdza holoceny wiek osadów całkowicie wypełniających studnię (szczelinę) odsłoniętą w Jaskini Skorocickiej (Urban i in., 2009). W wielu miejscach następuje zresztą współczesny rozwój lejów (Urban, 2008).

Zróznicowane formy krasowe Niecki Soleckiej stanowią system stosunkowo dobrze powiązanych ze sobą elementów krasu epigenicznego, odkrytego, w którym rozwój podziemnych pustek prowadzi do powstawania form powierzchniowych: lejów, zespołów lejów i dolin krasowych, rozwijających się współcześnie przede wszystkim w dolnej części serii ewaporatowej, w strefie swobodnego i płytko położonego zwierciadła wód podziemnych. Ze względu na obecność w podłożu gipsów skał słabo przepuszczalnych położenie tego zwierciadła w dolnej części serii ewaporatowej może być długotrwałe i stabilne (Urban i in., 2003, 2008).

SPECYFIKA KRASU GIPSOWEGO NIECKI SOLECKIEJ

Różnorodność i intensywność rozwoju krasu w gipsach Niecki Soleckiej są wyjątkowe w porównaniu z innymi obszarami krasowymi Polski. W innych mezoregionach Niecki Nidziańskiej, w których występują gipsy, proces zdenudowa-

nia i rozcięcia tych skał jest mniej zaawansowany. W Niecce Połanieckiej dominującymi elementami krasowymi (dostępnymi do bezpośredniej obserwacji) są leje i ich zespoły, brak jest natomiast praktycznie jaskiń, co oznacza, że podziemne pustki, które niewątpliwie występują na tym obszarze, nie są dostępne z powierzchni (Liszkowski, 1979; Nowak, 1986; Urban i in., 2003). Leje krasowe w Niecce Połanieckiej bardzo często są podmokłe lub wypełnione wodą (Szczepanek, 1971; Zieliński, Łoziński, 2007a, b; Zieliński, 2008), co wynika z innego etapu rozwoju krasu w tym regionie – jest to etap rozcinania nadkładu serii ewaporatowej. Inna jest też litologia skał otoczenia serii ewaporatowej, determinująca krążenie wód. W Niecce Połanieckiej w podłożu gipsów występują głównie utwory piaszczyste o zwykle wysokiej przepuszczalności (warstwy baranowskie), zaś w nadkładzie – nieprzepuszczalne ilowce w części wschodniej i południowej oraz przepuszczalne wapienne utwory detrytyczne w części północnej. Taka budowa geologiczna mogła determinować rozwój krasu we wcześniejszych okresach ewolucji serii ewaporatowej, np. w czasie mezogeny (por. Fijałkowska, Fijałkowski, 1968; Piątkowski, 1974; Urban i in., 2003).

Odmierna litologia i właściwości hydrogeologiczne skał podłoża i nadkładu serii ewaporatowej, jak również różnice w wykształceniu gipsów oraz nieco inny styl tektoniczny i morfogeneza obszarów są przyczynami różnic charakteru krasu gipsowego Niecki Soleckiej oraz zachodniej Ukrainy (tab. 5), mimo że kras ukraiński rozwinął się w serii ewaporatowej powstałej w tym samym czasie i w tym samym (przedkarpackim) basenie sedymentacyjnym. Kras zachodniej Ukrainy intensywnie rozwijał się w czasie głębokiego pogrzebienia serii ewaporatowej i na obszarze tym występują wielkie labiryntowe systemy jaskiniowe (Urban i in., 2008).

Kras gipsowy Niecki Soleckiej jest wyjątkowy również w porównaniu z krasem węglanowym w Polsce. Na obszarach występowania wapieni w Polsce, takich jak Wyżyna Krakowsko-Wieluńska, Góry Świętokrzyskie, Wyżyna Śląska oraz Sudety, zdecydowanie przeważają reliktowe bądź kopalne formy krasowe, podczas gdy Niecka Solecka jest regionem o wyraźnych cechach aktywnego krasu odkrytego. Pod tym względem stanowi obszar unikatowy w granicach Polski (Urban i in., 2012).

PODSUMOWANIE

W rozwoju krasu w utworach serii ewaporatowej na terenie Niecki Soleckiej można wyróżnić następujące etapy (tab. 5):

– etap krasu międzywarstwowego, głębokiego (*intrastratal karst, deep-seated karst*), rozwijającego się w warunkach głębokiego krążenia wód pod nadkładem neogeńskich utworów nieprzepuszczalnych, zapewne jeszcze w neogenie; w tym czasie powstały niewielkie systemy krasowe, które obecnie są reprezentowane przez dwie jaskinie;

– etap rozcinania nadkładu i krasowienia utworów serii ewaporatowej (*subadjacent karst, entrenched karst*) w najwyższych (osiowych) częściach (brachy)antyklin, rozpoczęty w późnym neogenie lub we wczesnym plejstocenie i prowadzący do powstania inwersyjnych dużych obniżen krasowo-denudacyjnych;

– etap rozcinania nadkładu i krasowienia serii gipsowej w warunkach swobodnej infiltracji wód powierzchniowych (*entrenched karst, denuded karst*) – rozpoczęty w środkowym

lub późnym plejstocenie – w którym oprócz dużych obniżeń krasowo-denudacyjnych powstały starsze doliny krasowe (Dolina Skorocicka, dolina w Broninie), a także podziemne formy krasowe znajdujące się obecnie w wyższych położeniach: na stokach wzniesień oraz w ostańcowych formach w dolinach;

– etap rozcinania i denudacji gipsów serii ewaporatowej (*denuded karst*) przez wody infiltracyjne oraz płynące w strefie zwierciadła wód podziemnych, intensywnie rozwijający się współcześnie (w holocenie); w tym etapie powstała większość jaskiń oraz lejów krasowych istniejących obecnie na omawianym obszarze.

Kras Niecki Soleckiej w zdecydowanej większości ma charakter epigeniczny, czyli jest związany z krążeniem wód infiltrujących bezpośrednio z powierzchni do utworów krasowięjących. Kras ten rozwinął się i rozwija nadal w odsłoniętym, ewentualnie tylko miejscami przykrytym kompleksie skał gipsowych. Do form krasowych występujących na rozpatrywanym obszarze należą: duże obniżenia krasowo-denudacyjne, doliny krasowe w różnych stadiach rozwoju i powiązane z nimi przestrzennie oraz genetycznie, słabo rozgałęzione kanały podziemne (stanowiące niezbyt długie jaskinie), jak również zespoły lejów krasowych. Ciągły i niezmienny w swym genetycznym charakterze proces ewolucji dolin i podziemnych systemów krasowych w Niece

Soleckiej trwa do chwili obecnej, co decyduje o podstawowym znaczeniu naukowym i edukacyjnym tego regionu jako jedyne na ziemiach polskich, na którym można obserwować bezpośrednio współczesny, aktywny rozwój krasu podziemnego i powiązanych z nim zjawisk powierzchniowych.

Kras Niecki Soleckiej jest odmienny od krasu rozwiniętego w gipsach powstałych w tym samym czasie i w tym samym basenie sedymentacyjnym w zachodniej Ukrainie, różni się także od krasu gipsowego Niecki Połanieckiej. Wykształcenie i rozwój krasu w gipsach Niecki Soleckiej są uwarunkowane budową geologiczną, przede wszystkim zaś właściwościami hydrogeologicznymi skał budujących ten obszar (obecnością skał nieprzepuszczalnych w stropie serii ewaporatowej oraz utworów o niskiej i zróżnicowanej – a nawet zmiennej w czasie – przepuszczalności w jej podłożu). Cechy te decydują o specyfice krasu w gipsach Niecki Soleckiej, charakteryzującego się przewagą form rozwijających się współcześnie.

Podziękowania. Dziękujemy prof. M. Bąblowi za inspirację do wykonania najnowszych badań form krasowych w Jaskini Skorocickiej. Dziękujemy również obu recenzentom, prof. R. Dobrowolskiemu i dr. A. Tycowi, oraz Annie Kalinowskiej za wnikliwe przejrzanie manuskryptu i konstruktywne uwagi, które wykorzystaliśmy, przygotowując ostateczną wersję artykułu.

LITERATURA

- BARTOSZEWSKI D., NIEKLUDOW J., 2006 — Niecka Nidziańska – drobne odkrycia. *Jaskinie*, 1 (42): 32–33.
- BĄBEL M., 1999 — History of sedimentation of the Nida Gypsum deposits (Middle Miocene, Carpathian Foredeep, southern Poland). *Geol. Quart.*, 43, 4: 429–447.
- CHWALIK A., 2006 — Ewolucja wybranych form rzeźby Niecki Soleckiej (Niecka Nidy) [rozprawa doktorska]. Arch. Katedr. Geomorfol., Wydz. Nauk o Ziemi Uniw. Śląskiego, Sosnowiec.
- CHWALIK A., GŁĄZEK J., GUBAŁA J., KASZA A., URBAN J., 2002 — Przewodnik sesji terenowych. *W: Materiały 36. Sympozjum Speleologicznego, Pińczów, 25–27.10.2002 r.* (red. M. Gradziński i in.): 5–19. Sekcja Speleol. Pol. Tow. Przyr. im. M. Kopernika, Kraków.
- CHWALIK-BOROWIEC A., 2007 — Rzeźba krasu gipsowego Niecki Soleckiej i Połanieckiej oraz tempo jej rozwoju. *W: Zróżnicowanie regionalne Poniżnia. Nauki geograficzne w badaniach regionalnych. T. 9* (red. M. Strzyż, A. Świercz): 27–37. Inst. Geogr. Akad. Świętokrz. w Kielcach, Kielce.
- CHWALIK-BOROWIEC A., JÓŻWIĄK K., SOŁTYS-LELEK A., LELEK K., RÓŻKOWSKI J., 2011 — Uwagi o strefach źródłiskowych w obszarach krasowych Niecki Nidziańskiej. *W: Materiały 45. Sympozjum Speleologicznego, Ojców, 20–23.10.2011 r.* (red. M. Gradziński i in.): 47–48. Sekcja Speleol. Pol. Tow. Przyr. im. M. Kopernika, Kraków.
- CZAPOWSKI J., 2004 — Otoczenie Gór Świętokrzyskich. *W: Budowa geologiczna Polski. T. 1. Stratygrafia. Cz. 3a. Kenozoik* (red. T. Peryt, M. Piwocki): 239–246. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- DYNOWSKA I., 1983 — Źródła Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej. *Stud. Ośr. Dokument. Fizjogr. PAN*, 11.
- FIJAŁKOWSKA E., FIJAŁKOWSKI J., 1968 — Występowanie gipsów w Górach Świętokrzyskich. *Rocz. Mus. Świętokrz.*, 5: 303–336.
- FLIS J., 1954 — Kras gipsowy Niecki Nidziańskiej. *Pr. Geogr. Inst. Geogr. PAN*, 1.
- FORD D., WILLIAMS P.D., 2007 — Karst hydrogeology and geomorphology. Wiley, Chichester.
- GAŚSIOROWSKI H., 1925 — Podziemne jezioro w krasie gipsowym w Siesławicach jako osobliwość przyrody. *Ochr. Przyr.*, 5: 33–37.
- GŁĄZEK J., 1993 — Nowe dane o krasie gipsowym Niecki Nidziańskiej. *Streszcz. Ref. Wygl. na Posiedz. Oddz. Poznań. Pol. Tow. Geol.*, 2: 32–37.
- GŁĄZEK J., HARTON P., WICIK B., 1994 — Kras gipsowy Niecki Nidziańskiej. *Streszcz. Ref. Wygl. na Posiedz. Oddz. Poznań. Pol. Tow. Geol.*, 3: 19–21.
- GRADZIŃSKI M., 2012 — Nazewnictwo jaskiniowe – spojrzenie przyrodnika. *Prądnik, Pr. Mus. Szafera*, 22: 115–122.
- GUBAŁA J., CHWALIK A., 2003 — Kras gipsowy okolic Łatanic. *W: Materiały 37. Sympozjum Speleologicznego, Wojcieszów, 24–26.10.2003 r.* (red. M. Gradziński, M. Szelerewicz): 46–47. Sekcja Speleol. Pol. Tow. Przyr. im. M. Kopernika, Kraków.
- GUBAŁA J., KASZA A., 2002 — System krasowy w gipsach rejonu Marzęcina (Niecka Nidziańska) – stan poznania i perspektywy. *W: Materiały 36. Sympozjum Speleologicznego, Pińczów, 25–27.10.2002 r.* (red. M. Gradziński i in.): 36–37. Sekcja Speleol. Pol. Tow. Przyr. im. M. Kopernika, Kraków.
- GUBAŁA J., KASZA A., 2004a — Choteleckie Góry koło Skorocic – kolejny rozpoznany obszar krasowy w gipsach Niecki

- Nidziańskiej. *W: Materiały 38. Sympozjum Speleologicznego, Zakopane, 7–10.10.2004 r.* (red. M. Gradziński, M. Szelere-wicz): 43–46. Sekcja Speleol. Pol. Tow. Przym. im. M. Kopernika, Kraków.
- GUBAŁA J., KASZA A., 2004b — Studnia Prababci Emilii – nowa jaskinia w Dolinie Skorocickiej (Niecka Nidziańska). *W: Materiały 38. Sympozjum Speleologicznego, Zakopane, 7–10.10.2004 r.* (red. M. Gradziński, M. Szelere-wicz): 47–48. Sekcja Speleol. Pol. Tow. Przym. im. M. Kopernika, Kraków.
- GUBAŁA J., URBAN J., 1997 — Waloryzacja przyrodnicza jaskiń – doświadczenia z regionu świętokrzyskiego i Nadnidziańskiego Parku Krajobrazowego. *W: Materiały 31. Sympozjum Speleologicznego, Ojców 17–19.10.1997 r.* (red. J. Baryła, M. Gradziński): 52–53. Sekcja Speleol. Pol. Tow. Przym. im. M. Kopernika, Kraków.
- GUBAŁA J., KASZA A., URBAN J., 1998 — Jaskinie Niecki Nidziańskiej. Pol. Tow. Przym. Nauk o Ziemi, Warszawa.
- GUBAŁA J., KASZA A., URBAN J., 1999 — Jaskinie w gipsach Niecki Nidziańskiej. *Jaskinie*, **3** (16): 16–19.
- JAKUCS L., 1977 — Morphogenetics of karst regions. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- JURKIEWICZ H., WOJŃSKI J., 1979 — Mapa Geologiczna Polski 1:200 000, B – mapa bez utworów czwartorzędowych, ark. Tarnów. Wydaw. Geol., Warszawa.
- KASPRZYK A., 1993 — Lithofacies and sedimentation of the Badenian (Middle Miocene) gypsum in the northern part of the Carpathian Foredeep, southern Poland. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, **63**: 33–84.
- KASPRZYK A., 1998 — Litologia, zagospodarowanie i walory naukowo-krajoznawcze gipsów Poniidzia. *Chr. Przym. Ojcz.*, **5**: 37–49.
- KLIMCHOUK A., 1996 — The dissolution and conversion of gypsum and anhydrite. *Int. J. Speleol.*, **25**, 3/4: 21–36.
- KLIMCHOUK A., 2000 — 5.2. Speleogenesis under deep-seated and confined settings. *W: Speleogenesis. Evolution of karst aquifers* (red. A.B. Klimchouk i in.): 244–260. Nat. Speleol. Soc., Huntsville, Alabama, USA.
- KLIMCHOUK A., 2007 — Hypogene speleogenesis. Hydrogeological and morphogenetic perspective. Nat. Cave and Karst Inst., Carlsbad.
- KLIMCHOUK A., 2009 — Morphogenesis of hypogenic cave. *Geomorphology*, **106**: 100–117.
- KLIMCHOUK A., ANDREJCHUK V., 1996 — Sulphate rocks as an arena for karst development. *Int. J. Speleol.*, **25**, 3/4: 9–20.
- KLIMCHOUK A., FORD D., 2000 — 3.1. Types of karst and evolution of hydrogeologic setting. *W: Speleogenesis. Evolution of karst aquifers* (red. A.B. Klimchouk i in.): 45–53. Nat. Speleol. Soc., Huntsville, Alabama, USA.
- KLIMCHOUK A.B., CUCHI F., CALAFORRA J.M., AKSEM S., FINOCCHIARO F., FORTI P., 1996 — Dissolution of gypsum from field observations. *Int. J. Speleol.*, **25**, 3/4: 37–48.
- KONDRACKI J., 2009 — Geografia fizyczna Polski. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa.
- KONTKIEWICZ S., 1882 — Sprawozdanie z badań geologicznych dokonanych w 1880 r. w południowej części guberni Kieleckiej. *Pam. Fizjogr.*, **2**: 175–202.
- KOWALSKI K., 1954 — Jaskinie Niecki Nidziańskiej. *W: Jaskinie Polski. T. 3*: 125–142. PWN, Warszawa.
- KRYSIK Z., 2000 — Tectonic evolution of the Carpathian Foredeep and its influence on Miocene sedimentation. *Geol. Quart.*, **44**, 2: 137–156.
- KUBICA B., 2004 — Litostratygrafia i litofacje mioceńskich osadów podgipsowych morawianu w północnej części zapadliska przedkarpackiego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **407**: 5–28.
- LAURITZEN S.E., LUNDBERG J., 2000 — 6.1. Solutional and erosional morphology. *W: Speleogenesis. Evolution of karst aquifers* (red. A.B. Klimchouk i in.): 408–426. Nat. Speleol. Soc., Huntsville, Alabama, USA.
- LENCEWICZ S., 1922 — Kurs geografji Polski. Gł. Księg. Wojsk., Warszawa.
- LENCEWICZ S., 1939 — Polska. Wielka Geografia Powszechna. T. 7. Księg. Trzaski, Ewerta i Michalskiego, Warszawa.
- LINDNER L., MARKS L., NITA N., 2013 — Climatostratigraphy of interglacials in Poland: Middle and Upper Pleistocene lower boundaries from a Polish perspective. *Quat. Int.*, **292**: 113–123.
- LISZKOWSKI J., 1979 — Typy morfogenetyczne oraz mechanizmy rozwoju powierzchniowego form krasu zakrytego w Polsce. *Biul. Geol. Wydz. Geol. Univ. Warsz.*, **23**: 155–169.
- ŁYCZEWSKA J., 1972a — Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Busko Zdrój. Wydaw. Geol., Warszawa.
- ŁYCZEWSKA J., 1972b — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Busko Zdrój. Wydaw. Geol., Warszawa.
- ŁYCZEWSKA J., 1975 — Zarys budowy geologicznej pasma wójczo-pińczowskiego. *Biul. Inst. Geol.*, **283**: 151–189.
- MALICKI A., 1947 — Zabytki przyrody nieożywionej na obszarach gipsowych dorzecza Nidy. *Chr. Przym. Ojcz.*, **1/2**: 31–38.
- MARKOWIAK A., PONIKIEWSKI A., 2004 — Nowa jaskinia na Poniidziu. *Jaskinie*, **3** (36): 25.
- MARKOWIAK A., PONIKIEWSKI A., 2005 — Nowe jaskinie na Poniidziu. *Jaskinie*, **2** (39): 30–31.
- MASSALSKI E., 1967 — Góry Świętokrzyskie. Seria Przyroda Polska. Wiedza Powsz., Warszawa.
- MELANIUK D., 2002 — Odkrycie w Skorocicach. *Jaskinie*, **1** (26): 7.
- NOWAK W., 1986 — Zjawiska krasowe w Niecce Nidziańskiej. *Stud. Ośr. Dokument. Fizjogr.*, **14**: 87–117.
- OSBORNE R.A.L., 2007 — Cathedral Cave, Wellington Caves, New South Wales, Australia. A multiphase, non-fluvial cave. *Earth Surf. Proc. Land.*, **32**: 2075–2103.
- OSMÓLSKI T., 1976 — Kras a geneza złóż siarki w Polsce. *Kwart. Geol.*, **20**, 4: 559–574.
- PALMER A.N., 1991 — Origin and morphology of limestone caves. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **103**: 1–21.
- PALMER A.N., 2000 — 3.4. Hydrogeologic control of cave patterns. *W: Speleogenesis. Evolution of karst aquifers* (red. A.B. Klimchouk i in.): 77–90. Nat. Speleol. Soc., Huntsville, Alabama, USA.
- PALMER A.N., 2001 — Dynamics of cave development by allogenic water. *Acta Carsol.*, **30**, 2: 13–32.
- PALMER A.N., 2007 — Cave geology. Cave Books, Dayton, Ohio.
- PIĄTKOWSKI T., 1974 — Kras w osadach tortonu okolic Piaseczna koło Tarnobrzega. *Kwart. Geol.*, **18**, 4: 770–788.
- PONIKIEWSKI A., 2005 — Nowe jaskinie na Poniidziu. *Jaskinie*, **3** (40): 28–29.
- PRAŻAK J., 2012 — 5.5. Wody podziemne, słodkie i lecznicze. *W: Monografia Nadnidziańskiego Parku Krajobrazowego* (red. A. Świercz): 177–185. Univ. J. Kochanowskiego w Kielcach, Kielce.
- PULINA M., 1974 — Denudacja chemiczna na obszarach krasu węglanowego. *Pr. Geogr. Inst. Geogr. PAN*, **105**.

- PULINA M., POSTONOV I., 1989 — Kras gipsowy w północno-zachodniej części Ziemi Nordenskiöld — Zachodni Spitsbergen. *Kras i Speleologia*, **6** (15): 40–57.
- PULINOWA M.Z., 1989 — Rzeźba Gór Stołowych. Uniw. Śląski, Katowice.
- PUSCH J.B., 1903 — Geologiczny opis Polski oraz innych krajów na północ od Karpat położonych. Druk. S. Święckiego, Dąbrowa.
- RÓŹKOWSKI J., JÓŹWIĄK K., ANDREJCZUK V., 2011 — Chemizm wód podziemnych serii gipsonośnej badenu w północnej części zapadliska przedkarpackiego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **445**: 573–582.
- RUDNICKI J., 1978 — Rola konwekcji w kształtowaniu podziemnych form krasowych. *Kras i Speleologia*, **2**: 92–101.
- RUTKOWSKI J., 1986 — Budowa geologiczna Niecki Nidziańskiej. *Stud. Ośr. Dokument. Fizjogr.*, **14**: 35–61.
- SAGANOWSKI M., KOTWICA J., 2012 — Jaskinia w Wiśniówkach. *Jaskinie*, **4** (69): 26–28.
- SAWICKI L., 1918/1919 — O krasie gipsowym pod Buskiem. *Prz. Geogr.*, **1**, 1/2: 306–310.
- SZCZEPANEK K., 1971 — Kras staszowski w świetle badań paleobotanicznych. *Acta Palaeobot.*, **12**, 2: 63–120.
- TURCHINOV I.I., 1997 — Litologiczne uwarunkowania rozwoju procesów krasowych w badęńskich gipsach Przedkarpacia. *Prz. Geol.*, **45**, 8: 803–806.
- URBAN J., 2008 — Kras gipsowy w Nadnidziańskim i Szanieckim Parku Krajobrazowym. Zesp. Świętokrz. Nadnidz. Parków Krajobr., Kielce.
- URBAN J., 2012 — 5.1. Dziedzictwo geologiczne. *W: Monografia Nadnidziańskiego Parku Krajobrazowego* (red. A. Świercz): 35–81. Uniw. J. Kochanowskiego w Kielcach, Kielce.
- URBAN J., KASZA A., 2012 — Formy rzeźby terenu na tle budowy geologicznej. *W: Plan ochrony rezerwatu przyrody „Skorocice” na okres od 1.01.2013–31.12.2032* (red. A. Przemyski, A. Pierścińska) [materiały dokumentacyjne – manuskrypt]: 22–48. Arch. Reg. Konserw. Przyr. w Kielcach, Kielce.
- URBAN J., ANDREYCHOUK V., GUBAŁA J., KASZA A., 2008 — Caves in gypsum of the Southern Poland and the Western Ukraine – a comparison. *Kras i Speleologia*, **12** (21): 15–38.
- URBAN J., ANDREYCHOUK V., KASZA A., 2009 — Epigene and hypogene caves in the Neogene gypsum of the Poniżcie area (Niecka Nidziańska region), Poland. *W: Hypogene speleogenesis and karst hydrogeology of artesian basins. Proceedings of the conference held May 13 through 17, 2009 in Chernivtsi, Ukraine* (red. A.B. Klimchouk, D. Ford): 223–232. Ukrainian Inst. Speleol. Karstol., Simferopol.
- URBAN J., CHWALIK-BOROWIEC A., KASZA A., GUBAŁA J., 2012 — 5.2. Jaskinie i stanowiska krasowe. *W: Monografia Nadnidziańskiego Parku Krajobrazowego* (red. A. Świercz): 82–121. Uniw. J. Kochanowskiego w Kielcach, Kielce.
- URBAN J., GUBAŁA J., KASZA A., 2003 — Jaskinie w gipsach Niecki Nidziańskiej. *Prz. Geol.*, **51**, 1: 79–86.
- WINIARSKI E., URBANOWICZ Z., OZIEMBŁO A., 1977 — Dokumentacja kompleksowych badań geofizycznych. Temat: Niecka Nidy, rok badań: 1975 [maszynopis]. Arch. Geol. Świętokrz. Urz. Woj. w Kielcach, Kielce.
- WOJTOŃ A., 2001 — Nowości z Niecki Nidziańskiej. *Jaskinie*, **2** (23): 6.
- WOJTOŃ A., 2002 — Nowe obiekty i zmiany długości – Sudety i Niecka Nidziańska. *Jaskinie*, **2** (27): 5.
- WOJTOŃ A., 2004 — Nowości w gipsach. *Jaskinie*, **1** (34): 27–28.
- WOJTOŃ A., 2005 — Jaskinia Żydowska. *Jaskinie*, **1** (38): 23.
- WOJTOŃ A., 2006 — Nowości z gipsów. *Jaskinie*, **3** (44): 32–33.
- WOŁOŻYŃ B.W., 1990 — Jaskinie Zespołu Parków Krajobrazowych Poniżcia. *Stud. Ośr. Dokument. Fizjogr.*, **18**: 275–341.
- WOŹNIAK N., ŻUREK S., 2005 — Torfowiska krasu węglanowego okolic Cieślina i Krzywopłotów oraz krasu gipsowego koło Żydowca. *W: Zróżnicowanie i przemiany środowiska przyrodniczo-kulturowego Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej* (red. J. Partyka). T. 3 – suplement: 41–44. Ojców. Park Narod., Ojców.
- ZIELIŃSKI A., 2008 — Charakterystyka morfometryczna krasowego jeziora Jasnego i jeziora bezimiennego znajdujących się w Lasach Golejowskich koło Staszowa. *W: Współczesne problemy badawcze geografii polskiej – geografia fizyczna* (red. E. Jekatierynczuk-Rudczyk i in.). *Dokument. Geogr.*, **37**: 56–61.
- ZIELIŃSKI A., ŁOZIŃSKI Ł., 2007a — Charakterystyka morfometryczna jezior krasowych „Kacze” i „Bez Nazwy” w rejonie Staszowa. *W: Przeobrażenia środowiska w południowo-wschodniej części regionu świętokrzyskiego. Nauki geograficzne w badaniach regionalnych. T. 7* (red. A. Zieliński): 113–121. Inst. Geogr., Akad. Świętokrz. w Kielcach, Kielce.
- ZIELIŃSKI A., ŁOZIŃSKI Ł., 2007b — Parametry morfometryczne jezior krasowych „Donica”, „Przedpole” i „Rozłany Staw” w rejonie Staszowa. *W: Przeobrażenia środowiska w południowo-wschodniej części regionu świętokrzyskiego. Nauki geograficzne w badaniach regionalnych. T. 7* (red. A. Zieliński): 101–112. Inst. Geogr., Akad. Świętokrz. w Kielcach, Kielce.
- ŻUREK S., CHWALIK A., WOŹNIAK N., 2005 — Próba określenia rozwoju „polja Żydowiec” w plejstocenie i holocenie. *W: Materiały XXIII i XXIV Szkoły Speleologicznej, Morawski Kras, 5–12.02.2005*: 32–33. Uniw. Śląski, Sosnowiec.

SUMMARY

Significant diversity of karst forms in gypsum formations suggests that the karst development in these rocks is conditioned by many factors as rock fabric, lithology of surrounding rocks, tectonics and water circulation. Therefore, the objective of this paper is to interpret the role of these factors in the evolution of karst systems in the Neogene (Badenian) evaporite series of the Niecka Solecka (Solec Basin) mesoregion within the Niecka Nidziańska (Nida Basin) macroregion.

The evaporite series is up to 30–40 m thick and composed of various types of gypsum: very large-crystalline gypsum (called glassy gypsum) in the lowermost part, large-crystalline gypsum (grass-like and sabre-like gypsum) in lower and middle section and microcrystalline and brecciated gypsum in the upper section (Fig. 1). The evaporite series overlies Neogene or Cretaceous marls, and is usually outcropped at the surface. In terms of tectonic setting, the Niecka Solecka

area is a tectonic graben and a syncline: Skorocice Syncline with some small, secondary (brachy)anticlinal and synclinal forms situated mainly in the south-eastern part of the graben (Fig. 1).

The following types of karst forms in gypsum of the Niecka Solecka have been distinguished: large karstic-denudational depressions, karst (blind) valleys, dolines and numerous caves. Six large karstic-denudational forms, resembling typical polje forms, represent a very advanced stage of morphological evolution of the area and gypsum massif (Fig. 1, Table 1). Most of them are inversion landforms developed within (brachy)anticlines built of evaporite series and underlying marls (Fig. 2). These depressions originated due to chemical and mechanical denudation of gypsum and marls. The comparison of their size (strictly volume) and assessed rate of chemical and mechanical denudation (for various climatic environments) enabled to estimate the age of these landforms. Their development started in the late Pliocene or/and in the early Pleistocene.

Three karst blind valleys (formed owing to breakdown of ceilings of subsurface conduits) are situated in the study area: Dolina Skorocicka valley (Fig. 3), Dolina Aleksandrowska valley (Fig. 4) and a valley in the village of Bronina (Fig. 5). The first of them – Dolina Skorocicka valley – is relatively wide and characterised by the occurrence of numerous hummocks and depressions as well as karst conduits (caves) comprising a subsurface hydrological drainage system of the valley. The second one, Dolina Aleksandrowska valley is a classical valley only in the upper and middle sections, while its lower part is a sequence of dolines connected by an underground stream channel (caves). The seasonal lake in the valley at Bronina is also discharged by an underground karst system (a cave).

In the Niecka Solecka area, 105 caves have been recorded and are accessible now (Table 2). The longest caves range from 200 to 350 m (the longest Jaskinia Skorocicka cave is 352 m long). Most caves (56%) are shorter than 10 m (Table 3 – feature A). The vertical extent of the caves is usually small (59% less than 2 m; Table 3 – feature B). The caves are often concentrated in karst valleys (in Dolina Skorocicka – 33, in Dolina Aleksandrowska – 11 caves; Table 3 – feature C). The occurrence of caves is also controlled by lithology of evaporite series, strictly by gypsum fabric and its mechanical properties. Most of the caves (79%) occur in the large-crystalline sabre-like gypsum and grass-like selenite gypsum, whereas those (4%) developed within the microcrystalline-brecciated complex are very rare (Table 3 – feature D). The caves are commonly situated very close to the underground water-table (67% less than 2 m above it; Table 3 – feature E), which is a crucial argument for their genetic relation to the water-table zone.

About 40% of the caves represent individual, horizontal conduits of branchwork or rudimentary branchwork type (Table 3 – feature F, Fig. 6A, D, F). Such conduits have originated owing to horizontal flows of underground streams within the water-table zone. This is proved by remnants of meandering stream channels (concavities) carved and pre-

served in the cave walls at various levels, which mark gradual downward penetration of the stream channel, related to water-table lowering (Fig. 7). Some 37% of the caves are low but extensive chambers (Table 3 – feature F, Fig. 6B, C, E), formed most probably also within the water-table zone, but in a stagnant water environment.

Three caves distinctly differ from the majority of the caves (described above). The Jaskinia Sawickiego cave (situated in the hummocky bar closing the valley at Bronina – Fig. 5) is a maze-shape system of tubular conduits, which was most probably formed in the epiphreatic zone and related to seasonal water-table oscillations (still observed in the valley).

Two other caves, Jaskinia w Krzyżanowicach Górna and Jaskinia Chotelecka, are composed of chambers characterised by the occurrence of oval and lenticular concavities (cupolas) carved in the ceilings and walls (Table 3 – feature G, Fig. 8). Similar cavities were also observed in the Dolina Aleksandrowska (Fig. 9), but they were not connected with the karst-hydrological system of this valley. Such forms resemble relief elements attributed usually to karst related to ascending waters and confined water-table. Therefore, both caves are supposed to be genetically related to deep-water circulation at the time when the evaporite series was overlain by non-karstic and impermeable Neogene clays/claystones. The Jaskinia w Krzyżanowicach Górna cave is located close to a fault crossing gypsum and underlying marls, while the Jaskinia Chotelecka cave is situated in the axial zone of a narrow syncline embedded in hardly permeable marls of the evaporite series bedrock.

Smaller karst depressions occurring in the study area – dolines, have been formed as a result of collapse of underground karst cavities, not surface karst corrosion. Several places of agglomeration of the dolines were identified in the Niecka Solecka area (Fig. 1, Tab. 4). The dolines are usually dry. They formed in “bare” gypsum (not mantled by other rocks) and are characterised by steep rocky slopes as well as by a flat, bowl-shaped, dipping or even bulged floor (Fig. 10). The evolution and structure of the dolines have been reconstructed (Fig. 10).

Analysis of all features of the above-described above landforms suggests the following stages of karst development within the evaporite series of the Niecka Solecka area (Table 5):

- stage of intratratral deep-seated karst, developed in the environment of deep circulating water under the cover of Neogene impermeable rocks; in this stage rare and small karst systems were formed related to faults and other tectonically deformed zones, and now represented only by two recorded (mentioned above) caves (Late Neogene);
- stage of subjacent karst and entrenched karst, when the evaporite series was entrenched in the upper parts of the (brachy)anticlines; this process has consequently produced large inversion karstic-denudational depressions (Late Neogene, Early Pleistocene);
- stage of entrenched karst and denuded karst after the disintegration and partial removal (denudation) of mantle

rocks, when the gypsum of the evaporite series is corroded by meteoric water directly infiltrating into the ground; in such environment, apart from the large depressions, the upper cave systems (currently relict caves) related to the former water-table levels in karst valleys were formed (Meso- and Neo-Pleistocene);

– stage of denuded karst characterised by intensive karstification of gypsum by infiltration water in the water-table zone (Holocene).

Consequently, karst of the Niecka Solecka area is dominated by epigenic features produced by meteoric water infiltrating directly from the surfaces and circulating mainly in the water-table zone. Continuous and unchangeable evolution of karst valleys and underground karst systems is still very dynamic, which motivates scientific and educational values of the region as the only region in Poland, where the active underground and surface karstification can be currently and directly observed.