

## MARTWICE WAPIENNE NA OBSZARZE OKNA TEKTONICZNEGO MSZANY DOLNEJ

Michał Gruszczyński<sup>1</sup> & Leonard Mastella<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zakład Paleobiologii PAN, al. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

<sup>2</sup>Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, al. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

Gruszczyński M. & Mastella L., 1986. Martwice wapienne na obszarze okna tektonicznego Mszany Dolnej. Calcareous tufas in the area of the Mszana Dolna tectonic window (Outer Carpathians, Poland). *Ann. Soc. Geol. Polon.*, 56: 117–131. Kraków.

Abstract: Calcareous tufas are actually forming in the area of the Mszana Dolna tectonic window. The tufas are composed of calcite, occurring either as micrite or as sparite, depending on the form of the tufa accumulation. The occurrence of the tufas is restricted to the zones of large normal faults. Decrease of CO<sub>2</sub> partial pressure at the deep-water outflow from these zones is the main cause of the deposition of the tufas.

Key words: calcareous tufas, origin, Carpathians, Poland.

*Manuscript received September 1984, accepted June 1985*

Abstrakt: W pracy scharakteryzowano martwice wapienne tworzące się współcześnie w oknie tektonicznym Mszany Dolnej. Martwice te składają się wyłącznie z kalcytu. W zależności od formy występowania martwic jest to bądź mikryt, bądź sparyt. Występowanie martwic jest ściśle związane z dużymi strefami uskoku normalnych. Zmniejszenie ciśnienia parcjalnego CO<sub>2</sub> przy wpływie wód głębinowych, migrujących tymi strefami, jest głównym powodem tworzenia się opisywanych martwic.

### WSTĘP

Występowanie martwic wapiennych we fliszu polskiej części Karpat wzmiankowane było już od dawna (Wiśniowski, 1908; Horwitz, 1930, 1932; Halicki & Lilpop, 1932). Współcześnie wiele wystąpień martwic odnotowano we fliszu podhalańskim (Małecka, 1973; Mastella, 1975; Mastella & Mizerski, 1977). W tym regionie są one też zaznaczone na mapach (Birkenmajer, 1958, 1964; Watycha, 1976, 1977). Ustne informacje o licznych wystąpieniach martwic wapiennych we fliszu Karpat Zewnętrznych podali autorom prof. S. Dżułyński i prof. A. Ślęczka, a także uczestnicy konferencji terenowej Sekcji Tektonicznej Polskiego Towarzystwa Geologicznego na terenie okna tektonicznego Mszany Dolnej w roku 1983. Na obszarze tego okna (Fig. 1) natrafiono na liczne wystąpienia martwic (Fig. 2). Ich charakterystyka oraz związek z tektoniką wspomnianego okna jest tematem tej pracy.

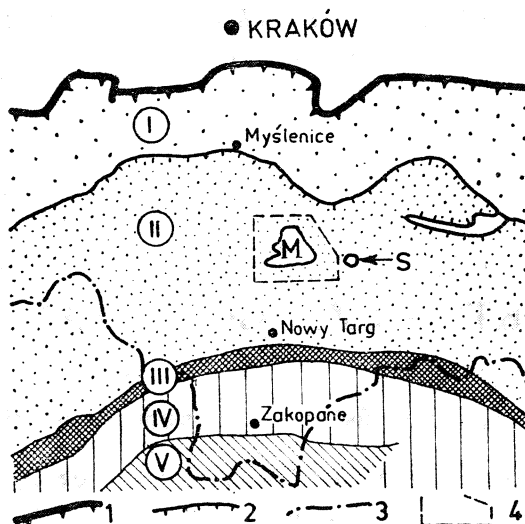


Fig. 1. Szkic lokalizacyjny terenu badań. 1 — zewnętrzny brzeg Karpat, 2 — nasunięcie jednostki magurskiej, 3 — granica państwa, 4 — granica obszaru badań; I — jednostki grupy średniej, II — jednostka magurska, III — pieniński pas skałkowy, IV — flisz podhalański, V — Tatry; okna tektoniczne: Mszany Dolnej (M), Szczawy (S)

Fig. 1. Locality sketch of investigated area. 1 — external border of the Carpathian overthrust, 2 — Magura unit overthrust, 3 — state boundary, 4 — outline of the investigated area; I — Middle Group thrust units, II — Magura thrust unit, III — Pieniny Klippen Belt, V — Tatra Mts. units; tectonic windows: Mszana Dolna (M), Szczawa (S)

## OPIS MARTWIC

### Ogólna charakterystyka występowania martwic

Występujące na obszarze okna Mszany Dolnej martwice związane są zawsze z różnego typu źródłami szczelinowymi lub występującymi w ich przedłużeniu strefami wysięków. Wystąpienia te są łatwe do przeoczenia, gdyż maskowane są zwykle przez bujnie porastającą je roślinność, głównie mchy. Ponadto wystąpienia usytuowane są w górnych, trudno dostępnych odcinkach niewielkich cieków lub w krótkich, stromościennych dopływach większych potoków (Fig. 2).

Forma występowania martwic jest zróżnicowana. Najczęściej są to polewy, o grubości do 2 mm, na otoczkach i okruchach piaskowców (Pl. I: 1) leżących w dnie cieków niosących małe ilości wody (Fig. 3: 1a). Miejscami polewy występują bezpośrednio na powierzchniach ławic lub spękań ciosowych (Fig. 3: 1b). Zdarza się to bezpośrednio przy źródłach szczelinowych lub w ich pobliżu na niewielkich wodospadach z progów skalnych. Wówczas polewy tworzą się także na połamanych i unieruchomionych w ich obrębie gałęziach. Grubość polew utworzonych na gałęziach dochodzi do 1 cm (Pl. I: 2 i 3).

Często spotyka się martwice na strefach wysięków ze skarp tarasów rzecznych. Zlepiają one wówczas luźne okruchy skalne i żwiry, z których zbudowane są skarpy

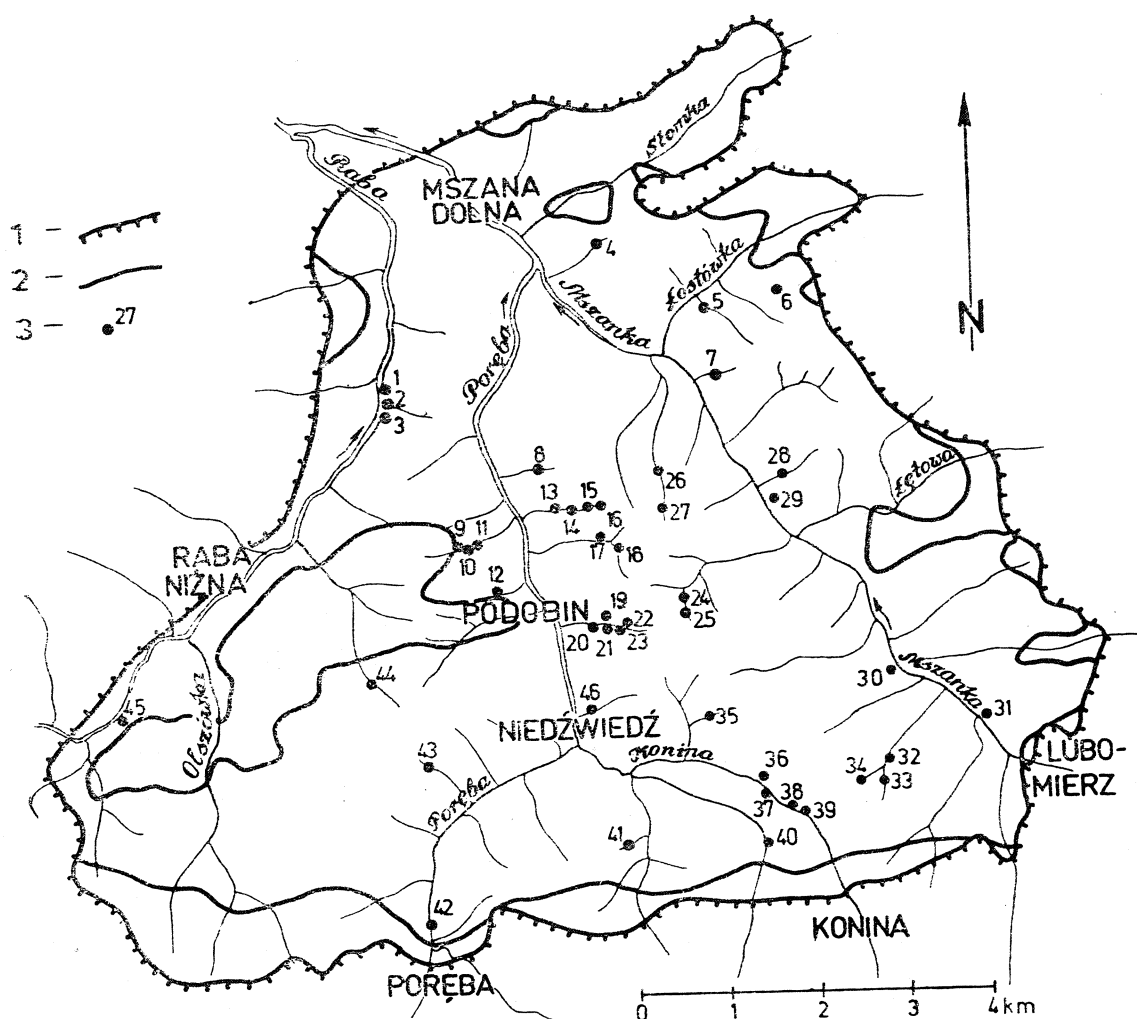


Fig. 2. Lokalizacja wystąpień martwic wapiennych w oknie tektonicznym Mszany Dolnej. 1 — granica nasunięcia jednostki magurskiej, 2 — granica nasunięcia jednostki grybowskiej, 3 — wystąpienia martwic

Fig. 2. Sites of calcareous tufas in the area of the Mszana Dolna tectonic window. 1 — Magura unit overthrust, 2 — Grybów unit overthrust, 3 — sites of calcareous tufas

(Fig. 3: 2) oraz inkrustują porastającą te skarpy roślinność (Fig. 3: 3, Pl. I: 4). Lokalnie martwice tworzą się na cokołach tarasów, bezpośrednio pod przykryciem darni (Fig. 3: 4). Przyjmują wówczas postać zlewnych pokryw o powierzchni do kilku metrów kwadratowych i grubości kilku centymetrów, z nielicznymi okruchami skał podłoża i szczątkami roślin porastających miejsce występowania tych pokryw.

W kilku odsłonięciach stwierdzono stopniowe przejście od pól, poprzez zlepy i inkrustacje roślin, do zlewnych pokryw. Wskazywałoby to, że wyżej wymienione formy występowania martwic są tylko kolejnymi stadiami ich tworzenia się.

Opisywane martwice powstają współcześnie. Wynika to z wieloletnich obserwacji, na podstawie których stwierdzono, że większość niszczonej przy stanach powodziowych martwic, zwłaszcza pól, jest odtwarzana częściowo lub całkowicie w tym samym miejscu bądź w jego bezpośrednim sąsiedztwie.

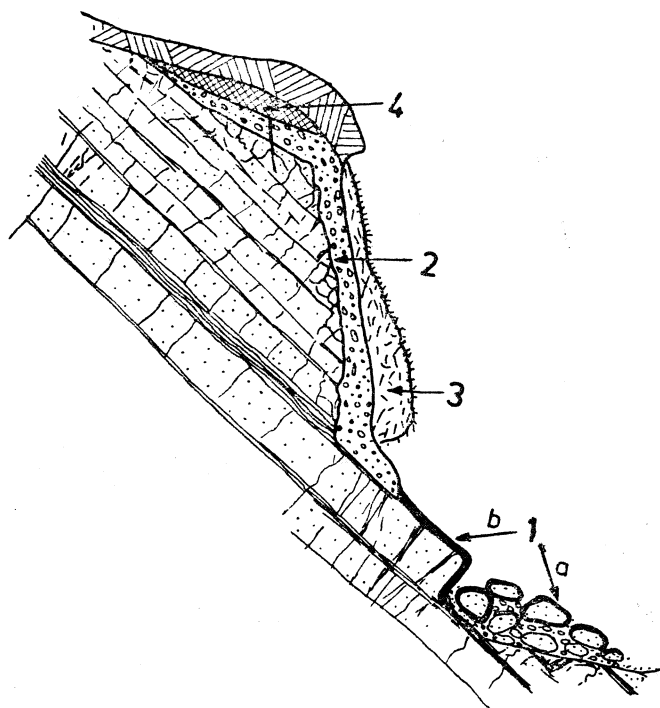


Fig. 3. Schematyczny rysunek sposobu występowania i rozmieszczenia w odsłonięciu różnego typu martwic wapiennych. 1 — polewy wapienne na otoczkach (a) i powierzchniach ławic (b), 2 — zlepy wapienne żwirów i okruchów skał fliszowych, 3 — inkrustacje wapienne roślin, 4 — zlewne pokrywy wapienne

Fig. 3. Schematical drawing showing modes of the tufas occurrence and distribution in outcrop. 1 — calcareous encrustations on pebbles (a) and on base-rock (b), 2 — tufas cementing pebbles and rock debris, 3 — calcareous encrustations on plants, 4 — thick calcareous crusts

Można przypuszczać, że przynajmniej w niektórych odsłonięciach martwice tworzą się w ciągu całego roku, gdyż część źródeł i wysięków z martwicami (Fig. 2, odsł. nr 2, 10, 24, 36, 38) nie zamarza zimą.

### Skład mineralny i środowisko tworzenia się martwic

Wszystkie martwice, niezależnie od formy występowania, mają jednakowy skład mineralny. Jak wynika z analizy dyfraktogramów rentgenowskich, składają się one niemal wyłącznie z kalcytu ze śladowymi domieszkami kwarcu, illitu, kaolinitu, skaleni i dolomitu. Domieszki te pochodzą prawdopodobnie z inkorporowanych w strukturę martwic skał fliszowych. Potwierdzają to dyfraktogramy okruchów tych skał, z których wynika, że składają się one z takich samych minerałów, jak opisane domieszki w martwicach.

Ponieważ kalcyt w środowisku subaerycznym wytrąca się zarówno w warunkach oksydacyjnych, jak i redukcyjnych (Richter & Füchtbauer, 1978), a badane martwice występują także i przy źródłach z  $H_2S$ , przeto konieczne stało się określenie warunków redoks tworzenia się tych martwic. W tym celu wykonano płytki cienkie z martwic wybranych z reprezentatywnych odsłoneń. Płytki te nasycano, zgodnie z zaleceniem Dicksona (1965), żelaziczankiem potasu i alizaryną. We wszystkich przypadkach przybrały barwę czerwoną. Pozwala to stwierdzić (Evamy, 1969), że martwice powstały w warunkach utleniających.



## Struktura wewnętrzna martwic

Struktura wewnętrzna martwic jest wyraźnie zróżnicowana w zależności od formy ich występowania.

Polewy i inkrustacje roślinne zbudowane są z mikrytu składającego się z izometrycznych kryształów o rozmiarach do  $1\ \mu\text{m}$  skupionych w kilkuelementowych zespołach (Pl. II: 1). W mikrytowym tle dostrzega się delikatną laminację (Pl. II: 2), bardzo wyraźną w polewach występujących na gałęziach (Pl. I: 3). Składa się ona wówczas z naprzemianległych grubszych i porowatych oraz cienkich i zwartych warstewek mikrytowych. Przy dużych powiększeniach widać rozproszone w mikrytowym tle enklawy mikrosparytu (Pl. II: 3). Zarysy krawędzi tych enklaw są nieregularne. Brak jest połączeń typu "enfacial junction" (*sensu* Bathurst, 1964). Wynika stąd, że opisywane enklawy powstały wskutek częściowej rekrytalizacji (*vide* Bathurst, 1971) mikrytowego tła.

Bardziej złożona jest struktura wewnętrzna zlepów (Pl. III: 1). W tle mikrytowym obok kryształów o rozmiarach takich samych, jak w polewach i inkrustacjach, ale tworzących bardziej skomplikowane układy, pojawiają się zespoły kryształów o rozmiarach  $1-2\ \mu\text{m}$  (Pl. III: 2) oraz lokalnie warstewki sparytu.

Zlewne pokrywy w swojej podstawowej masie zbudowane są z cyklicznie narastających warstw kryształów sparytu (Pl. III: 3; IV: 1), miejscami podobnych do pierścieni cementacyjnych opisywanych przez Jamesa *et al.* (1976). Narastanie kolejnych warstw powoduje tworzenie się, typowych dla zlewnych pokryw, jednolitych pierścieni sparytowych, bez widocznych krawędzi poszczególnych kryształów (Pl. IV: 2).

Wcześniejsze stwierdzenie ciągłości rozwoju opisywanych martwic od polew i inkrustacji poprzez zlepy do zlewnych pokryw wskazuje na kierunek rozwoju strukturalnego od drobnokryształicznych do grubokryształicznych martwic.

## POCHODZENIE MARTWIC

### Warunki powstawania martwic

Wiadomo (*vide* Picknett *et al.*, 1976), że wody lądowe zawierają głównie aniony  $\text{HCO}_3^-$  i niewielkie ilości wolnego  $\text{CO}_2$  oraz niezdysoncjowanego  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , a także minimalne ilości anionów  $\text{CO}_3^{2-}$ . Stąd, aby mogły powstać martwice, musi nastąpić zaburzenie opisanego układu. Może to być spowodowane zwiększeniem pH roztworu np. wskutek rozkładu materii organicznej bakteriami gnilnymi (Berner, 1971) lub wskutek procesów metabolizmu różnego typu mikroorganizmów i np. glonów (Friedman *et al.*, 1974). Ponadto układ ten może być zaburzony przez czynniki uwalniające  $\text{CO}_2$  z roztworu (Muxart, 1981; Szulc, 1983), co prowadzi do zmniejszenia stężenia jonów  $\text{H}^+$  i powoduje dalszą dysocjację  $\text{HCO}_3^-$ . Czynnikiemami tymi mogą być: asymilacja  $\text{CO}_2$  w procesie fotosyntezy, podwyższenie temperatury roztworu, przyspieszenie dyfuzji w roztworze przez silny przepływ turbulentny, zmniejszanie ciśnienia parcjalego  $\text{CO}_2$ .

Fakt tworzenia się opisywanych martwic w środowisku utleniającym wyklucza udział w tym procesie bakterii gnilnych. Obecność glonów i innych mikroorganizmów w strukturze martwic sprawdzono trawiąc płaskie ich powierzchnie przez kilkanaście sekund w 5% kwasie mrówkowym, a następnie przemywając je (Loreau, 1979) w 5% roztworze hexametrafosforanu sodu. Na części tak trawionych powierzchni ujawniły się tylko nieliczne nitkowate struktury (Pl. IV: 3–6). Długość obserwowanych nitek dochodzi do kilku milimetrów i jest zapewne większa, gdyż końce ich na ogół zanurzają się w strukturze węglanowej (Pl. IV: 4 i 5). Zaobserwowano dwa rodzaje nici różniące się rozmiarami (Pl. IV: 3, 5). Większe nici są zwykle spłaszczone (Pl. IV: 6), co wyklucza ich wewnętrzną kalcyfikację. Nie mają też śladów inkrustacji węglanem wapnia na powierzchni. J. Kaźmierczak (inf. ustna) określił je jako prawdopodobnie nitkowate sinice. Poszczególne nici przebiegają niezależnie od wewnętrznej struktury martwic i nie tworzą mat organicznych. Mogły więc jedynie z mchami na przykład wspomagać wytrącanie węglanu wapnia przez asymilację CO<sub>2</sub> w procesie fotosyntezy.

Średnia temperatura roczna powietrza jest znacznie niższa od temperatury wód na wypływie różnych ujęć w badanym regionie (*Ujęcie wód ...*, 1979), co wraz z faktem tworzenia się przynajmniej części martwic również i zimą wyklucza w znacznym stopniu możliwość wpływu temperatury na uwalnianie się CO<sub>2</sub> z tych wód. Obserwacje terenowe wykazują jednoznacznie, że przyspieszona dyfuzja wskutek silnego przepływu turbulentnego ma wpływ jedynie na tworzenie się pól w strefach wodosпадзików.

Tak więc jako główny czynnik pozostaje zmniejszenie ciśnienia parcjalnego. Najprawdopodobniej następuje to w wyniku wypływu ze źródeł szczelinowych wód pod ciśnieniem wyższym od atmosferycznego i zawierających CO<sub>2</sub> oraz jony Ca<sup>+2</sup>. Potwierdzenia tego wniosku należy szukać w związkach opisywanych martwic z budową geologiczną badanego obszaru oraz analogiach regionalnych z innymi wystąpieniami martwic w Karpatach.

## MARTWICE A BUDOWA GEOLOGICZNA OKNA TEKTONICZNEGO MSZANY DOLNEJ

### Zarys budowy geologicznej okna tektonicznego Mszany Dolnej

Okno tektoniczne Mszany Dolnej otoczone jest utworami płaszczowiny magurskiej (Fig. 1). Występują w nim dwie jednostki tektoniczne (Kozikowski, 1972; Burtan *et al.*, 1976). Wyższa z nich występuje w płatach na niższej, zajmującej główny obszar okna (Fig. 4). Tę ostatnią, ze względu na jej dyskusyjną przynależność regionalną (Książkiewicz, 1972; Kozikowski, 1972; Burtan *et al.*, 1976), dla uproszczenia nazwano okienną. Jednostka ta w części przypowierzchniowej zbudowana jest z warstw krośnieńskich (Burtan *et al.*, 1976), w dolnej części piaskowcowych, w górnej łupkowych. Sfałdowane są one w kilkanaście fałdów ciągnących się w przybli-

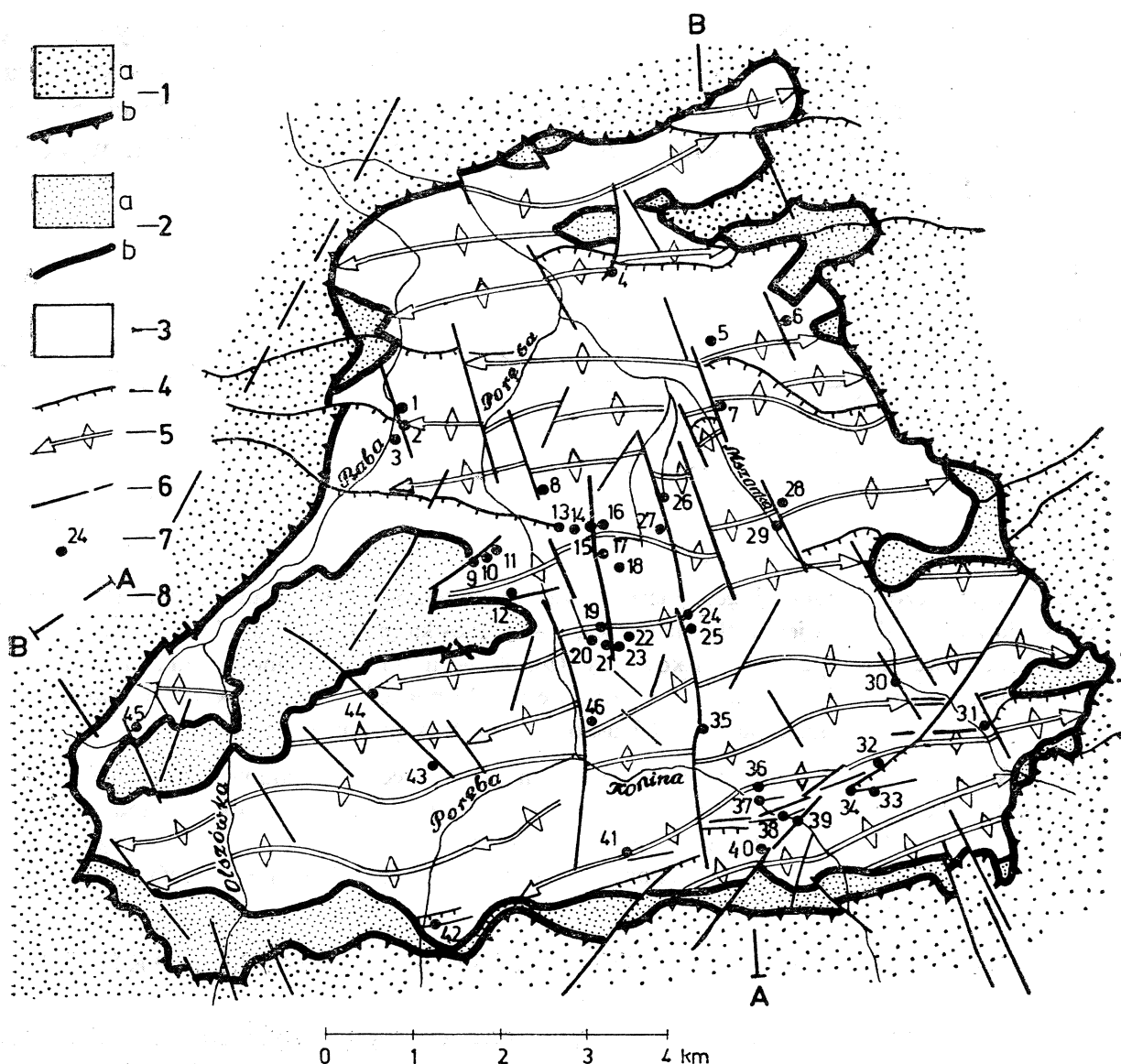


Fig. 4. Szkic tektoniczny okna Mszany Dolnej. 1 — jednostka magurska (a) i linia jej nasunięcia (b), 2 — jednostka grybowska (a) i linia jej nasunięcia (b), 3 — jednostka okienna, 4 — nasunięcia niższego rzędu, 5 — osie głównych antyklin, strzałka wskazuje kierunek ich zanurzania się, 6 — główne strefy uskokowe, 7 — wystąpienia martwic, 8 — linia przekroju (patrz Fig. 5)

Fig. 4. Tectonic sketch of the Mszana Dolna window. 1 — Magura unit (a) and its thrust (b), 2 — Grybów unit (a) and its thrust (b), 3 — window unit, 4 — secondary thrusts, 5 — axes of main anticlines, arrows in plunging direction, 6 — main zones, 7 — sites of tufas, 8 — cross-section line (see Fig. 5)

zeniu równoleżnikowo w poprzek całego okna (Fig. 4). Są to w większości fałdy pochylone i obalone na północ, a przy brzegach okna złuskowane i ponasuwane na siebie (Fig. 4 i 5). Zanurzanie się osi fałdów w części zachodniej na W, a w części wschodniej na E (Fig. 4) wskazuje na elewacyjny charakter środkowej części jednostki okiennej, co stwierdził już Świdorski (1953).

Jednostka okienna pocięta jest siecią uskoków, z których część przecina również jednostki wyższe. Są to uskoki normalne, strome, wtórne, gdyż w większości z nich stwierdzono, że wcześniej były uskoki przesuwczymi. Największe nagromadzenie uskoków występuje w części środkowej, elewacyjnej (Fig. 4). Dominują wśród nich

uskoki o kierunkach NNW-SSE. Stwierdzone zrzuty tych uskoków wynoszą co najmniej kilkadziesiąt metrów, a nawet, jak wynika z analizy materiałów kartograficznych, przekraczają prawdopodobnie kilkaset metrów. Podobne wartości zrzutów stwierdzono w uskokach normalnych o kierunku w przybliżeniu W-E, występujących w SE części okna.

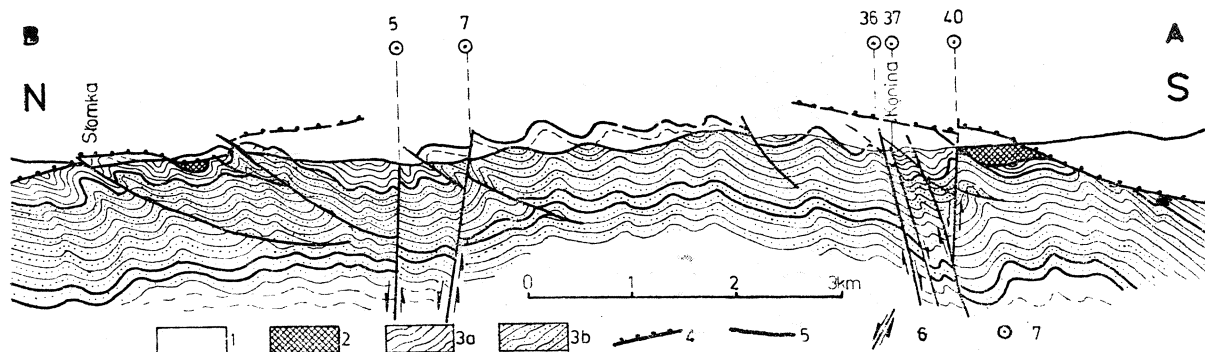


Fig. 5. Uproszczony przekrój geologiczny przez okno tektoniczne Mszany Dolnej (lokalizacja przekroju na Fig. 4). 1 — jednostka magurska, 2 — jednostka grybowska, 3 — jednostka okienna: ogniwo łupkowe (a) i ogniwo piaskowcowe (b), 4 — nasunięcie jednostki magurskiej, 5 — inne nasunięcia i uskoki odwrócone, 6 — większe uskoki normalne, strzałki wskazują zwrot przemieszczania skrzydeł uskoku, 7 — wystąpienia martwic

Fig. 5. Simplified cross-section through the Mszana Dolna tectonic window (situation shown in Fig. 4). 1 — Magura unit, 2 — Grybów unit, 3 — window unit: shaly member (a) and sandstone member (b), 4 — Magura unit overthrust, 5 — other thrusts and thrust faults, 6 — large normal faults, arrows show direction of relative movement, 7 — sites of tufas

### TEKTONICZNE UWARUNKOWANIA WYSTĘPOWANIA MARTWIC

Na badanym obszarze martwice wapienne występują wyłącznie na utworach jednostki okiennej. Związane są tam wyraźnie z uskokami różnej wielkości. Bezpośrednio stwierdzono to w kilkunastu odsłonięciach, w których zlepiają brekcje

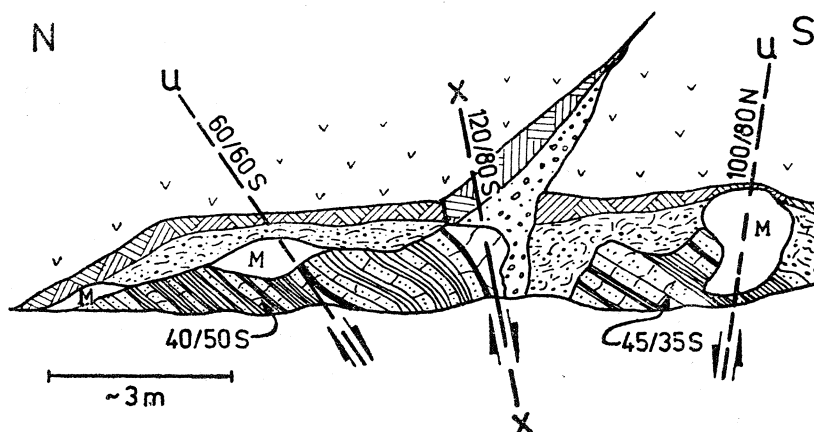


Fig. 6. Rysunek odsłonięcia z martwicami w postaci zlepiów (M) na uskokach niższego rzędu (u) towarzyszących uskocowi głównemu (x-x). Odsłonięcie nr 37 w potoku Konina (lokalizacja na Fig. 2 i 4)

Fig. 6. Sketch of outcrop with tufa conglomerates (M) on planes of secondary faults (u) accompanying main fault (x-x). Site 37 in Konina stream (localization shown in Fig. 2 and 4)

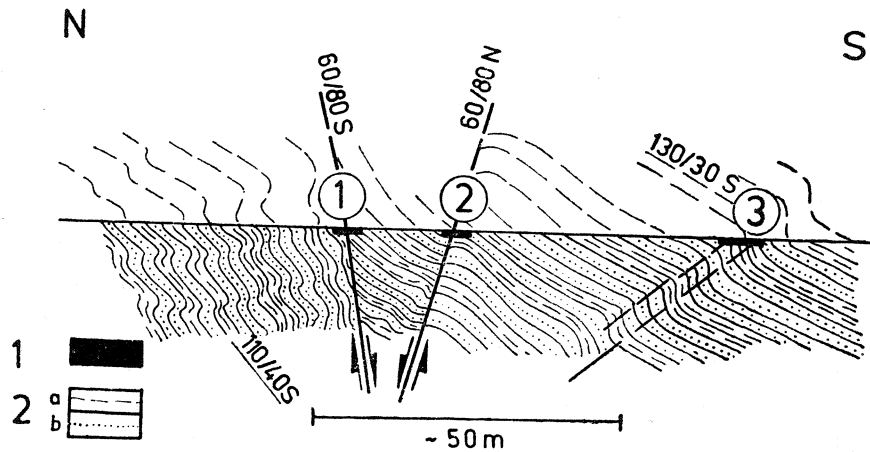


Fig. 7. Schematyczny przekrój geologiczny wzdłuż rzeki Raby z zaznaczonymi odsłonięciami martwic w postaci zlepów (odsl. 1 i 2) oraz pól (odsl. 3) na uskokach opierających i załadowaniach związanych z dużym uskokiem południkowym (patrz Fig. 4). 1 — strefy występowania martwic, 2 — warstwy łupków (a) i piaskowców (b). Na przekroju podano biegi i upady warstw i powierzchni uskokowych oraz przy uskokach strzałkami zaznaczono zwrot ruchu uskokowego

Fig. 7. Schematic geological cross-section along the Raba river with indicated occurrences of tufa conglomerates (1 and 2) and thick crusts (3) on feather faults and secondary folds related to a large meridional fault (see Fig. 4). 1 — tufa occurrences, 2 — shales (a) and sandstones (b). Strikes and dips of strata and fault planes are given, as well as relative movement directions on faults

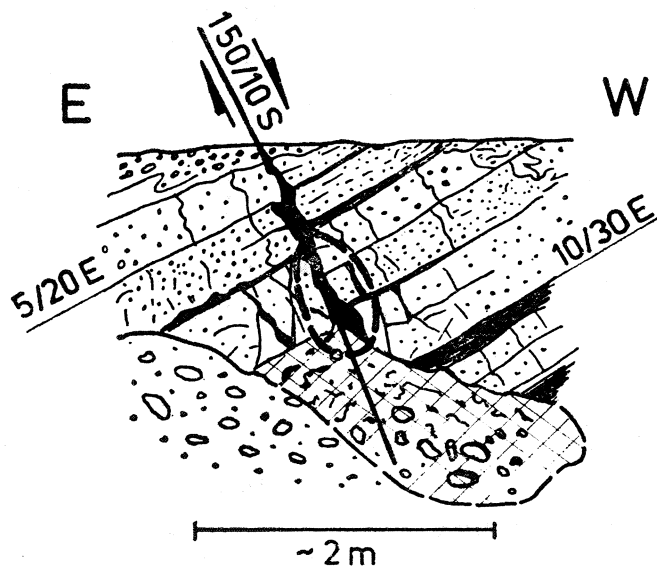


Fig. 8. Rysunek niewielkiego uskoku ze źródłem szczelinowym i polewą wapienną (obszar zakratkowany) poniżej strefy wypływu (obszar obwiedzony linią przerywaną) tego źródła. Strzałkami zaznaczono zwrot ruchu uskokowego. Lewy orograficznie dopływ potoku Poręba we wsi Podobin. Odsłonięcie nr 19 (lokalizacja na fig. 2 i 4)

Fig. 8. Drawing of a small fault with water outflow from fault fracture and calcareous crust (hatched) beneath the outflow zone (encircled with dashed line). Arrows indicate direction of relative movement in fault. Left affluent of the Poręba stream in Podobin locality. Exposure 19 (see Figs. 2 and 4)

w szczelinach uskokowych. W strefach uskokowych z obfitymi wyciekami wody martwice w postaci zlepow tworzą się nie na uskoku głównym, a w niewielkiej odległości od niego, na genetycznie z nim związanych mniejszych uskokach (Fig. 6 i 7, odsłonięcia 1 i 2).

Polewy najczęściej tworzą się bezpośrednio poniżej wypływów wód ze szczelin niewielkich uskoków (Fig. 8), a także na otoczkach w dnach potoków, na odcinkach, gdzie występują uskoki (Fig. 2 i 4, odsł. 26, 27). Rzadziej polewy tworzą się w strefach zagęszczonych spękań związanych z przyuskokowymi fałdami (Fig. 7, odsł. 3).

W większości przypadków występowanie martwic związane jest z uskokami, które wchodzi w skład dużych stref uskoków normalnych o kierunku NNW-SSE, na przykład odsłonięcia 24—35 (Fig. 4), rzadziej o kierunkach W-E, na przykład odsłonięcia 9—11 i 31—34 (Fig. 4). Główne nagromadzenia martwic występują w centralnej, elewacyjnej części jednostki okiennej (Fig. 4, odsł. 7—8 i 13—29). Mniejsze, ale również wyraźne nagromadzenia martwic występują wzdłuż równoleżnikowej strefy uskoków normalnych w SE części okna (Fig. 4, odsł. 31—34 i 36—39).

### PRÓBA WYJAŚNIENIA GENEZY MARTWIC NA OBSZARZE OKNA MSZANY DOLNEJ

Nie wydaje się, aby migrujące uskokami wody, z których wytrącają się martwice, były wodami powierzchniowymi. Przeczy temu budowa wewnętrzna martwic oraz całosezonowe obserwacje terenowe, na podstawie których można stwierdzić, że martwice tworzą się niezmiennie w ciągu całego cyklu rocznego. Ponadto mimo istnienia źródeł na wielu szczelinach uskokowych, tylko niektóre źródła i tylko w jednostce okiennej wytrącają martwice.

Tworzenie się martwic przy źródłach występujących w strefach uskoków normalnych o dużych zrzutach, a zwłaszcza na ich odcinkach przecinających elewacyjną część jednostki okiennej, wskazuje na możliwość migracji wód, z których wytrącają się martwice, z dużych głębokości. W obszarach fliszowych Karpat Wewnętrznych powszechnie przyjmuje się (Leško, 1958; Ložek, 1961; Fusán, 1963a, b; Gross & Köhler, 1980), że martwice powstają z migrujących uskokami, niekoniecznie termalnych (Zýka & Vtělenský, 1960; Gross & Köhler, 1981), wód głębinowych. Szczególnie wyraźne jest to tam, gdzie uskoki przecinają zarówno cienką pokrywę skał fliszowych, jak i podłoże zbudowane ze skał węglanowych (Fusán, 1963a, b; Buday, 1967; Gross & Köhler, 1980). Według większości cytowanych wyżej autorów, bogate w CO<sub>2</sub> wody głębinowe ługują z podłoża fliszu węglan wapnia i migrując uskokami ku górze wytrącają go w postaci martwic.

Na badanym terenie wodę o wysokiej zawartości węglanów stwierdzono na głębokości 1612 m, w otworze wiertniczym Poręba Wielka-1 (Kozikowski, 1972). Bogate w CO<sub>2</sub> wody występują również w niedalekim sąsiedztwie, w niewielkim oknie tektonicznym Szczawy (Fig. 1) (Dowgiałło, 1978; Leśniak, 1983). Zawarty w tych wodach CO<sub>2</sub> jest endogennego pochodzenia (Leśniak, 1983), a wody te mogą migrować daleko w kierunku północnym (Szpakiewicz, 1977). Dane te, obok badań

własnych i analogii regionalnych, pozwalają stwierdzić, że w obrębie jednostki okiennej istnieją warunki umożliwiające wytrącanie się martwic, wskutek zmniejszenia ciśnienia parcjalnego  $\text{CO}_2$ , z głębokich wód migrujących uskokami. Nie ma jednak pewności, czy wody te pochodzą z podłoża fliszu, gdyż nie wiadomo, czy uskoki, którymi one migrują, sięgają aż do mezo-paleozoicznego podłoża występującego tu na głębokości nie mniejszej niż 4,5 km (Barczuch *et al.*, 1981). Przesłanką, wskazującą, że przynajmniej niektóre z nich sięgają podłoża, mogło być grupowanie się odsłoneń martwic głównie na tych odcinkach dużych stref uskokowych NNW-SSE, które znajdują się bezpośrednio nad stwierdzonymi w po-

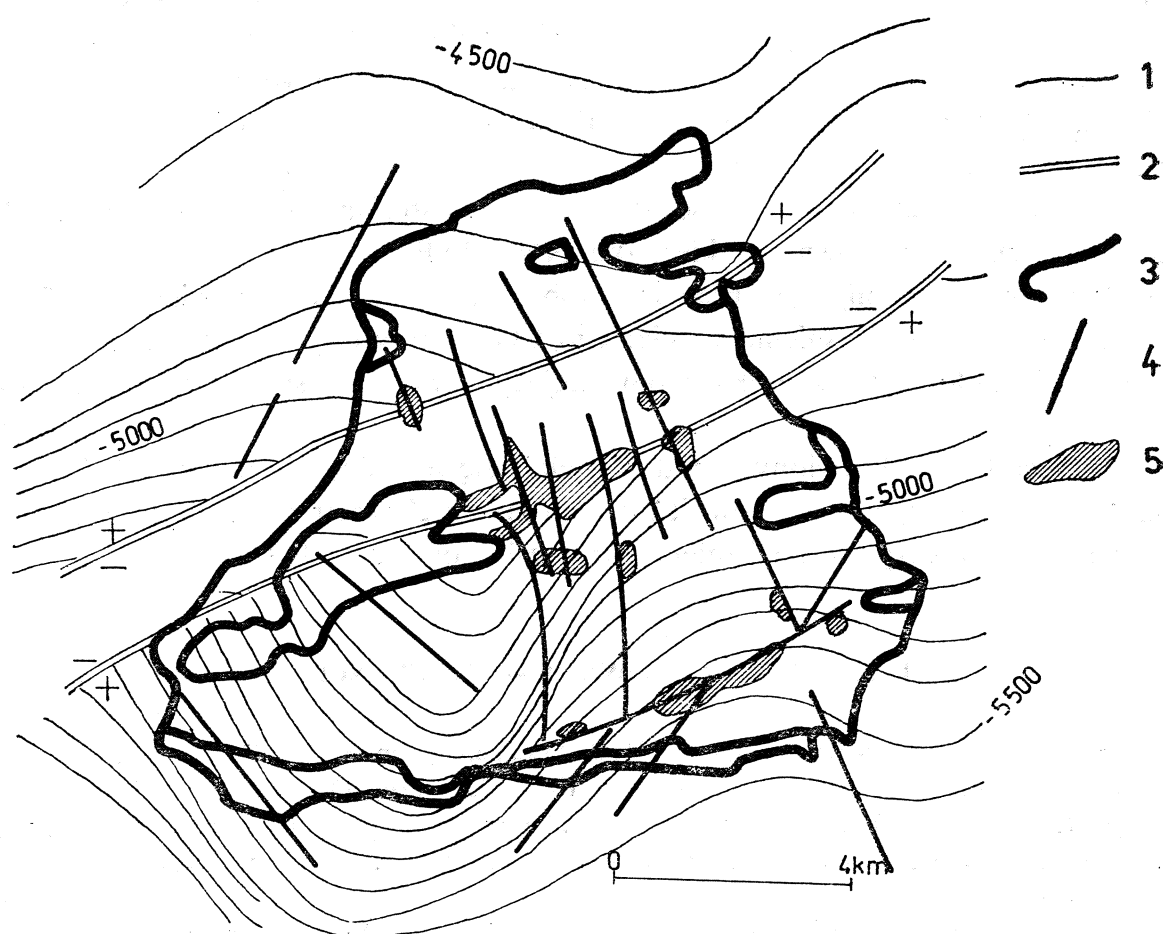


Fig. 9. Mapa strukturalna stropu mezozoiczno-paleozoicznego podłoża fliszu w rejonie okna tektonicznego Mszany Dolnej (według Barczucha *et al.*, 1981 — nieco zmieniona) z naniesionym położeniem granic na powierzchni terenu jednostek tektonicznych i głównych stref uskokowych. 1 — poziomice strukturalne stropu mezozoiczno-paleozoicznego podłoża fliszu, 2 — uskoki w tym podłożu, 3 — linie nasunięć jednostek tektonicznych na powierzchni terenu, 4 — główne strefy uskokowe na powierzchni terenu, 5 — obszary nagromadzenia wystąpień martwic wapiennych

Fig. 9. Structure contour map of the top of Mesozoic-Palaeozoic basement of flysch in the area of the Mszana Dolna tectonic window (after Barczuch *et al.*, 1981 — modified) with shown surface position of boundaries of tectonic units and main fault zones. 1 — contours of top of Mesozoic-Palaeozoic basement of flysch, 2 — basement faults, 3 — surface traces of thrusts of main tectonic units, 4 — surface traces of main fault zones, 5 — sites of calcareous tufas

dłożu fliszu uskokami W-E (Fig. 9). Gdyby ta przesłanka okazała się słuszna, należałoby podejrzewać, że również pod strefą uskokową z dużym nagromadzeniem martwic w SE części okna występuje w podłożu fliszu duży uskok (Fig. 9), który nie zaznacza się w danych pochodzących z badań geofizycznych (Barczuch *et al.*, 1981).

## ZAKOŃCZENIE

Wyniki przedstawionych badań streszczają się w kilku następujących stwierdzeniach:

1. Martwice wapienne na obszarze okna tektonicznego Mszany Dolnej tworzą się współcześnie w postaci polew, inkrustacji roślin, zlepów i zlewnych pokryw.
2. Martwice te składają się niemal wyłącznie z kalcytu utworzonego w warunkach utleniających i występującego głównie w postaci mikrytu, a jedynie w zlewnych pokrywach również sparytu.
3. Występowanie martwic jest ściśle związane ze strefami uskoków normalnych o dużych zrzutach i głównie o kierunku NNW-SSE.
4. Strefami tymi migrują, prawdopodobnie z głębi, wody zawierające CO<sub>2</sub> i Ca<sup>+2</sup>, a zmniejszenie ciśnienia parcjalnego CO<sub>2</sub> przy wypływie tych wód na powierzchnię jest głównym czynnikiem powodującym tworzenie się opisywanych martwic.
5. W świetle przedstawionych badań wydaje się prawdopodobne, że tak jak we fliszu Karpat Wewnętrznych, również w Karpatach Zewnętrznych nagromadzenia martwic mogą wskazywać na istnienie stref uskoków normalnych.

## LITERATURA CYTOWANA — REFERENCES

- Barczuch, M., Foryś, A. & Nowotarski, C., 1981. Budowa geologiczna Karpat Zachodnich w świetle najnowszych badań geofizycznych. *Biul. Inst. Geol.*, 332: 129–137.
- Bathurst, R. G. C., 1964. The replacement of aragonite by calcite in the molluscan shell wall. In: J. Imbrie & N. D. Newell (eds.), *Approaches to paleoecology*. Wiley and Sons, New York, 357–376.
- Bathurst, R. G. C., 1971. Carbonate sediments and their diagenesis. In: *Developments in sedimentology*, 12, Elsevier, Amsterdam, 620 pp.
- Berner, R. A., 1971. Bacterial processes effecting the precipitation of calcium carbonate sediments. In: O. P. Bricker (ed.), *Carbonate cements*. John Hopkins Press, Baltimore, pp. 247–251.
- Birkenmajer, K., 1958. *Mapa geologiczna Pienińskiego Pasa Skalkowego, Arkusz Dursztyn*. Wyd. Geol., Warszawa.
- Birkenmajer, K., 1964. *Mapa geologiczna Pienińskiego Pasa Skalkowego, Arkusz Trybsz*. Wyd. Geol., Warszawa.
- Buday, T., 1967. *Regionalni geologie ČSSR, Dil. 2, Zapadne Karpaty*, Ustř. Ust. Geol., Praha, 285 pp.
- Burtan, J., Paul, Z. & Watycha, L., 1976. *Szczegółowa mapa geologiczna Polski, Arkusz Mszana Górna*. Wyd. Geol., Warszawa.
- Dickson, J. A. D., 1965. A modified staining technique for carbonates in thin section. *Nature*, 205; 587.



- Dowgiałło, J., 1978. Pochodzenie dwutlenku węgla w szczawach Karpat i Sudetów na obszarze Polski. *Biul. Inst. Geol.*, 312: 191–216.
- Evamy, B. D., 1969. The precipitational environment and correlation of some calcite cements deduced from artificial staining. *J. Sedim. Petrol.*, 39: 787–793.
- Friedmann, G. M., Amiel, A. J. & Schneidermann, N., 1974. Submarine cementation in reefs: example of Red Sea. *J. Sedim. Petrol.*, 44: 816–825.
- Fusán, C., 1963a. *Geologická mapa ČSSR, Ark. Wysoké Tatry*. Ustř. Ust. Geol., Praha.
- Fusán, C., 1963b. *Vysvetlivky k geologickej mape ČSSR, Ark. Vysoke Tatry*. Geofond Bratislava. Bratislava, 215 pp.
- Gross, P. & Köhler, E. 1980. *Geológia Liptovskej Kotliny*. Geol. Ust., Bratislava, 242 pp.
- Halicki, B. & Lilpop, J., 1932. Czwartorzędowe trawertyny w Gliczarowie i na Podhalu. *Pos. Nauk. PIG*, 33: 97–98.
- Horwitz, L., 1930. Sprawozdanie z badań geologicznych wykonanych w roku 1929 na arkuszu Ustrzyki Dolne. *Pos. Nauk. PIG*, 27: 6–7.
- Horwitz, L., 1932. Sprawozdanie z badań geologicznych wykonanych w roku 1931 na arkuszu Ustrzyki Dolne i Stary Sambor. *Pos. Nauk. PIG*, 33: 12–14.
- James, N. P., Ginsburg, R. N., Marszalek, D. S. & Choquette, P. W., 1976. Facies and fabric specificity of early subsea cements in shallow Belize (British Honduras) reefs. *J. Sedim. Petrol.*, 46: 523–544.
- Kozikowski, H., 1972. Metoda selekcji obszarów poszukiwawczych na przykładzie budowy geologicznej okna tektonicznego Mszany Dolnej, Karpaty Środkowe. *Geof. Geol. Naft.*, 11–12: 339–356.
- Książkiewicz, M., 1972. *Budowa geologiczna Polski. Tektonika. Karpaty*. Wyd. Geol., Warszawa, 228 pp.
- Leško, B., 1958. Prehľad geológie paleog'enu južnej časti Levočského pohoria a priláhlych kotlin. *Geol. Pr. Správy*, 12: 14–32.
- Leśniak, P. M., 1983. Open CO<sub>2</sub> underground water system in the West Carpathians. In: *Proceedings of the Fourth International Symposium on water-rock interaction, Misasa, Japan*. pp. 279–282.
- Loreau, J.-P., 1979. Nature calcitique initiale et diagenése des oolithes jurassiques du Bassin de Paris. *Symposium Sédimentation Jurassique W européen*, A. S. F. Publ. Spec., 1: 417–429. Paris.
- Ložek, V., 1961. Travertines. *Pr. Inst. Geol.*, 34: 81–86.
- Małecka, D., 1973. Analiza związków hydraulicznych środkowego Podhala na tle budowy geologicznej regionu. *Biul. Geol. Uniw. Warsz.*, 15: 87–147.
- Mastella, L., 1975. Tektonika fliszu we wschodniej części Podhala. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 45: 361–401.
- Mastella, L. & Mizerski, W., 1977. Uwagi o budowie geologicznej SW części Podhala. *Prz. Geol.*, 25: 494–499.
- Muxart, T., 1981. Rappel des principaux facteurs conditionnant la précipitation des carbonates en milieu continental. In: *Formations carbonatées externes, tufs et travertins Actes du Colloque de l'A. G. F., Assoc. Franc. de Karstologie, Mem.*, 3: Paris. pp. 119–128.
- Picknett, R. G., Bray, L. G. & Stenner, R. D. 1976. The chemistry of cave waters. In: T. D. Ford & C. H. D. Cullingford (eds.), *The science of speleology*, 213–266. Academic Press, London.
- Richter, D. K. & Füchtbauer, H., 1978. Ferroan calcite replacement indicates former magnesian calcite skeletons. *Sedimentology*, 25: 843–860.
- Szpakiewicz, M., 1977. Wody mineralne środkowej części Karpat polskich na tle nowych opracowań kartograficznych. *Biul. Geol. Uniw. Warsz.*, 21: 323–334.
- Szulc, J., 1983. Geneza i klasyfikacja wapiennych osadów martwicowych. *Prz. Geol.*, 4: 231–236.
- Świdorski, B., 1953. *Objaśnienia do mapy geologicznej, Ark. Rabka*. Wyd. Geol., Warszawa. 283 pp.
- Ujęcie wód mineralnych i słabo zmineralizowanych w Polsce. 1979. *Probl. Uzdrowiskowe*, 3: 289–421.
- Watycha, L., 1976. *Szczegółowa mapa geologiczna Polski, Arkusz Czarny Dunajec*. Wyd. Geol., Warszawa.

- Watycha, L., 1977. *Szczegółowa mapa geologiczna Polski, Arkusz Jablonka*. Wyd. Geol., Warszawa.
- Wiśniowski, T., 1908. *Atlas geologiczny Galicyi. Tekst do zeszytu XXI*. Akademia Umiejętności, Kraków.
- Zýka, V. & Vtělenský, J., 1960. Geochemie slovenských travertínů. *Geol. Pr. Správy*, 17: 147–196.

### Summary

## CALCAREOUS TUFAS IN THE AREA OF THE MSZANA DOLNA TECTONIC WINDOW

Michał Gruszczyński & Leonard Mastella

Numerous occurrences of presently forming calcareous tufas have been found in the area of the Mszana Dolna tectonic window (Figs. 1, 2). The tufas occur encrusting rock fragments or plants, cementing rock fragments and pebbles, or as thick crusts (Fig. 3; Pl. I; Pl. III: 3). The internal structure of the encrustations, and of some part of the conglomeratic cements is micritic (Pl. II; III: 1 and 2), while the structure of the thick crusts is only sparitic (Pl. III: 3; IV: 1 and 2). Moreover, there are some blue-green algae entangled in the fabrics of the tufas (Pl. IV: 3–6).

The sites of the tufas occurrence are strictly connected with springs flowing from fault fractures or close to these fractures (Figs. 6, 7, 8). These faults belong to zones of normal faults with large throws and NNW-SSE strikes (Figs. 4 and 5). The main factor controlling the precipitation of the tufas is the decrease of CO<sub>2</sub> partial pressure in the waters outflowing from the fault fractures. Data from this area as well as analogies with the Inner Carpathians suggest that the waters are of deep circulation, containing CO<sub>2</sub> and Ca<sup>+2</sup>. The situation of the tufa accumulations over the places where the fault zones observed at the surface cross the faults in the basement of the flysch (Fig. 9) indicates that the former zones reach to the basement. The results suggest that the occurrence of tufas may indicate position of zones of normal faults.

### OBJAŚNIENIA PLANSZ — EXPLANATIONS OF PLATES

(lokalizacja odsłoneń na Fig. 2 i 4)  
(numbered exposures are shown in Fig. 2 and 4)

#### Plansza — Plate I

- 1 — Płytką cienką z fragmentu otoczaka piaskowca z odsłoneńca nr 27 (lokalizacja wszystkich odsłoneń na Fig. 2 i 4). Strzałka wskazuje warstwę polewy wapiennej na powierzchni tego otoczaka  
Thin section of a fragment of sandstone pebble with calcareous tufa encrustation (arrow).  
Locality 27

- 2 — Polewa wapienna na fragmencie gałęzi z odsłonięcia nr 15.  
Calcareous encrustation on tree branch fragment from locality 15
- 3 — Płytką cienką wykonaną w przekroju poprzecznym przez polewę wapienną na gałęzi z odsłonięcia nr 15  
Transverse thin section through encrustation on tree branch fragment from locality 15
- 4 — Inkrustacja wapienna mchu w odsłonięciu nr 38  
Calcareous encrustation on moss from locality 38

## Plansza — Plate II

- 1 — Wewnętrzna, mikrytowa struktura inkrustacji wapiennej mchu. Odsłonięcie nr 38. Elektronowy mikroskop skaningowy  
Micrite fabric of a calcareous encrustation on moss. Exposure 38. SEM
- 2 — Płytką cienką polewy wapiennej na otoczaku piaskowca. Powiększenie z Pl. I — 1  
Thin section of calcareous encrustation on sandstone fragment. Enlarged from Pl. I: 1
- 3 — Płytką cienką polewy wapiennej z odsłonięcia nr 3. Widoczne enklawy sparytu (S) w mikrytowym tle  
Thin section of calcite crust from exposure 3. Sparite patches (S) are discernible in micrite background

## Plansza — Plate III

- 1 — Płytką cienką z martwicy wapiennej w formie zlepu. Odsłonięcie nr 38  
Thin section of tufa conglomerate. Exposure 38
- 2 — Wewnętrzna struktura zlepu z mikrytem o rozmiarach do 1  $\mu\text{m}$  (a) i 1–2  $\mu\text{m}$  (b). Ten sam okaz co wyżej. Elektronowy mikroskop skaningowy  
Structure of the tufa conglomerate cement. Micrite fabric with individual crystals less than 1  $\mu\text{m}$  (a) and 1–2  $\mu\text{m}$  (b) in size. Same specimen as above. SEM
- 3 — Płytką cienką zlewnej pokrywy z odsłonięcia nr 36 z wyraźną budową pierścieniową i inkorporowanymi okruchami skalnymi (a)  
Thin section of thick calcareous crust from locality 36 with characteristic sparite rims and incorporated rock fragments (o)

## Plansza — Plate IV

- 1 — Kryształy sparytu w zewnętrznym pierścieniu sparytowym fragmentu zlewnej pokrywy.  
Ten sam okaz co na Pl. III: 3  
Sparite crystals in outer rim of a fragment of calcareous crust. Same specimen as in Pl. III: 3
- 2 — Jednolite pierścienie sparytowe, wewnętrzne, z tego samego co wyżej fragmentu zlewnej pokrywy  
Uniform sparite rims, more internal, from same fragment of calcareous crust as above
- 3–5 — Nitkowate struktury organiczne występujące w inkrustacjach roślin (3), polewach na otoczakach (4) i gałęziach (5). Elektronowy mikroskop skaningowy  
Organic filaments within plant encrustations (3), encrustation on pebbles (4) and tree branch fragments (5). SEM
- 6 — Spłaszczona nitka organiczna. Polewa wapienna na gałęzi. Odsłonięcie nr 15. Elektronowy mikroskop skaningowy  
Slightly flattened organic filament. Calcareous encrustation on tree branch fragment. Exposure 15. SEM

