

Litologiczne uwarunkowania rozwoju procesów krasowych w badeńskich gipsach Przedkarpacia

Igor I. Turchinov*

Lithological controls on development of karst processes in the Badenian gypsum of the Carpathian Foredeep (southern Poland and West Ukraine)

Summary. Karst phenomena abound in the Badenian gypsum of the Carpathian Foredeep area. An important factor in development of karst processes in the region is lithological-facies characteristics of deposits which underwent karstification. The Badenian gypsum shows a considerable lateral and vertical lithological-facies variability being result of conditions of sedimentation and diagenesis (Fig. 2). Systems of joints were formed in the gypsum and they controlled the development of karst forms (Fig. 3). Boundaries between deposits showing different lithological-facies characteristics, control spacial distribution of subsurface karst voids and structural-textural features of the gypsum control the morphology of these voids (Fig. 4). Lithological-facies characteristics influence also distribution and morphology of surficial karst forms and the features of sinkhole origin (Fig. 5). An important role in controlling karst processes is played by dome-shaped structures in gypsum.

Utwory siarczanowe środkowobadeńskiej formacji ewaporatowej ciągną się pasem o szerokości do 80 km wzdłuż północnego brzegu Karpat na obszarze Czech, Polski, Ukrainy i Rumunii. Obszar występowania tych otworów cechuje się szerokim rozwojem utworów krasowych, z którymi wiąże się wiele podstawowych, jak i praktycznych zagadnień dotyczących geologii regionalnej, hydrogeologii, geologii inżynierskiej, geochemii, górnictwa oraz ochrony środowiska.

Rozwój procesów krasowych jest uwarunkowany licznymi czynnikami, z których główne to tektoniczne i hydrogeologiczne, jednakże na obszarze Przedkarpacia ważne znaczenie ma także czynnik litologiczny — zależność pojawienia się form krasowych od cech litologicznych utworów ulegających krasowienu (Klimchouk i in., 1995). Utwory siarczanowe Przedkarpacia cechują się znaczną zmiennością — zarówno lateralną, jak i w profilu pionowym — cech litologiczno-facjalnych (np. Kubica, 1992; Kasprzyk, 1993; Peryt i in., 1994, 1997; Bąbel, 1996; Peryt, 1996), co wywarło wpływ zarówno na założenie, jak i rozwój powierzchniowych i podziemnych form krasowych i ich morfologię, a także na cechy powstawania szczelin, z którymi te formy są związane.

Prawidłowości wpływu cech litologicznych gipsów badeńskich na rozprzestrzenienie w nich przejawów krasu przebadano w dwóch rejonach Przedkarpacia — na Podolu i na Poniidziu (ryc. 1). W rejonie Podola obiektem badań był obszar międzyrzecza Dżurin–Zbrucz — rejon znacznego rozprzestrzenienia krasu powierzchniowego i podziemnego, gdzie występuje pięć z większych gipsowych jaskiń świata. W południowej Polsce badania prowadzono na obszarze najbardziej charakterystycznego rozwoju krasu gipsowego jakim jest Niecka Nidziańska.

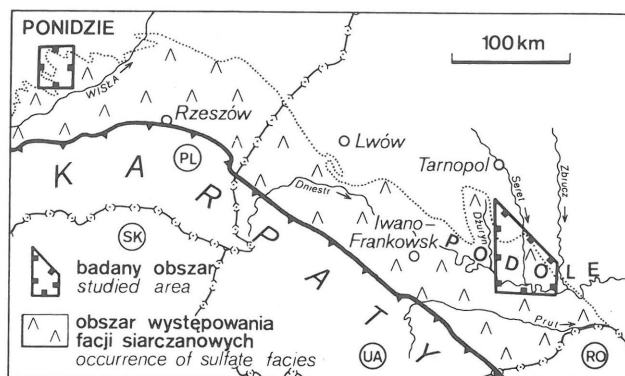
Charakterystyka litologiczna gipsów

Na Podolu, w międzyrzeczu Seretu i Zbrucza, utwory gipsowe o miąższości 18–22 m są wyraźnie trójdzielne (ryc. 2A; Turczynow & Andrejczuk, 1995; Klimchouk i in.,

1995). W dolnej części występują białe i jasnomiodowe drobnoziarniste gipsy stromatolitowe (strefa I). Środkowa część profilu (strefa II) cechuje się występowaniem zarówno drobnoziarnistych gipsów stromatolitowych, jak i grubokrystalicznych gipsów tabliczkowych, następujących po sobie w strukturach kopułowych o średnicy 0,5–2 m. Górna część profilu (strefa III) jest oddzielona od środkowej cienkim (5–20 cm) poziomem ilów bentonitowych i jest zbudowana z gigantokrystalicznych gipsów szablanych. W tej części profilu występują duże — osiągające średnicę 10 m, a mające przeciętnie 5 m — struktury kopułowe, wyciągnięte w kierunku pionowym (Turczynow & Andrejczuk, 1995). Jądra tych struktur składają się z drobnoziarnistego gipsu stromatolitowego i mają formę słupów o średnicy 10–50 cm i wysokości od 1,5 do 5 m. W najwyższej części jądra występuje monokryształ szpatowego gipsu o średnicy do 0,5 m. Peryferyczne części kopuł są złożone z promieniście ułożonych kryształów gipsu szablonego o długości 0,2–1,5 m; kryształy mają miodową lub burą barwę. Od wcześniej opisanych kryształów szablanych z obszaru Poniidzia (Bąbel, 1986, 1996), kryształy szablone Podola różnią się wygięciem w górę oraz są znacznie cieńsze; ponadto cechuje je obecność dużej ilości subkryształów (do 20). Kryształy, położone w bocznych częściach kopuł, mają większe rozmiary niż w częściach stropowych. W częściach kopuł przylegających do jąder kryształy szablone występują w masie drobnoziarnistego gipsu stromatolitowego; w miarę oddalania się od jądra udział gipsu drobnoziarnistego zmniejsza się. Struktury kopulaste są oddzielone granicami tworzącymi w planie sieć poligonową.

Geneza gigantycznych struktur kopulastych w gipsach Podola pozostaje niejasna, chociaż wiele faktów pozwala na przypuszczenie, iż kryształy szablone, tworzące owe struktury, mogły rosnąć w obrębie pierwotnego drobnoziarnistego gipsu stromatolitowego na etapie wczesnej diagenety w warunkach ascenzy solanek (Turczynow & Andrejczuk, 1995).

Profil gipsów zmienia się w kierunku zachodnim. W międzyrzeczu Dżurin–Seret gigantyczne struktury kopulaste w górnej części profilu zanikają, a sam profil jest wtedy dwudzielny. W dolnej części występują drobnoziarniste gipsy stromatolitowe (strefa I), a w górnej — tabliczkowe i szablone kryształy (dwie podstrefy: IIa i IIb) (ryc. 2B). U



Ryc. 1. Rejon badań
Fig. 1. Studied area

*Lvivska geologorozviduwalna ekspedycja, wul. Turgieniewa 33, 290018 Lviv, Ukraina

podstawy każdej z podstref występują niewielkie struktury kopulaste o średnicy 0,1–0,5 m. Kryształły szablaste — o długości do 60 cm — są analogiczne do występujących w międzyrzeczu Seretu i Zbrucza.

Na obszarze Podola na gipsach zazwyczaj leży poziom wapienia ratyńskiego — pelitycznych wapieni o miąższości 0,2–1,5 m (Peryt & Peryt, 1994).

Profil gipsów w południowej Polsce wykazuje większą zmienność, spowodowaną zmieniającymi się warunkami depozycji (np. Kubica, 1992; Kasprzyk, 1993; Peryt i in., 1994). U podstawy profilu występują gipsy szklicowe — pionowe symetryczne zrosty gigantycznych kryształów gipsu o wysokości do 4 m (Bąbel, 1987), po których następują przewarstwienia selenitowych gipsów trawiastych, stromatolitów i gipsów alabastrowych. Wyżej występują gipsy szkieletowe, zbudowane z chaotycznie rozmieszczonych gipsów, a następnie — seria gipsów szablastych z przewarstwieniem warstwowych gipsów klastycznych. Kryształły szablaste osiągają długość 90 cm i często są zorientowane

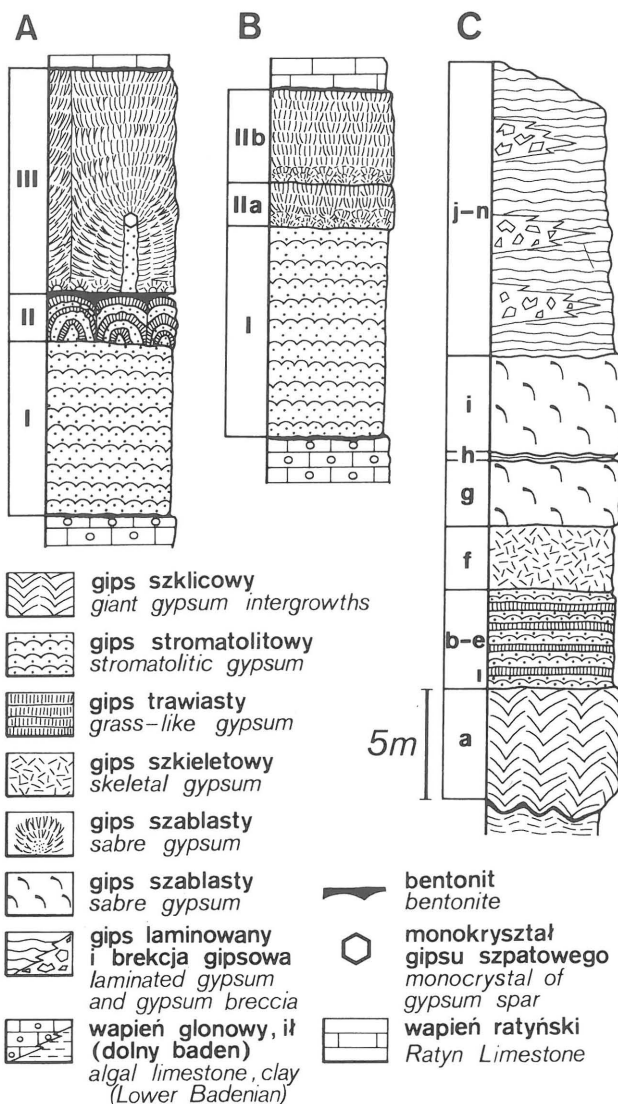
w jednym kierunku, co jest związane z kierunkiem ruchu solanek w procesie wzrostu kryształów (Bąbel, 1986).

Z szablastymi gipsami Podidzia jest wiązana obecność kopulastych struktur o średnicy do 12 m i wysokości do 4 m (Bąbel, 1986; Kasprzyk, 1993). Swoją morfologią — a możliwe, że również genezą — odróżniają się one od kopulastych struktur Podola. Gipsowe kopuły Podidzia są bardziej poogie, a ich część jądrowa jest zbudowana z gipsów szkieletowych. Powstanie takich kopuł jest związane ze wzrostem kryształów na wyniesieniach dna morskiego (Bąbel, 1986).

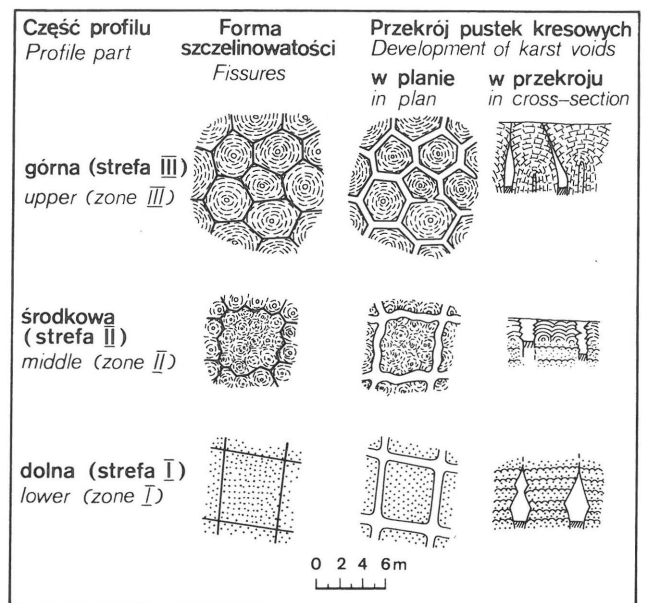
Górną część profilu gipsów badeńskich Podidzia tworzą gipsy laminowane z przewarstwieniami brekcji (np. Peryt & Jasionowski, 1994).

Litologiczne uwarunkowania powstawania szczelinowatości

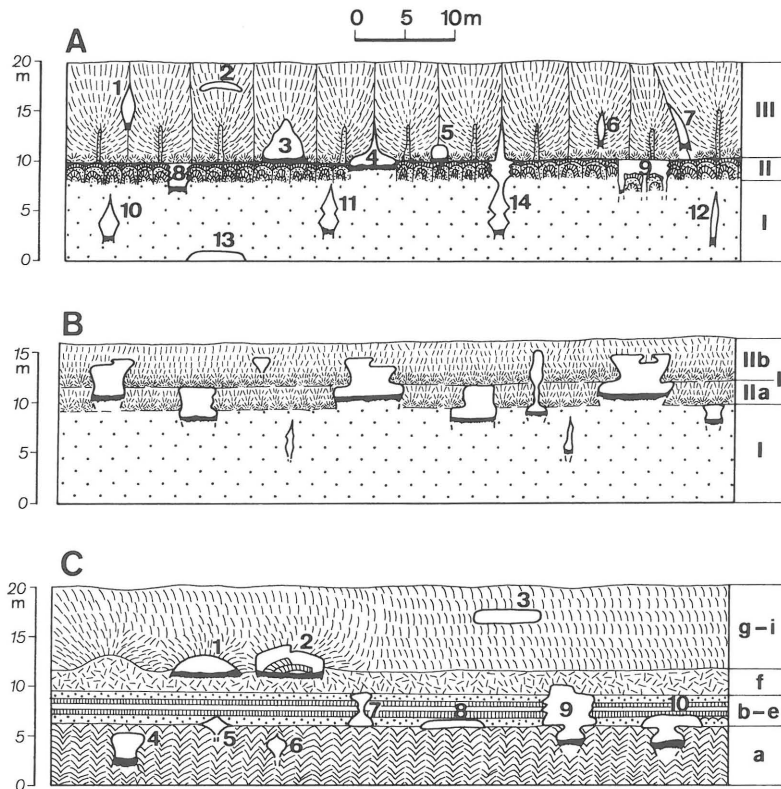
Jedną z podstaw rozwoju form krasowych jest obecność sieci szczelin w utworach ulegających krasowieniu. Zgodnie z najnowszymi wynikami badań (Klimchouk i in., 1995; Turchinov, 1997), powstanie szczelin w badeńskich gipsach Przedkarpacia jest wynikiem działania w tym samym czasie zewnętrznych (tektonicznych) i wewnętrznych (litogenetycznych) naprężeń w związku z fałdowaniem Karpat. Gipsy o różnych cechach litologicznych cechują różne właściwości fizyko-mechaniczne, co znajduje swój wyraz w charakterze sieci szczelin w różnych częściach profilu gipsów. Szczególnie wyraźny związek charakteru szczelinowatości z odmianami litologicznymi gipsów przejawia się na obszarze międzyrzecza Seret–Zbrucz (ryc. 3). W górnej części profilu gipsów, w strefie III, składającej się z gigantycznych struktur kopulastych, roztraskiwanie utworów pod działaniem zewnętrznych naprężeń tektonicznych zachodzi wzdłuż najbardziej osłabionych odcinków — płaszczyzn rozdzielających kopuły. Tworzące się przy tym sieci szczelin charakteryzują się pięcio- lub sześciokątną formą poligonów, przewagą trypromiennych połączeń szczelin i brakiem ostro zaznaczonych głównych orientacji (ryc. 3A).



Ryc. 2. Wzorcowe profile badeńskich gipsów Przedkarpacia: A — rejon międzyrzecza Seret–Zbrucz, B — rejon międzyrzecza Dżurin– Seret, C — Borków na Podidziu
 Fig. 2. Standard profiles of Badenian gypsum: A — region between Seret and Zbruch rivers, B — region between Dzhurin and Seret rivers, C — Borków (Nida Valley)



Ryc. 3. Wpływ cech litologicznych gipsów na rozwój sieci szczelin (rejon międzyrzecza Seret–Zbrucz)
 Fig. 3. Influence of lithological features of gypsum on development of fissure systems (region between Seret and Zbruch rivers)



Ryc. 4. Prawidłowości przestrzennego położenia i morfologii podziemnych pustek krasowych w gipsach badeńskich na przykładzie jaskiń: A — Optymistycznej (międzyrzecze Seret–Zbrucz), B — Dżurińskiej (międzyrzecze Dżurin–Seret), C — Skorocickiej (Ponidzie)

Fig. 4. Spatial distribution and morphology of subsurface karst voids in Badenian gypsum as exemplified by caves: A — Optimisticheskaya (West Ukraine), B — Dzhurinskaya (West Ukraine), Skorocicka (Nida Valley, Central Poland)

W środkowej części profilu, w strefie II, utwory także roztraskują się wzdłuż płaszczyzn, rozdzielających rozwinięte tutaj niewielkie struktury kopułowe. Utworzone przy tym szczeliny mają pokrój zygzakowaty (ryc. 3B). W dolnej części profilu, w strefie I, jednorodny gips drobnoziarnisty cechuje się izotropią właściwości fizyko-mechanicznych. Powstała tutaj sieć szczelin cechuje się wyraźnymi kierunkami, czterokątną formą poligonów i przeważnie czteropromiennymi połączeniami szczelin (ryc. 3C).

Podziemne formy krasowe i ich morfologia

Cechy litologiczne badeńskich gipsów Przedkarpacia warunkowały przestrzenny układ krasowych pustek w profilu i cechy ich morfologii. Prawidłowości związku podziemnych krasowych form z właściwościami litologiczno-facjalnymi utworów ulegających krasowienu zostaną przedyskutowane na przykładzie jaskiń krasowych: Optymistyczna i Dżurińska na Podolu i Skorocicka na Ponidziu (ryc. 4).

Jaskinia Optymistyczna jest najdłuższą gipsową jaskinią świata (jej długość na dzień 1.01.1997 r. wynosi 192 km). Jaskinia ta jest położona w rejonie rozwoju gipsów z gigantycznymi kopułowymi strukturami w górnej części profilu gipsów, co wyraziło się charakterem rozwoju korytarzy i galerii oraz ich morfologią. Dla korytarzy położonych w dolnej części profilu (strefa I) jest typowy romboidalny przekrój poprzeczny (ryc. 4A-10). Często spotyka się kombinację dwóch rombów (ryc. 4A-11). Takie przekroje są związane z poziomami postoju wody w trakcie osuszenia gipsów. Rzadziej spotyka się korytarze o przekroju szczeli-

nowatym (ryc. 4A-12). Na kontakcie gipsów z podścielającymi utworami dolnobadeńskimi tworzą się szerokie i niskie pustki o płaskim stropie (ryc. 4A-13).

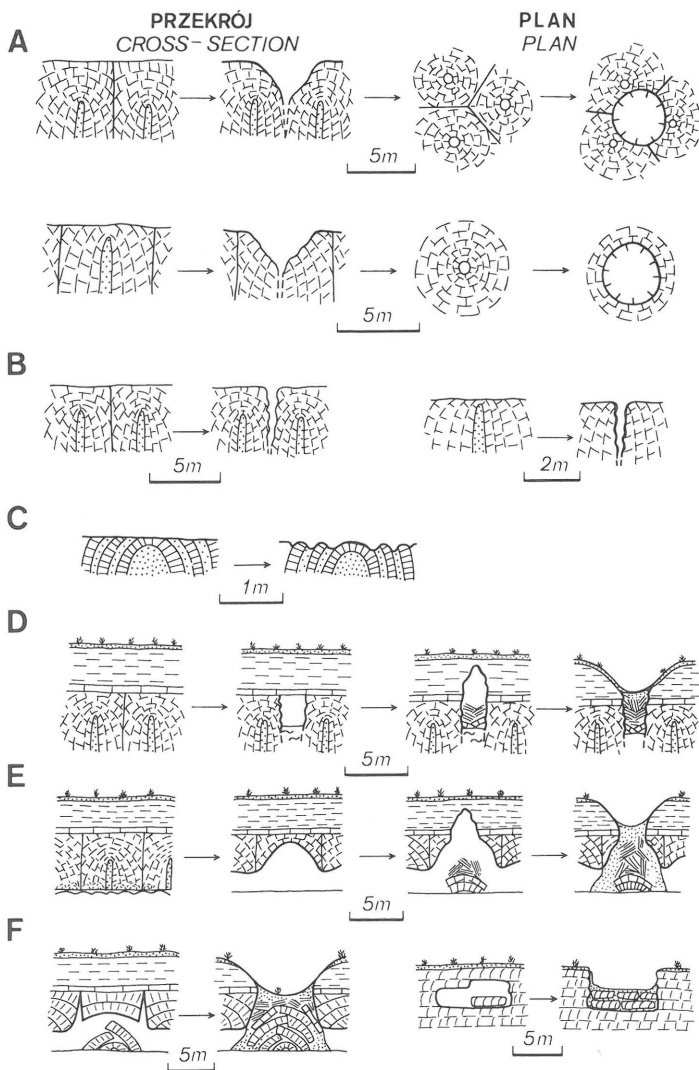
Dla środkowej części profilu gipsów (strefa II) są charakterystyczne pustki o przekroju prostokątnym (ryc. 4A-8, 9), których strop jest rozwinięty wzdłuż podstawy strefy III. Należy zaznaczyć, że powierzchnia kontaktu między strefami II i III (podkreślona poziomem bentonitowym) jest ważnym czynnikiem warunkującym przestrzenne położenie labiryntów podziemnych pustek krasowych w obszarze międzyrzecza Seret–Zbrucz.

W górnej części profilu (strefa III) pustki krasowe są najczęściej rozwinięte wzdłuż szczelin, które powstały w wyniku rozszczepienia gipsów wzdłuż powierzchni podziału kopułowych struktur. Takie pustki mają zazwyczaj trójkątny lub szczelinowaty przekrój poprzeczny (ryc. 4A-7), rzadziej – romboidalny (ryc. 4A-1) lub prostokątny. Niekiedy pustki rozwijają się wzdłuż szczelin, promieniście przecinających struktury kopułowe (ryc. 4A-6). Pustki mogą także rozwijać się wzdłuż kół współśrodkowych tych struktur (ryc. 4A-2). Często w górnej części profilu obserwuje się pustki krasowe o kształcie kopułowym i średnicy 2–5 m (ryc. 4A-3), powstające w wyniku wybiórczego rozpuszczania drobnoziarnistego gipsu w części jądrowej i okołojądrowej kopuł gipsowych. W górnej części takich pustek często obserwuje się monokryształowy szpatowego gipsu – jądro struktury, wypreparowane w wyniku korozji. W dolnej części strefy III, na kontakcie ze strefą II, są rozwinięte niskie (do 1,5 m) i szerokie (do 6 m) galerie (ryc. 4A-4) lub niewysokie korytarze o przekroju łuku (ryc. 4A-5).

Pustki krasowe, rozwinięte wzdłuż większych szczelin tektonicznych, przecinających cały pokład gipsu, mają złożoną morfologię i przedstawiają sobą kombinację kilku form krasowych opisanych powyżej i charakterystycznych dla określonej części profilu (ryc. 4A-14).

Jaskinia Dżurińska (o długości 1,5 km) jest założona w gipsach, w których brak gigantycznych struktur kopułowych, i z tego względu morfologia pustek krasowych jest inna. Przestrzenne położenie korytarzy i galerii w tej jaskini są uwarunkowane powierzchnią kontaktu między strefami i podstrefami profilu gipsów (ryc. 4B). Galerie jaskini są rozwinięte głównie w górnej części profilu i mają płaskie stropy. Morfologia pustek krasowych jest zazwyczaj predestynowana subhoryzontalnym zaleganiem warstw gipsu szablonego. Często stropem galerii jest podstawa wyżej leżącej strefy bądź podstrefy profilu. W dolnej części pokładu pustki krasowe spotyka się rzadko i mają one przekrój szczelinowaty lub trójkątny.

Jaskinia Skorocicka, o długości 280 m (Wołoszyn, 1990), to kanał podziemnego cieku wodnego, ujawniającego starsze pustki. Przestrzenne położenie korytarzy i galerii w tej jaskini (oraz w innych jaskiniach Doliny Skorocickiej) są uwarunkowane granicami między utworami o różnych cechach litologicznych (ryc. 4C). Formy krasowe są tutaj rozwinięte wzdłuż granic między jednostkami a i b (ryc. 4C-5, 8, 10), e i f (ryc. 4C-7, 9), f i g (ryc. 4C-1, 2). Morfologia pustek jest tutaj także uwarunkowana litologicznymi cechami gipsów. I tak np. korytarze rozwinięte w gipsach szklicowych (jednostka a) mają przekrój łuku (ryc. 4C-4, 6). W obrębie jednostek b–e morfologia pustek jest skomplikowana przez istnienie



Ryc. 5. Przykłady wpływu cech litologicznych gipsów badeńskich Przedkarpacia na rozwój powierzchniowych form krasowych: A — leje korozyjno-infiltracyjne, B — pionowe kanały infiltracyjne, C — karry, D-F — leje krasowe

Fig. 5. Examples of influence of lithological characteristics of Baenian gypsum on development of surface karst forms: A — corrosion-infiltrational funnels, B — vertical infiltrational channels, C — karren, D-F — karst sinkholes

Zapadliska krasowe mogą tworzyć się w rezultacie zawalania się stropów podziemnych pustek krasowych, które zostały scharakteryzowane powyżej a których założenie i morfologia są predestynowane cechami litologiczno-facjalnymi gipsów (ryc. 5D, E). Tymi też cechami mogą być predestynowane i same procesy zawalania stropów pustek krasowych (ryc. 5F).

Podsumowanie

Wyżej omówione przykłady wskazują, że czynnik litologiczny miał duży wpływ podczas rozwoju procesów krasowych w badeńskich gipsach Przedkarpacia, co należy brać pod uwagę podczas badań krasu w tym regionie. Badania litologiczno-facjalne cech gipsów w połączeniu z rozwojem w nich przejawów krasu powinny być prowadzone kompleksowo, razem z badaniami tektonicznymi i hydrogeologicznymi regionu. Rezultaty takich badań pozwolą dokładniej rozpatrzyć zagadnienia dynamiki procesów krasowych i ich prognozowania — zarówno w warunkach naturalnych, jak i zmienionych przez człowieka.

Autor serdecznie dziękuje prof. Tadeuszowi Perytowi (PIG, Warszawa) za umożliwienie zapoznania się z odświeżeniami gipsów i przejawami krasu w południowej Polsce, udostępnienie niezbędnej literatury, konsultacje i pomoc przy przygotowaniu artykułu do druku. Autor wdzięczny jest także prof. Wacławowi Andrejczukowi (Uniwersytet Śląski) oraz speleologom lwowskim za pomoc w wykonywaniu badań w jaskiniach Podola.

Literatura

- BĄBEL M. 1986 — *Prz. Geol.*, 34: 204–208.
 BĄBEL M. 1987 — *Acta Geol. Pol.*, 37: 1–20.
 BĄBEL M. 1996 — V Krajowe Spotkanie Sedymentologów, Materiały konferencyjne, B1-B26, Warszawa.
 KASPRZYK A. 1993 — *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 63: 33–84.
 KLIMCHOUK A.B., ANDREICHOUK V.N. & TURCHINOV I.I. 1995 — Structural prerequisites of speleogenesis in gypsum in the Western Ukraine. Kiev.
 KUBICA B. 1992 — *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 133: 1–64.
 PERYT T.M. 1996 — *Sedimentology*, 43: 571–588.
 PERYT T.M. & JASIONOWSKI M. 1994 — *Sedim. Geol.*, 94: 153–163.
 PERYT T.M., JASIONOWSKI M., POBEREŹSKI A.W., PETRYCZENKO O.I., PERYT D. & RYKA W. 1994 — *Prz. Geol.*, 42: 771–776.
 PERYT T.M., KAROLI S., PERYT D., PETRICHENKO O.I., GEDL P., NARKIEWICZ W., DURKOVICOVA J. & DOBIE-SZYŃSKA Z. 1997 — *Slovak Geol. Mag.* (w druku)
 PERYT T.M. & PERYT D. 1994 — *Bull. Pol. Acad. Sc., Earth Sc.*, 42: 127–136.
 TURCHINOV I.I. 1997 — *Voprosy fizicheskoy speleologii* (w druku).
 TURCZYNOW I.I. & ANDREJCZUK W.N. 1995 — *Prz. Geol.*, 43: 403–405.
 WOŁOSZYN B. 1990 — *Studia Ośrodka Dokumentacji Fizjograf.*, 18: 275–340.

grzebieni i półek skalnych, powstałych w wyniku wybiórczego rozpuszczania drobnoziarnistych gipsów alabastrowych i stromatolitowych (ryc. 4C-9). Swego rodzaju pustki kopułowe (ryc. 4C-1) niekiedy obserwuje się na granicy jednostek f i g. Tworzą się one w wyniku rozpuszczania łatwiej rozpuszczalnego gipsu szkieletowego, tworzącego jądra gipsowych kopuł Poniżnia. Morfologia takich pustek może być komplikowana obecnością owalnych bloków (ryc. 4C-2). Wzdłuż płaszczyzn warstwienia gipsów szablastych tworzą się szerokie i niskie galerie (ryc. 4C-3).

Powierzchniowe formy krasowe

Cechy litologiczno-facjalne badeńskich gipsów Przedkarpacia mogą wywierać wpływ także na powstanie powierzchniowych form krasowych — karrów, lejów i kanałów infiltracyjnych, a także lejów krasowych. Mogą tutaj działać takie same prawidłowości, co i przy powstawaniu form podziemnych. I tak np. korozyjno-infiltracyjne leje zapadliskowe rozwijają się w najbardziej przepuszczalnych lub najbardziej rozpuszczalnych częściach pokładu gipsowego — w miejscach połączenia kilku struktur kopulastych lub też w jądrowych i przyjądrowych częściach takich struktur (ryc. 5A). Takie same prawidłowości obserwuje się przy powstawaniu pionowych kanałów infiltracyjnych (ryc. 5B). Karry mogą tworzyć się przy wybiórczym rozpuszczaniu rejonów rozwoju gipsu drobnoziarnistego (ryc. 5C).